

УДК 621.833.65

КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЧЕРЕЗ ВОДИЛО

О. Р. Стрілець

Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна. E-mail: o.r.strelets@nuwm.edu.ua

Розглянутий процес керування змінами швидкості за допомогою диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою, коли ведучою ланкою є сонячне зубчасте колесо, а веденою – епіцикл, або навпаки. Керуючою ланкою є водило, зв'язане з замкнутою гідросистемою. Коли ведучою ланкою є сонячне зубчасте колесо, веденою ланкою – епіцикл, або навпаки, а керування швидкістю ведених ланок виконується за рахунок зміни швидкості водила, маємо те, що водило через зубчасту передачу приводить у рух гідронасос, який перекачує рідину в замкнутій гідросистемі, складеній з трубопроводів і регулювального дроселя – коли регулювальний дросель відкритий. Якщо регулювальний дросель закритий, тоді замкнута гідросистема замкнута, тобто гідронасос зупинений і, при цьому, зупинене водило. Таким чином, в залежності від пропускної здатності регулювального дроселя, швидкість водила змінюється і, при цьому, змінюється швидкість веденої ланки. За допомогою комп'ютерного моделювання отримані графічні залежності між швидкостями ведучої, керуючої та веденої ланок.

Ключові слова: регулювання, швидкість, диференціал, зубчасте колесо, епіцикл, водило, гідросистема.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ С ПОМОЩЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ВОДИЛО

О. Р. Стрілець

Национальный университет водного хозяйства и природопользования
ул. Соборная, 11, г. Ровно, 33028, Украина. E-mail: o.r.strelets@nuwm.edu.ua

Рассмотрен процесс управления изменениями скорости с помощью дифференциальной передачи и замкнутой гидросистемы, когда ведущим звеном является солнечное зубчатое колесо, а ведомым – эпицикл, или наоборот. Звеном управления есть водило, связанное с замкнутой гидросистемой. Когда ведущее звено – солнечное зубчатое колесо, ведомое звено – эпицикл, или наоборот, а управление скоростью ведомых звеньев выполняется за счет изменения скорости другого звена – водила, имеем то, что водило через зубчатую передачу приводит в движение гидронасос, который перекачивает жидкость в замкнутой гидросистеме, составленной с трубопроводов и регулирующего дросселя – когда регулирующий дроссель открытый. Если регулирующий дроссель закрытый, тогда замкнутая гидросистема закрыта, то есть гидронасос остановлен и, при этом, остановлено водило. Таким образом, в зависимости от пропускной возможности регулирующего дросселя, скорость водила изменяется и, при этом, изменяется скорость ведомого звена. При помощи компьютерного моделирования получены графические зависимости между скоростями ведущего, управляющего и ведомого звеньев.

Ключевые слова: регулирование, скорость, дифференциал, зубчатое колесо, эпицикл, водило, гидросистема.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Для забезпечення технологічних процесів, які виконуються підйомно-транспортними, будівельними, дорожніми, меліоративними, гірничими машинами, автомобілями і тракторами, металообробними верстатами та іншою технікою, виникає необхідність керування змінами швидкості за величиною та напрямком. У вітчизняній і зарубіжній техніці широко відомі способи і пристрої сходового та безсходового керування швидкістю за величиною та напрямком у вигляді сходових коробок зубчастих передач [1], коробок подач і трензелів [2], безсходових - пасових, ланцюгових і фрикційних варіаторів [3], гідромеханічних [4] і комбінованих передач [5]. Відомі способи мають досить багато недоліків. Основними недоліками сходового керування швидкістю є складність конструкції пристроїв, їх велика матеріаломісткість, спрацювання торців зубців зубчастих коліс із-за великих динамічних навантажень, які виникають при переході з однієї швидкості на іншу, навіть з широким використанням синхронізаторів. Недоліком безсходового керування швидкістю можна вважати велике спрацювання деталей за рахунок використання фрикційних зв'язків, як правило, фри-

кційних гальм та блокувальних фрикційних муфт. Внаслідок цього зменшується довговічність і надійність, як окремих деталей приводів, так і машин в цілому. Тому виникає необхідність у створенні нових способів та пристроїв керування змінами швидкості, які б усували згадані недоліки, або зменшували їх вплив на довговічність і надійність машин.

Останнім часом виконаний огляд і проведений широкий аналіз способів і пристроїв для керування процесом зміни швидкості [6–9], запропонована їх нова класифікація [10], обґрунтована можливість керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач [11], створені нові пристрої для безсходового керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач з замкнутою гідросистемою [12]. Однак теоретичні та експериментальні дослідження для нового способу і пристроїв досі не проведені.

Метою даної роботи саме і є виконання теоретично-комп'ютерного дослідження процесу залежності зміни швидкості за величиною та напрямком за допомогою деяких із розроблених варіантів конструкцій диференціальних передач з замкнутою гідросистемою між ведучою і веденою ланками (у на-

шому випадку між сонячним зубчастим колесом та епіциклом, або навпаки), коли керування зміною швидкості виконується через водило.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. В статті узагальнені переваги способу і пристроїв для безсходинкової зміни швидкості в різній техніці за допомогою однорядних і двохранних диференціальних передач з замкнутою гідросистемою. Такий спосіб і пристрої мають ряд переваг, серед яких можливість автоматизації процесу зміни швидкості, зменшення динамічних навантажень, зменшення спрацювання деталей із-за відсутності фрикційних зв'язків і спрощення конструкції. Одна із схем однорядного диференціального механізму з пристроєм для керування змінами швидкості, показана на рис.1, а, складається з сонячного зубчастого колеса 1, сателітів 2, опорного зубчастого колеса – епіцикла 3 і водила 4 розміщених у корпусі 5. На корпусі 5 розміщена замкнута гідросистема 6 і зв'язана з водилом 4 зубчастою передачею 7. Замкнута гідросистема 6 (рис.1, б) складається з гідронасоса 8, трубопроводів 9, регулювального дроселя 10, зворотного клапана 11 і ємності 12 для рідини.

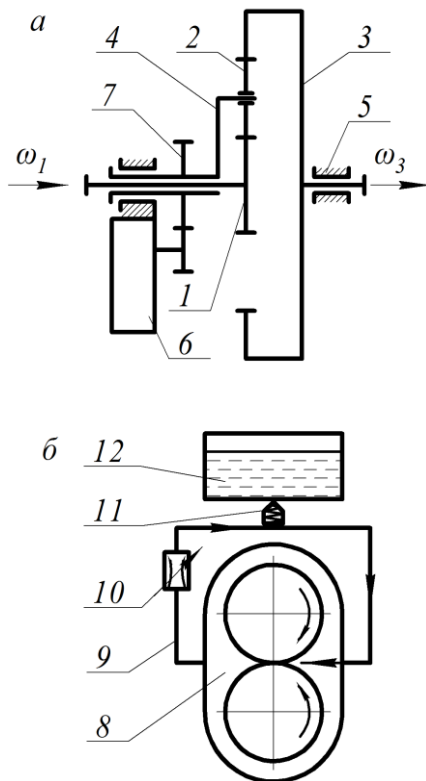


Рисунок 1 – Схеми: а – однорядної зубчастої диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою з керуванням через водило; б – замкнутої гідросистеми

Розглянемо випадок коли ведучою ланкою буде сонячне зубчасте колесо 1, а веденою – епіцикл 3. Керування зміною веденої ланки – епіцикла 3 здійснюється через водило 4. Якщо прийняти сонячне зубчасте колесо 1 за ведучу ланку з кутовою швидкістю $\omega_1 = const$, тоді за рахунок зміни швидкості водила 4 ω_4 за допомогою замкнутої гідросистеми 6

можна плавно змінювати швидкість веденої ланки – епіцикла 3 (ω_3). Така зміна швидкості досягається тим, що водило 4 через зубчасту передачу 7 приводить у рух шестеренчастий гідронасос 8, який перекачує рідину в замкнутій гідросистемі 6, складеній з трубопроводів 9 і регулювального дроселя 10 – коли регулювальний дросель 10 відкритий. Якщо регулювальний дросель 10 закритий, тоді замкнута гідросистема 6 закрита, тобто шестеренчастий гідронасос 8 зупинений і, при цьому, зупинене водило 4 ($\omega_4 = 0$). Таким чином, в залежності від пропускну здатності регулювального дроселя 10, швидкість водила (ω_4) змінюється від 0 до ω_{4max} і, при цьому, змінюється швидкість епіцикла 3 (ω_3). Зв'язок між ведучою та веденою ланками в такій передачі описується відомим аналітичним виразом [13–15]

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

де $u_{13}^{(4)}$ – передаточне відношення механізму від сонячного зубчастого колеса 1 до епіцикла 3 при зупиненому водилі 4. Для схеми на рис. 1, а $u_{13}^{(4)} = -(z_3 / z_1)$, де z_1 – число зубців сонячного зубчастого колеса; z_3 – число зубців епіцикла. Знак (-) пояснюється тим, що у визначенні передаточного числа є одне зовнішнє (зубчасті колеса 1–2) і внутрішнє (зубчасті колеса 2–3) зачеплення. З врахуванням того, що передаточне число величина від'ємна, вираз (1) для випадку, що розглядається, має остаточний вигляд

$$\omega_3 = \frac{\omega_4(1 + u_{13}^{(4)}) - \omega_1}{u_{13}^{(4)}}. \quad (2)$$

Для того щоб більш наочно показати характер зміни швидкості через диференціальну передачу з пристроєм у вигляді замкнутої гідросистеми формула (2) запрограмована у середовищі MS Excel та отримані графічні залежності $\omega_3 = f(\omega_4, \omega_1, u_{13}^{(4)})$, при рекомендованих передаточних числах $u_{13}^{(4)} = 1...10$, [16, 17], та різних кутових швидкостях ведучої ланки (сонячного зубчастого колеса). Приклад однієї із отриманих графічних залежностей $\omega_3 = f(\omega_4, \omega_1, u_{13}^{(4)})$ для $\omega_1 = 100 \text{ рад/с}$ показаний на рис. 2.

Коли ведучою ланкою є епіцикл 3, веденою ланкою – сонячне зубчасте колесо 1, а керування швидкістю сонячного зубчастого колеса 1 ω_1 виконується за рахунок зміни швидкості ω_4 іншої ведучої ланки – водила 4 (рис. 3), маємо те, що епіцикл 3 через сателіт 2 приводить у рух водило 4, а далі через зубчасту передачу 7 приводить у рух шестеренчастий гідронасос 8, який перекачує рідину в замкнутій гідросистемі 6 складеній з трубопроводів 9 і регулювального дроселя 10 – коли регулювальний дросель 10 відкритий. Якщо регулювальний дросель 10 закритий, тоді замкнута гідросистема 6 закрита, тобто шестеренчастий гідронасос 8 зупинений і, при цьому, водило 4 зупинене ($\omega_4 = 0$).

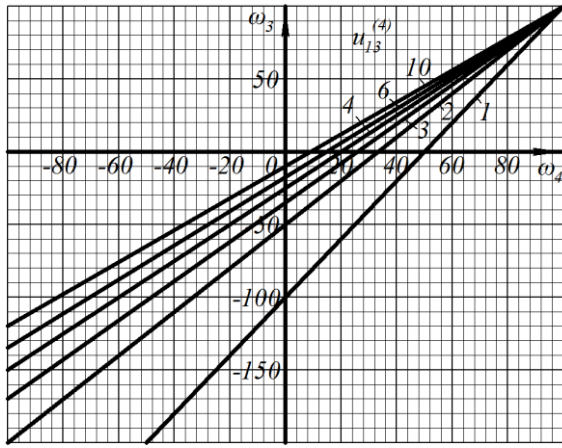


Рисунок 2 – Графічні залежності $\omega_3 = f(\omega_4, \omega_1, u_{13}^{(4)})$, при $\omega_1 = 100 \text{ рад/с}$, для схеми на рис. 1, а

Таким чином, в залежності від пропускної здатності регулювального дроселя 10, швидкість водила 4 (ω_4) змінюється від 0 до $\omega_{4\text{max}}$ і, при цьому, змінюється швидкість сонячного зубчастого колеса 1 (ω_1).

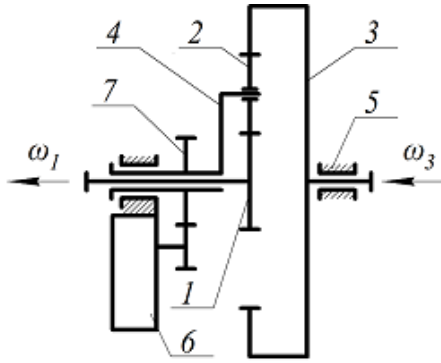


Рисунок 3 – Схема однорядної зубчастої диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою з керуванням через водило та ведучим епіциклом

Зв'язок між швидкостями в такій передачі описується аналітичним виразом (2) вирішеним відносно ω_1 .

$$\omega_1 = \omega_4(1 + u_{13}^{(4)}) - \omega_3 u_{13}^{(4)} \quad (3)$$

Для наочності характеру зміни швидкості через диференціальну передачу з пристроєм у вигляді замкнутої гідросистеми формула (3) запрограмована та за допомогою комп'ютерного моделювання отримані графічні залежності $\omega_1 = f(\omega_4, \omega_3, u_{13}^{(4)})$, при різних передаточних відношеннях $u_{13}^{(4)} = 0 \dots 10$, та кількох кутових швидкостях ведучої ланки. Для прикладу, графічні залежності, отримані при $\omega_3 = 10 \text{ рад/с}$, показані на рис. 4.

Розглянемо приклади з двохранними диференціальними передачами. На рис. 5 показані двохранні диференціальні передачі, в яких сателіт 2 виконаний із двох паралельних зубчастих коліс з числом зубів z_2 і z_2' .

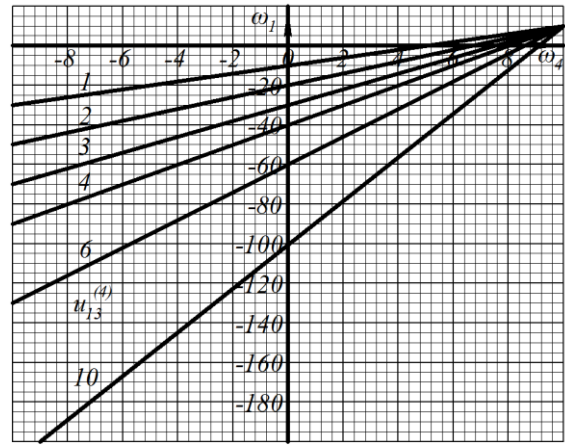


Рисунок 4 – Графічні залежності $\omega_1 = f(\omega_3, \omega_4, u_{13}^{(4)})$, при $\omega_3 = 10 \text{ рад/с}$, для схеми на рис. 3

При цьому сонячне зубчасте колесо 1 (z_1) з сателітом 2 (z_2) утворює зовнішнє зачеплення, а сателіт 2 (z_2') з епіциклом 3 (z_3) – внутрішнє. Тоді передаточне відношення $u_{13}^{(4)} = -\frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'}$.

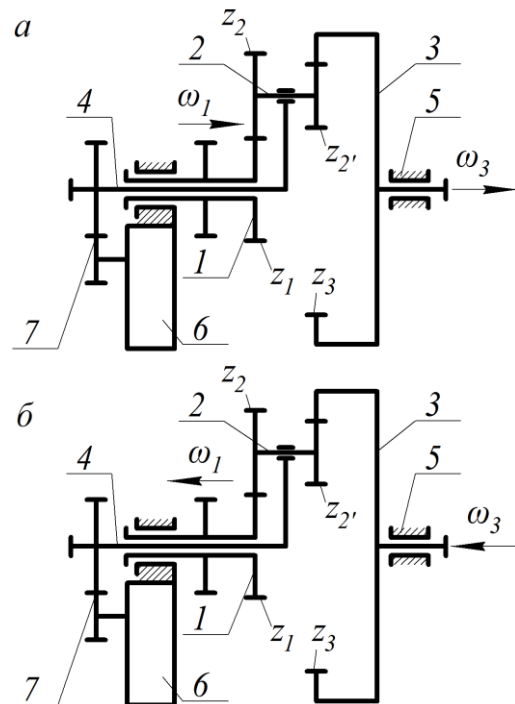


Рисунок 5 – Схеми двохранних зубчастих диференціальних передач з ведучим: а – сонячним зубчастим колесом; б – водилом

Для аналізу зміни швидкості таких механізмів можна використати ті ж самі аналітичні вирази (2) і (3) та графічні залежності показані на рис. 2 і 4.

На рис. 6 показана подібна не рядна диференціальна передача, в якій сателіт 2 виконаний із двох паралельних зубчастих коліс, але, в цьому випадку – і сонячне зубчасте колесо 1 (z_1) з сателітом 2 (z_2), і сателіт 2 (z_2') з епіциклом 3 (z_3) утворюють зовнішні

зачеплення. Тут передаточне відношення

$$u_{13}^{(4)} = \frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'}$$

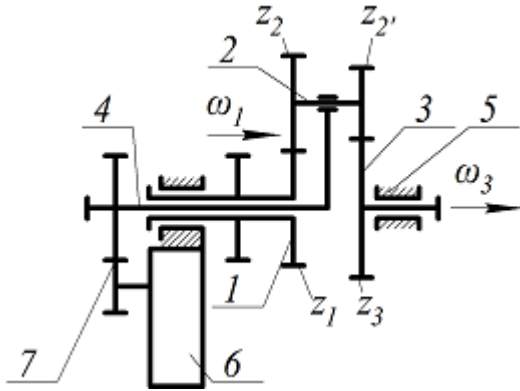


Рисунок 6 – Схема двохрядної зубчастої диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою та ведучим сонячним зубчастим колесом

Так як передаточне відношення $u_{13}^{(4)}$ для даної передачі з двома зовнішніми зачепленнями буде завжди числом додатнім, для аналізу зміни швидкості можна використати аналітичний вираз (1), а запрограмувавши його ми отримаємо графічні залежності $\omega_3 = f(\omega_4, \omega_1, u_{13}^{(4)})$, для умов описаних вище. Такі графічні залежності показані на рис. 7.

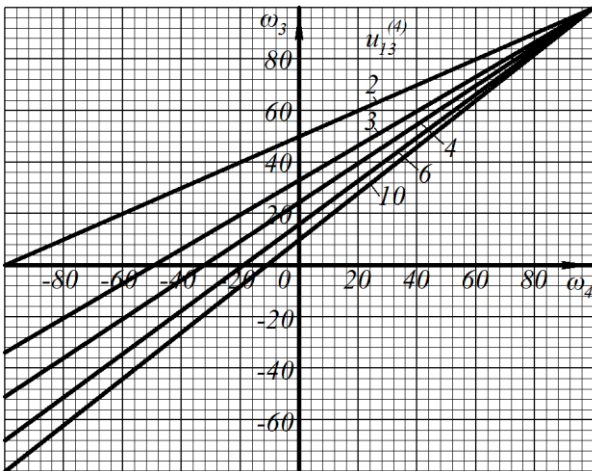


Рисунок 7 – Залежність, $\omega_3 = f(\omega_4, \omega_1, u_{13}^{(4)})$ при $\omega_1 = 100 \text{ рад/с}$, для схеми на рис. 6

Для аналізу зміни швидкості аналогічного не рядного диференціального механізму з ведучою ланкою – епіциклом 3, показаного на рис. 8 необхідно використати аналітичний вираз (1) і вирішити його відносно ω_1 .

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

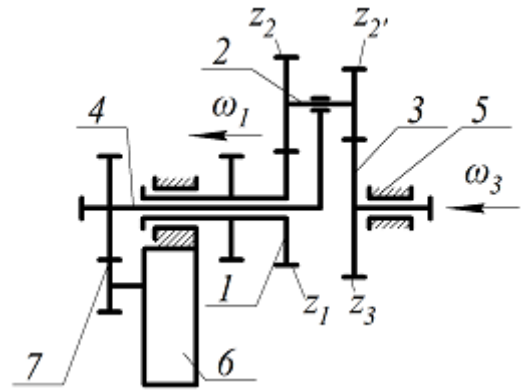


Рисунок 8 – Схема двохрядної зубчастої диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою та ведучим водилом

Запрограмувавши вираз (4) для тих же отримаємо графічні залежності $\omega_1 = f(\omega_3, \omega_4, u_{13}^{(4)})$, які показані на рис. 9.

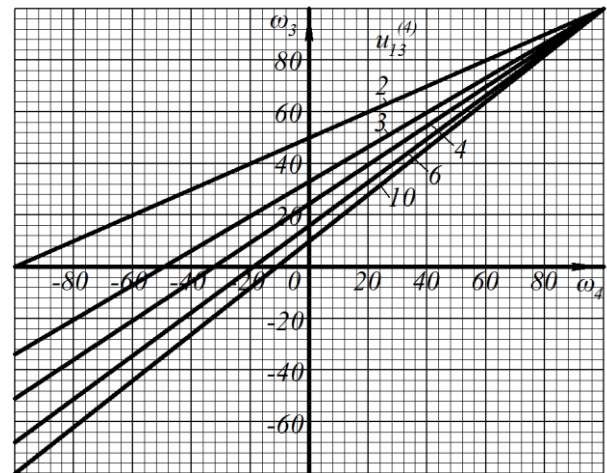


Рисунок 9 – Залежність, $\omega_1 = f(\omega_3, \omega_4, u_{13}^{(4)})$ при $\omega_3 = 10 \text{ рад/с}$, для схеми на рис. 7

Вирази (1) і (4) та графічні залежності показані на рис. 8 і 9 справедливі також для не рядних диференціальних передач в яких сателіти виконані із двох паралельних зубчастих коліс з числом зубів z_2 і z_2' . При цьому сонячне зубчасте колесо 1 (z_1) з сателітом 2 (z_2), і сателіт 2 (z_2') з епіциклом 3 (z_3) утворюють внутрішні зачеплення.

Схеми таких диференціальних передач показані на рис. 10. Так у нерядній диференціальній передачі на рис 10, а, ведучою ланкою є сонячне зубчасте колесо 1, веденою - епіцикл 3, а керування змінами швидкості виконується за рахунок водила 4, з'єднаного із замкнутою гідросистемою 6 через зубчасту передачу 7.

Також, слід зазначити, що окрім механізмів, описаних в даній статті, розроблені рядні диференціальні передачі з замкнутими гідросистемами для керування змінами швидкості [10].

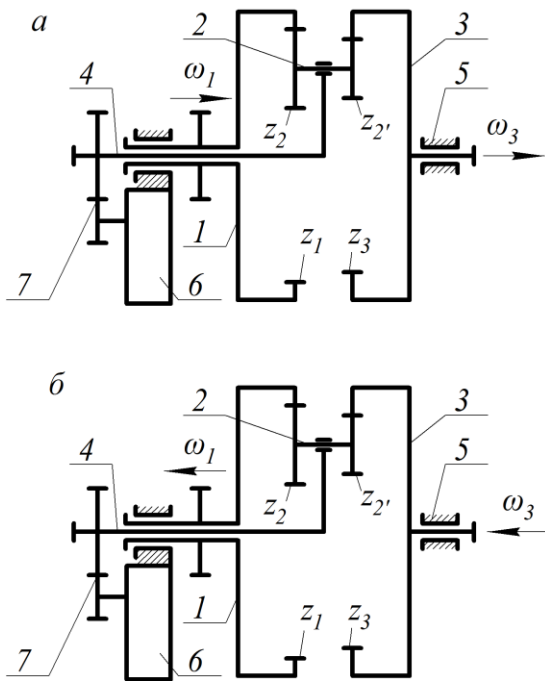


Рисунок 10 – Схеми двохрядних зубчастих диференціальних передач з ведучим: а – сонячним колесом; б – епіциклом

ВИСНОВКИ. На основі проведених досліджень і їх аналізу зроблені наступні висновки.

1. Отримані графічні залежності швидкості між ведучою і веденою ланками (сонячним зубчастим колесом і епіциклом або навпаки) у диференціальних передачах з замкнутою гідросистемою за допомогою комп'ютерного моделювання, подані на рис. 2, 4, 7 і 9 наочно підтверджують можливість керування змінами швидкості між ведучою і веденою ланками при зміні швидкості волила.

2. Запропонована методика теоретично-комп'ютерного дослідження залежності між швидкостями в диференціальній передачі з замкнутою гідросистемою між ведучою (сонячним зубчастим колесом) і веденою (епіциклом) ланками, або навпаки, коли керування виконується через волила може бути застосована для інших схем диференціальних передач.

3. Отримані графічні залежності швидкості між ланками в диференціальній передачі можна використовувати при проектуванні нових пристроїв для керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач з замкнутою гідросистемою і вони являються підґрунтям для подальших наукових досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Атлас конструкцій агрегатів, вузлів та систем автомобіля / А.М. Грабар, Є.М. Рибалкін, Є.Г. Опанасюк, А.В. Ільченко. – Житомир: ЖІТІ, 1998. – 288 с.
2. Металлорежущие станки / А.М. Кучер, М.М. Киватицкий, А.А. Покровський. – М.-Л.: Машиностроение, 1989. – 284 с.

3. Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение. 1989. – 721 с.

4. Петров В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.

5. Харитонов С.А. Автоматические коробки передач. – М.: Астрель АСТ, 2003. – 280 с.

6. Стрілець О.Р. Способи керування змінами швидкості у техніці // Збірник тез. VIII-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані інтелектуальні роботи технічні комплекси ІРТК-2015» – Київ: 18-19 травня 2015 року. – С. 220–221.

7. Стрілець О.Р. Огляд і аналіз способів керування змінами швидкості у техніці // 12-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові: тези. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2015. 28–29 травня 2015 року. – С. 152–153.

8. Огляд та аналіз способів і пристроїв сходового керування змінами швидкості у техніці / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вісник національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне: НУВГП, 2015. – № 70. – С. 245–255.

9. Стрілець О.Р. Огляд та аналіз способів і пристроїв безсходового і комбінованого керування змінами швидкості у техніці // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне: НУВГП, 2015. – № 70. – С. 354–363.

10. Класифікація способів і пристроїв керування процесом зміни швидкості у техніці / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка. – Одеса: 2015. – № 3. – С. 70–78.

11. Стрілець О.Р. Обґрунтування можливості керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач // Вісник Інженерної академії України. – Київ: НАУ, 2015. – № 2. – С. 177–181.

12. Стрілець О. Комп'ютерне моделювання диференціальних передач з пристроєм для керування швидкістю // «Машинознавство». Всеукраїнський наук.-техн. і виробн. журнал. – № 12 (150), 2009. – С. 39–43

13. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин: Підруч.; НАН України. – К.: «Наук. Думка», 2002. – 660 с.

14. Theory of Machines and Mechanisms / J.J. Uicker, G.R. Pennock, J.E. Shigley. – New York: Oxford University Press, 2003. – 928 p.

15. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 576 с.

16. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1988. – 640 с.

17. Paul, B. Kinematics and dynamics of planar machinery. – Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1979. – 670 p.

**PROCESS MANAGEMENT OF THE SPEED CHANGE VIA DIFFERENTIAL TRANSMISSION
BY CARRIER**

O. Strilets

National University of Water Management and Nature Resources Use
vul. Soborna, 11, Rivne, 33028, Ukraine. E-mail: o.r.strilets@nuwm.edu.ua

Purpose. The article considers processes of continuously variable speed change management via differential transmission with a closed hydrosystem when the driving element is a solar gear and the driven – is epicycle, or vice versa. **Methodology.** We investigated the case when the control element of the differential gear is a carrier connected to closed hydrosystem. In such a case we have that carrier drives the hydraulic pump that pumps fluid in a closed hydrosystem consisting of pipes and regulating throttle - when regulating throttle is open. When regulating throttle is closed, then hydrosystem is immovable, hydraulic pump is stopped and so is the carrier. Thus, depending on the bandwidth of the regulating throttle, speed of carrier changes, thereby we obtain the speed change of the driven element (solar gear or epicycle). **Results.** We have received the analytical dependences between velocities of driving, control and driven elements of the differential gear and graphic reproduction of these dependences by means of computer programing. **Originality.** For the first time we have conducted theoretical research of the speed change process taking place in differential gear with closed hydrosystem. **Practical value.** Obtained dependences prove the possibility of speed management via differential transmission with a closed hydrosystem and can be used in constructing of the new speed changes management devices. References 17, figures 10.

Key words: speed, management, differential gear, sun gear, epicycle, carrier, closed hydrosystem.

REFERENCES

1. Hrabar, A.M., Rybalkin, Y.M., Opanasiuk, Y.H., Ilchenko, A.V. (1988), *Atlas konstruktivniy ahrehativ, vuzliv ta system avtomobilia* [Atlas of designs of equipment, assemblies and systems of automobile], ZhITI, Zhytomyr, Ukraine.
2. Kucher, A.M., Kivatickiy, M.M., Pokrovskiy, A.A. (1989), *Metallorzhushnye stanky* [Metal cutting machines], Mashynostroenie, Moscow, Russia.
3. Reshetov, D.N. (1989), *Detali mashyn* [Elements of machines], Mashynostroenie, Moscow, Russia.
4. Petrov, V.A. (1988), *Gidroob'emye transmissii samohodnykh mashyn* [Hydrovolume transmissions of automotive machines], Mashynostroenie, Moscow, Russia.
5. Harytonov, S.A. (2003) *Avtomaticheskie korobki peredach* [Automatic transmissions], Astrel AST, Moscow, Russia.
6. Strilets, O. (2007), "Speed change management via differential gear", *Mashynoznavstvo*, Iss. 6 (120), pp. 38–41.
7. Strilets, O. (2009), "Computer modeling of the differential gear with speed change management device", *Mashynoznavstvo*, Iss. 12 (150), pp. 39–43.
8. Strilets, O.R. (2015), "Methods of speed change management in engineering", *Zbirnyk tez VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Intehrovani intelektualni robototekhnichni kompleksy IIRTK-2015»* [Collected articles of the 8th International science and national conference "Integrated Intellectual Robotechnical Complexes IIRTC-2015"], Kyiv, May 18-19, 2015, pp. 220–221.
9. Malaschenko, V.O., Strilets, O.R., Strilets, V.M. (2015), "Overview and analysis of methods and devices of stepped speed change management in engineering", *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*, iss. 70, pp. 245–255.
10. Strilets, O.R. (2015), "Overview and analysis of methods and devices of continuously variable and combined speed change management in engineering", *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*, iss. 70, pp. 354–363.
11. Malaschenko, V.O., Strilets, O.R., Strilets, V.M. (2015), "Classification of methods and devices of the speed change process management in engineering", *Pidiomno-transportna tekhnika*, iss. 3, pp. 70–78.
12. Strilets, O.R. (2015), "Justification of the speed change management capability via differential gearbox", *Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy*, iss. 2, pp. 177–181.
13. Kinytskyi, Y.T. (2002), *Teoriia mekhanizmiv i mashyn* [Theory of mechanisms and machines], NAN Ukrainy, Naukova Dumka, Kyiv, Ukraine.
14. Uicker, J.J., Pennock, G.R., Shigley, J.E. (2003), *Theory of Machines and Mechanisms*, Oxford University Press, New York, USA.
15. Levytskyi, N.I. (1979), *Teoriya mekhanyzmov y mashyn* [Theory of mechanisms and machines], Nauka, Moscow, Russia.
16. Artobolevskiy, I.I. (1988), *Teoriya mekhanyzmov y mashyn* [Theory of mechanisms and machines], Nauka, Moscow, Russia.
17. Paul, B. (1979), *Kinematics and dynamics of planar machinery*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., USA.

Стаття надійшла 22.12.2015.