



Малащенко В. О.

*Національний
університет
“Львівська політехніка”*

Стрілець О. Р.

Стрілець В. М.

*Національний
університет водного
господарства та
природокористування*

Malashchenko V. O.

*Lviv Polytechnic
National University*

Strilets O. R.

Strilets V. M.

*National University of
Water and Environmental
Engineering*

УДК 621.833.65

НОВИЙ ПРИВОД З ДИФЕРЕНЦІАЛОМ І ЗАМКНУТОЮ ГІДРОСИСТЕМОЮ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ МАШИН

В статті розглянутий процес керування змінами швидкості за допомогою зубчастих диференціальних передач, коли ведучою ланкою є сонячне зубчасте колесо, а веденою – епіцикл. Ланкою керування є водило, яке зв'язане з замкнутою гідросистемою через зубчасту передачу. Замкнута гідросистема складається з шестерінчастого гідронасоса, коротких трубопроводів, регульовального дроселя, зворотного клапана і ємкості для рідини. Коли регульовальний дросель відкритий, водило обертається і перекачує рідину в гідросистемі. У випадку, коли регульовальний дросель закритий, водило не обертається - не перекачується рідина в замкнутій гідросистемі, тому, що вона замкнута. При плавному закритті регульовального дроселя швидкість водила плавно змінюється від максимальної величини до нуля або навпаки. Тому керування змінами швидкості здійснюється за рахунок дроселювання рідини, яка рухається у замкнутій гідросистемі. Для таких зубчастих диференціальних передач одно- і багатосходинкових проведені теоретично-комп'ютерні дослідження і за допомогою комп'ютерного моделювання отримані графічні залежності між швидкостями ведучої, керуючої та веденої ланок, які підтверджують можливість плавного керування змінами швидкості у широкому діапазоні. Отримані результати мають практичне застосування при проектуванні нових пристроїв керування змінами швидкості в техніці, в тому числі у приводах вітротехніки, і є підґрунтям для подальших досліджень.

Ключові слова: привод, керування змінами швидкості, зубчаста диференціальна передача, сонячне зубчасте колесо, епіцикл, водило, замкнута гідросистема, ланка керування.

Вступ. Виконання технологічних операцій машинами в різних галузях промисловості, в тому числі у вібротехніці, вимагають керування змінами швидкості, як за величиною так і напрямком її виконавчих механізмів. Серед зубчастих механізмів для цього, більш раціональним вважається використання планетарних передач, які є предметом особливої цікавості вітчизняних і світових учених [1-6]. У вітчизняній і зарубіжній техніці широко відомі способи і пристрої сходинкового та безсходинкового керування

швидкістю за величиною та напрямком у вигляді сходинкових та безсходинкових коробок передач. Відомі способи мають багато недоліків. Основними недоліками сходинкового керування швидкістю є складність конструкції пристроїв, їх велика матеріаломісткість, великі динамічні навантаження, які викликають і шкідливі вібрації, при переході з однієї швидкості на іншу, навіть з використанням синхронізаторів. Недоліком безсходинкового керування швидкістю можна вважати велике спрацювання деталей за рахунок використання



фрикційних зв'язків, як правило, фрикційних гальм та блокувальних фрикційних муфт. Внаслідок цього зменшується довговічність і надійність як окремих деталей приводів, так і машин в цілому.

Аналіз досліджень і публікацій. Для того, щоб зменшити вказані недоліки, останнім часом виконані огляди і проведені широкий аналіз способів і пристроїв для керування процесом зміни швидкості [7-9], запропонована їх класифікація [10], обґрунтована можливість керування змінами швидкості [11], розроблені нові пристрої на рівні патентів [12-15] для безсходинкового керування змінами швидкості за допомогою зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою. Однак теоретичні та експериментальні дослідження для нового способу і пристроїв досі проведені недостатньо.

Метою роботи є виконання теоретично-комп'ютерного дослідження залежності процесу зміни швидкості за допомогою зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою між ведучою (сонячним зубчастим колесом) і веденою (епіциклом) ланками, коли керування виконується через водило.

Викладення основного матеріалу. Одна із схем рядного зубчастого диференціального механізму з пристроєм для керування змінами швидкості, що 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 зовні корпусу розміщена замкнута гідросистема 6 і зв'язана з водилом 4 зубчастою передачею 7. Гідросистема (рис.1, б) складається з шестерінчастого гідронасоса 8, трубопроводів 9, регулювального дроселя 10, зворотного клапана 11 і ємності для рідини 12.

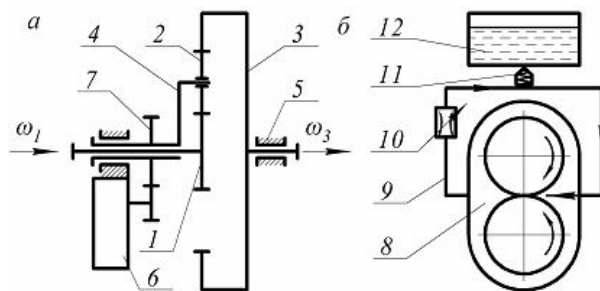


Рис. 1. Схеми: а – рядної зубчастій диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою з керуванням через водило; б – замкнутої гідросистеми

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 ω_4 за допомогою замкнутої гідросистеми можна плавно змінювати швидкість веденої ланки – епіцикла 3 (ω_3). Така зміна швидкості досягається тим, що водило через зубчасту передачу 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 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, швидкість водила (ω_4) змінюється від 0 до ω_{4max} і, при цьому, змінюється швидкість епіцикла 3 (ω_3). Зв'язок між швидкостями в такій передачі описується відомим аналітичним виразом з [1-6]

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

де $u_{13}^{(4)}$ – передаточне відношення механізму від сонячного зубчастого колеса 1 до епіцикла 3 при зупиненому водилі 4. Для схеми на рис. 1 $u_{13}^{(4)} = -(z_3 / z_1)$, де z_1 – число зубів сонячного зубчастого колеса; z_3 – число зубів епіцикла. Знак (-) пояснюється тим, що у визначенні передаточного числа є одне зовнішнє (колеса 1-2) 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 та отримані графічні залежності $\omega_3 = f(\omega_4, \omega_1, u_{13}^{(4)})$, при різних передаточних числах $u_{13}^{(4)} = 1 \dots 10$, та кутовій швидкості ведучої ланки (сонячного зубчастого колеса) $\omega_1 = 100 \text{ рад/с}$. Отримані графічні залежності $\omega_3 = f(\omega_4, \omega_1, u_{13}^{(4)})$ показані на рис.2.

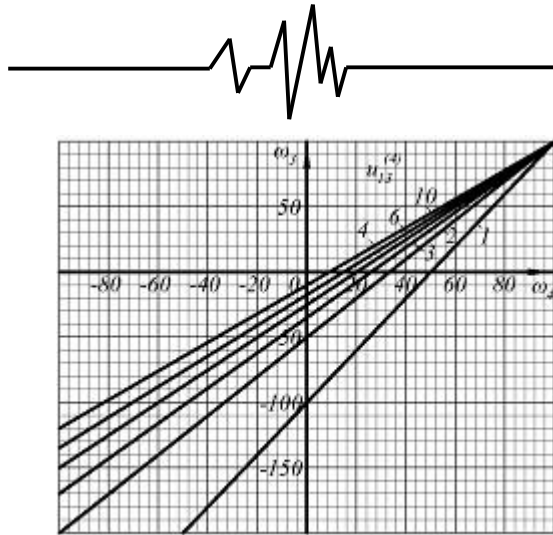


Рис. 2. Залежність $\omega_3 = f(\omega_4, \omega_1, u_{13}^{(4)})$, при $\omega_1 = 100 \text{ рад/с}$, для схеми на рис. 1, а

$$\omega_{\text{вд}} = \frac{\omega_{\text{вч}} - \omega_{4(1)}(1 + u_{13(1)}^{(4)}) + \omega_{4(2)}u_{13(1)}^{(4)}(1 + u_{13(2)}^{(4)})}{u_{13(1)}^{(4)}u_{13(2)}^{(4)}} \quad (3)$$

Тут $\omega_{4(1)}$ і $\omega_{4(2)}$ – швидкості водил, відповідно першої $4_{(1)}$ і другої $4_{(2)}$ сходинок, які є змінними за рахунок замкнутих гідросистем $6_{(1)}$ і $6_{(2)}$.

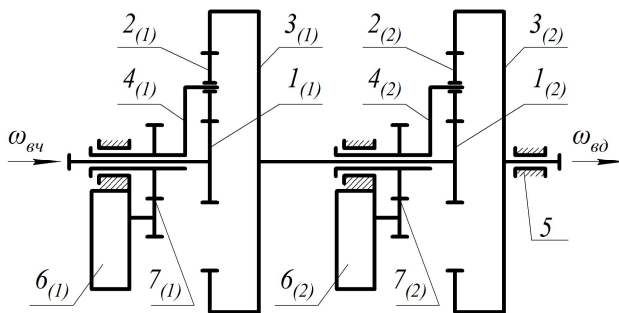


Рис. 3. Схема двохсходиноквої зубчастої диференціальної передачі з замкнутими гідросистемами з керуванням швидкістю через водила

Для підтвердження цих положень проведено кількісний аналіз двохсходиноквої зубчастої диференціальної передачі з передаточними числами $u_{13(i)}^{(4)}$, рівними для обох сходинок $u_{13(i)}^{(4)} = u_{13}^{(4)}$, і кутовою швидкістю водила другої сходинок $\omega_{4(2)} = 0$. Для такої передачі маємо:

$$\omega_{\text{вд}} = \frac{\omega_{\text{вч}} - \omega_{4(1)}(1 + u_{13}^{(4)})}{(u_{13}^{(4)})^2} \quad (4)$$

Для розширення діапазону зміни швидкості, на рис. 3 показана двохсходиноква зубчаста диференціальна передача, у якій епіцикл $3_{(1)}$ першої сходинок з'єднаний з сонячним зубчастим колесом $1_{(2)}$ другої сходинок, а керування швидкістю здійснюється за рахунок водил першої $4_{(1)}$ і другої $4_{(2)}$ сходинок при допомозі встановлених на них замкнутих гідросистем $6_{(1)}$ і $6_{(2)}$.

Ведучою ланкою такої двохсходиноквої зубчастої диференціальної передачі є сонячне зубчасте колесо $1_{(1)}$ першої сходинок, а веденою ланкою – зубчасте колесо – епіцикл $3_{(2)}$ другої сходинок. Зв'язок між швидкостями веденої ланки (епіцикла $3_{(2)}$) $\omega_{\text{вд}}$ і ведучої ланки (сонячного зубчастого колеса $1_{(1)}$) $\omega_{\text{вч}}$ має вигляд:

Формула (4) запрограмована і за допомогою комп'ютерного моделювання отримані графічні залежності $\omega_{\text{вд}} = f(\omega_{4(1)}, \omega_{4(2)}, \omega_{\text{вч}}, u_{13}^{(4)})$, для різних передаточних відношеннях $u_{13(1)}^{(4)} = u_{13(2)}^{(4)} = 1 \dots 10$, і швидкостях ведучої ланки $\omega_{\text{вч}} = 75 \dots 300 \text{ рад/с}$. Отримані графічні залежності при $\omega_{\text{вч}} = 100 \text{ рад/с}$ показані на рис. 4.

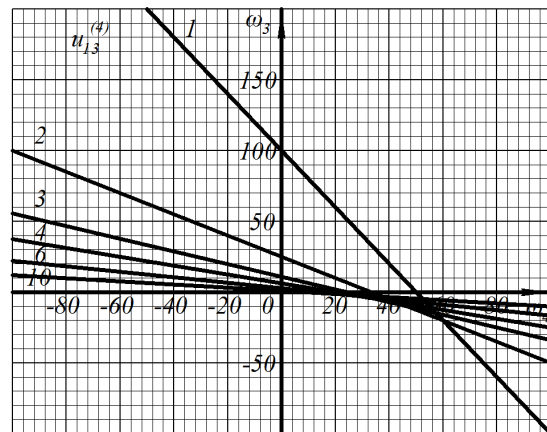


Рис. 4. Зависимости

$$\omega_{\text{вд}} = f(\omega_{4(1)}, \omega_{4(2)}, \omega_{\text{вч}}, u_{13}^{(4)}), \text{ при } \omega_{\text{вч}} = 100 \text{ рад/с} \text{ и } u_{13(1)}^{(4)} = u_{13(2)}^{(4)} = u_{13}^{(4)} = 1 \dots 10$$

Розроблено також трисходинокву зубчасту диференціальну передачу (рис. 5), у



якій зубчате колесо – епіцикл $3_{(1)}$, першої сходинки з'єднано з сонячним зубчастим колесом $1_{(2)}$ другої сходинки, зубчате колесо – епіцикл $3_{(2)}$ другої сходинки з'єднано з сонячним зубчастим колесом $1_{(3)}$ третьої сходинки, а керування швидкість виконується за рахунок водил першої $4_{(1)}$, другої $4_{(2)}$, третьої

$4_{(3)}$ сходинки за допомогою установлених на них замкнутих гідросистем $6_{(1)}$, $6_{(2)}$ і $6_{(3)}$. Розглянемо випадок, коли ведучою ланкою такої трисходинкової зубчастої диференціальної передачі буде сонячне зубчате колесо $1_{(1)}$ першої сходинки, а веденою ланкою – зубчате колесо - епіцикл $3_{(3)}$ третьої сходинки.

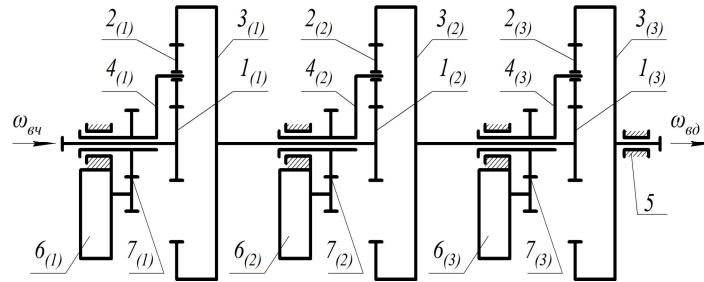


Рис. 5. Схема трисходинкової зубчастої диференціальної передачі з замкнутими гідросистемами з керуванням швидкістю через водила

Зв'язок між швидкостями веденої ланки (зубчатого колеса – епіцикла $3_{(3)}$) $\omega_{вд}$ і ведучої

ланки (сонячного зубчатого колеса $1_{(1)}$) $\omega_{вч}$ має вигляд:

$$\omega_{вд} = \frac{-\omega_{вч} + \omega_{4(1)}(1 + u_{13(1)}^{(4)}) - \omega_{4(2)}u_{13(1)}^{(4)}(1 + u_{13(2)}^{(4)}) + \omega_{4(3)}u_{13(1)}^{(4)}u_{13(2)}^{(4)}(1 + u_{13(3)}^{(4)})}{u_{13(1)}^{(4)}u_{13(2)}^{(4)}u_{13(3)}^{(4)}} \quad (5)$$

Тут $\omega_{4(1)}$, $\omega_{4(2)}$ и $\omega_{4(3)}$ – швидкості водилів, відповідно першої $4_{(1)}$, другої $4_{(2)}$ і третьої сходинки, які є змінними за рахунок замкнутих гідросистем $6_{(1)}$, $6_{(2)}$ і $6_{(3)}$.

Для наочності характеру зміни швидкості через трисходинкову зубчасту диференціальну передачу від сонячного зубчатого колеса до епіцикла знову задамося рівними передаточними відношеннями кожної сходинки $u_{13(1)}^{(4)} = u_{13(2)}^{(4)} = u_{13(3)}^{(4)} = u_{13}^{(4)}$ і зупинимо водила другої та третьої сходинки – $\omega_{4(2)} = 0$, $\omega_{4(3)} = 0$. Отримаємо спрощене рівняння вигляду

$$\omega_{вд} = \frac{\omega_{4(1)}(1 + u_{13}^{(4)}) - \omega_{вч}}{(u_{13}^{(4)})^3} \quad (6)$$

Вираз (6) проаналізовано також за допомогою комп'ютера та отримані графічні залежності $\omega_{вд} = f(\omega_{4(1)}, \omega_{4(2)}, \omega_{4(3)}, \omega_{вч}, u_{13}^{(4)})$, при різних передаточних відношеннях $u_{13(1)}^{(4)} = u_{13(2)}^{(4)} = u_{13(3)}^{(4)} = u_{13}^{(4)} = 1..10$ і швидкостях ведучої ланки $\omega_{вч} = 75..300 \text{ рад/с}$. Графічні залежності для $\omega_{вч} = 100 \text{ рад/с}$ наведено на рис. 6.

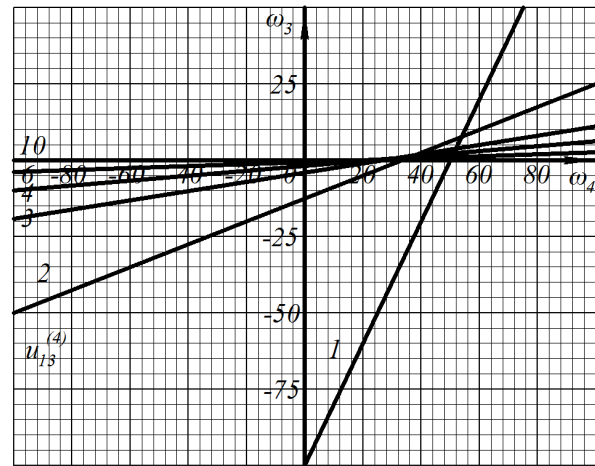
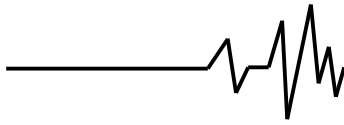


Рис. 6. Залежності

$$\omega_{вд} = f(\omega_{4(1)}, \omega_{4(2)}, \omega_{4(3)}, \omega_{вч}, u_{13}^{(4)}), \text{ при } \omega_{вч} = 100 \text{ рад/с і } u_{13(1)}^{(4)} = u_{13(2)}^{(4)} = u_{13(3)}^{(4)} = 1..10$$

Для узагальнення, на рис. 7 наведена багатосходинкова ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) зубчаста диференціальна передача, в якій зубчате колесо – епіцикл $3_{(1)}$ першої сходинки з'єднано з сонячним зубчастим колесом $1_{(2)}$ другої сходинки, зубчате колесо – епіцикл $3_{(2)}$ другої



сходинок з'єднано з сонячним зубчастим колесом $1_{(3)}$ третьої сходинок, ..., зубчасте колесо – епіцикл $3_{(n-1)}$ $(n-1)$ сходинок з'єднано з сонячним зубчастим колесом $1_{(n)}$ n -ної сходинок, а керування швидкістю виконується за рахунок водилів першої $4_{(1)}$, другої $4_{(2)}$,

третьої $4_{(3)}$, ..., n -ної $4_{(n)}$ сходинок при допомозі встановлених на них замкнутих гідросистем $6_{(1)}$, $6_{(2)}$, $6_{(3)}$, ..., $6_{(n)}$. Замкнуті гідросистеми $6_{(1)}$, $6_{(2)}$, $6_{(3)}$, ..., $6_{(n)}$ однакові за будовою, розміщені на корпусі 5 і з'єднані з водилами $4_{(1)}$, $4_{(2)}$, $4_{(3)}$, ..., $4_{(n)}$ через зубчасті передачі $7_{(1)}$, $7_{(2)}$, $7_{(3)}$, ..., $7_{(n)}$.

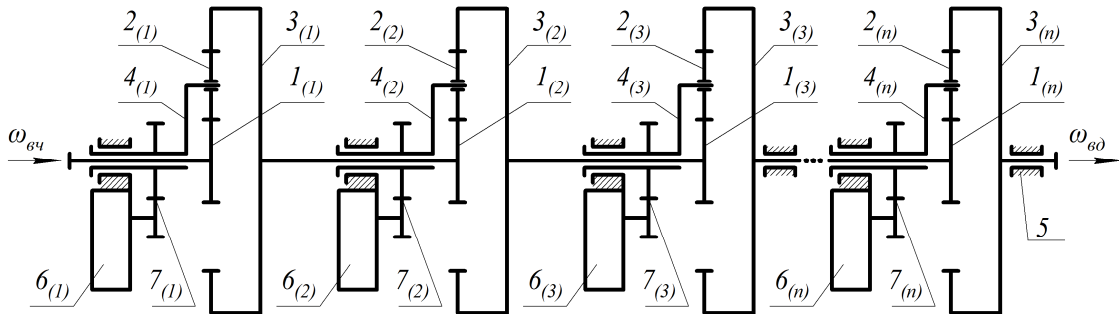


Рис. 7. Схема багатосходиноквої зубчастої диференціальної передачі з замкнутими гідросистемами з керуванням швидкістю через водила

Ведучою ланкою такої багатосходиноквої зубчастої диференціальної передачі є сонячне зубчасте колесо $1_{(1)}$ першої сходинок, а веденою ланкою – зубчасте колесо – епіцикл $3_{(n)}$ n -ої сходинок.

Зв'язок між швидкостями веденої ланки (зубчастого колеса – епіцикла $3_{(n)}$) $\omega_{вд}$ і ведучої ланки (сонячного зубчастого колеса $1_{(1)}$) $\omega_{вч}$ можна отримати на основі умови, коли для окремих сходинок зв'язок між швидкостями має вид

$$\omega_{3(1)} = \frac{\omega_{4(1)}(1 + u_{13(1)}^{(4)}) - \omega_{1(1)}}{u_{13(1)}^{(4)}}; \quad \omega_{3(1)} = \frac{\omega_{4(2)}(1 + u_{13(2)}^{(4)}) - \omega_{1(2)}}{u_{13(2)}^{(4)}}; \\ \omega_{3(1)} = \frac{\omega_{4(3)}(1 + u_{13(3)}^{(4)}) - \omega_{1(3)}}{u_{13(3)}^{(4)}}; \quad \dots; \quad \omega_{3(n)} = \frac{\omega_{4(n)}(1 + u_{13(n)}^{(4)}) - \omega_{1(n)}}{u_{13(n)}^{(4)}} \quad (7)$$

$$i \quad \omega_{1(2)} = \omega_{3(1)}; \quad \omega_{1(3)} = \omega_{3(2)}; \quad \dots; \quad \omega_{1(n)} = \omega_{3(n-1)}.$$

Використовуючи вираз (7), після нескладних перетворень, отримаємо

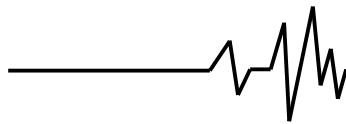
$$\omega_{вд} = (-1)^n \frac{\omega_{вч} - \omega_{4(1)}(1 + u_{13(1)}^{(4)}) + \sum_{i=2}^n \left((-1)^i \omega_{4(i)} (1 + u_{13(i)}^{(4)}) \prod_{k=1}^{i-1} (u_{13(k)}^{(4)}) \right)}{\prod_{i=1}^n (u_{13(i)}^{(4)})}. \quad (8)$$

Тут $\omega_{4(1)}$, $\omega_{4(2)}$, ..., $\omega_{4(n)}$ – швидкості водил, відповідно першої $4_{(1)}$, другої $4_{(2)}$, ..., n -ної $4_{(n)}$ сходинок, які є змінними за рахунок замкнутих гідросистем $6_{(1)}$, $6_{(2)}$, ..., $6_{(n)}$: $\omega_{4(1)} = 0 \dots \omega_{4(1)max}$; $\omega_{4(2)} = 0 \dots \omega_{4(2)max}$; ...; $\omega_{4(n)} = 0 \dots \omega_{4(n)max}$;

$$u_{13(1)}^{(4)} = -\frac{z_{3(1)}}{z_{1(1)}}, \quad u_{13(2)}^{(4)} = -\frac{z_{3(2)}}{z_{1(2)}}, \quad \dots,$$

$$u_{13(n)}^{(4)} = -\frac{z_{3(n)}}{z_{1(n)}} \quad \text{передаточні числа при}$$

зупиненому водилі, відповідно першої, другої, ..., n -ної сходинок, где $z_{1(1)}$, $z_{1(2)}$, ..., $z_{1(n)}$ – число зубців сонячного зубчастого колеса, відповідно першої, другої, ..., n -ної сходинок; $z_{3(1)}$, $z_{3(2)}$, ..., $z_{3(n)}$ – число зубців зубчастого колеса – епіцикла, відповідно першої, другої, ..., n -ної сходинок. Знак (-) пояснюється присутністю одного зовнішнього зачеплення в окремих сходах зубчастої диференціальної передачі.



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) у зубчастих диференціальних передачах з замкнутою гідросистемою за допомогою комп'ютерного моделювання підтверджують можливість раціонального керування швидкістю ланок механізмів зміною швидкості водила.

2. Запропонована методика теоретично-комп'ютерного дослідження залежності між швидкостями в зубчастій диференціальній передачі з замкнутою гідросистемою між ведучою і веденою ланками, коли керування виконується через водило, може бути застосована для інших схем зубчастих диференціальних передач.

3. Отримані графічні залежності швидкості між ланками в диференціальній передачі можна використовувати при проектуванні нових пристроїв для керування змінами швидкості за допомогою зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою і в приводах вітротехніки. Вони є підґрунтям для подальших досліджень.

Список використаних джерел

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

2. Pawar¹, P. V., Kulkarni, P.R. Design of two stage planetary gear train for high reduction ratio // International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol. 04, Iss. 06, eSAT Publishing House, Bangalore, India, 2015, pp. 150–157.

3. Höhn, B.-R., Stahl, K., Gwinner, P. Light-Weight Design for Planetary Gear Transmissions // GEAR TECHNOLOGY, Sept. 2013, Randall Publications LLC, USA, pp. 96-103.

4. Bahk, C.-J., Parker, R. G. Analytical investigation of tooth profile modification effects on planetary gear dynamics // Mechanism and Machine Theory 70, 2013, Elsevier, pp. 298–319.

5. Uicker, J.J., Pennock, G.R., Shigley, J.E. (2003), Theory of Machines and Mechanisms, Oxford University Press, New York, USA.

6. Paul, B. (1979), Kinematics and dynamics of planar machinery, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., USA.

7. Стрілець О.Р. Способи керування змінами швидкості у техніці / О.Р. Стрілець // Збірник тез. VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси ІІРПК-

2015» – Київ : 18-19 травня 2015 року. – С. 220–221.

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

9. Малащенко В.О. Огляд та аналіз способів і пристроїв сходінкового 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. 243–252.

10. 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.

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

12. Пат. 11121 Україна. МПК F 16 H 1/28. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / В.М. Стрілець, І.П. Ріло, О.Р. Стрілець, В.П. Поліщук – у 2005 04847; заявл. 23.05.2005; опубл. 15.12.2005; Бюл. №12, 2005р.

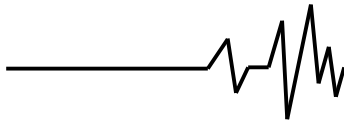
13. Пат. 18587 Україна, МПК F16H3/00. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / Стрілець О.Р., Стрілець В.М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. - у №2006 05205; заявл. 12.05.06; опубл. 15.11.06, Бюл. №11, 2006р.

14. Пат. 25335 Україна, МПК F 16 H 1/28. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / Стрілець О.Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. у № 2005 04847; заявл. 23.01.07; опубл. 19.08.07, Бюл. №12, 2007р.

15. Пат.28489 Україна, МПК B60/K17/06. Планетарна коробка передач / Стрілець О.Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у №2007 09132; заявл. 09.08.07; опубл. 10.12.07, Бюл. №20, 2007р.

Список джерел у транслітерації

1. Kinytskyi Ya.T. Teoriia mekhanizmiv i mashyn: Pidruch. / Ya.T. Kinytskyi; NAN Ukrainy.



– К. : «Nauk. Dumka», 2002. – 660s.

2. Pawar1, P. V., Kulkarni, P.R. Design of two stage planetary gear train for high reduction ratio // International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol. 04, Iss. 06, eSAT Publishing House, Bangalore, India, 2015, pp. 150–157.

3. Höhn, B.-R., Stahl, K., Gwinner, P. Light-Weight Design for Planetary Gear Transmissions // GEAR TECHNOLOGY, Sept. 2013, Randall Publications LLC, USA, pp. 96–103.

4. Bahk, C.-J., Parker, R. G. Analytical investigation of tooth profile modification effects on planetary gear dynamics// Mechanism and Machine Theory 70, 2013, Elsevier, pp. 298–319.

5. Uicker, J.J., Pennock, G.R., Shigley, J.E. (2003), Theory of Machines and Mechanisms, Oxford University Press, New York, USA.

6. Paul, B. (1979), Kinematics and dynamics of planar machinery, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., USA.

7. Strilets O.R. Sposoby keruvannya zminamy shvydkosti u tekhnitsi / O.R. Strilets // Zbirnyk tez. VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Intehrovani intelektualni roboto-tekhnichni komplekxy IIRTK-2015» – Kyiv : 18-19 travnia 2015 roku. – S. 220–221.

8. Strilets O.R. Ohliad i analiz sposobiv keruvannya zminamy shvydkosti u tekhnitsi / O.R. Strilets // 12-y Mizhnarodnyi symposium ukraïnskykh inzheneriv-mekhanikiv u Lvovi: tezy. – Lviv : KINPATRI LTD, 2015. 28-29 travnia 2015 roku. – S. 152–153.

9. Malashchenko V.O. Ohliad ta analiz sposobiv i prystroiv skhodynkovoho keruvannya zminamy shvydkosti u tekhnitsi / V.O. Malashchenko, O.R. Strilets, V.M. Strilets // Visnyk natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. – Rivne : NUVHP, 2015. – № 70. – S. 243–252.

10. Malashchenko V.O. Klyasyfikatsiia sposobiv i prystroiv keruvannya protsesom zminy shvydkosti u tekhnitsi / V.O. Malashchenko, O.R. Strilets, V.M. Strilets // Pidomno-transportna tekhnika. – Odesa: 2015. - №1. – S. 70–78.

11. Strilets O.R. Obgruntuvannya mozhlyvosti keruvannya zminamy shvydkosti za dopomohoiu dyferentsialnykh peredach / O.R. Strilets // Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy. – Kyiv : NAU, 2015. – № 2. – S. 177 – 181.

12. Pat. 11121 Ukraina. MPK F 16 H 1/28. Zubchastyi dyferentsial z prystroiem dlia keruvannya zminamy shvydkosti / V.M. Strilets, I.P. Rilo, O.R. Strilets, V.P. Polishchuk – u 2005 04847; zaiavl. 23.05.2005; opubl. 15.12.2005; Biul. №12, 2005r.

13. Pat. 18587 Ukraina, MPK F16N3/00. Zubchastyi dyferentsial z prystroiem dlia

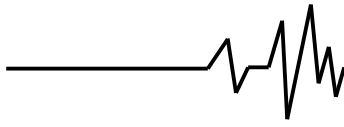
keruvannya zminamy shvydkosti / Strilets O.R., Strilets V.M; zaiavnyk i vlasnyk patentu Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. - u №2006 05205; zaiavl. 12.05.06; opubl. 15.11.06, Biul. №11, 2006r.

14. Pat. 25335 Ukraina, MPK F 16 N 1/28. Zubchastyi dyferentsial z prystroiem dlia keruvannya zminamy shvydkosti / Strilets O.R.; zaiavnyk i vlasnyk patentu Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. - u № 2005 04847; zaiavl. 23.01.07; opubl. 19.08.07, Biul. №12, 2007r.

15. Pat.28489 Ukraina, MPK V60/K17/06. Planetarna korobka peredach / Strilets O.R.; zaiavnyk i vlasnyk patentu Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. – u №2007 09132; zaiavl. 09.08.07; opubl. 10.12.07, Biul. №20, 2007r.

НОВЫЙ ПРИВОД С ДИФФЕРЕНЦИАЛОМ И ЗАМКНУТОЙ ГИДРОСИСТЕМОЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ МАШИН

Аннотация. В статье рассмотрен процесс управления изменениями скорости при помощи зубчатых дифференциальных передач, когда ведущим звеном есть солнечное зубчатое колесо, а ведомым – эпицикл. Звеном управления есть водило, которое связано с замкнутой гидросистемой посредством зубчатой передачи. Замкнутая гидросистема состоит из шестеренчатого гидронасоса, коротких трубопроводов, регулирующего дросселя, обратного клапана и емкости для жидкости. Когда регулирующий дроссель открыт, водило вращается и перекачивает жидкость в замкнутой гидросистеме. В случае, когда регулирующий дроссель закрыт, водило не вращается - не перекачивается жидкость в замкнутой гидросистеме, потому, что она закрыта. При плавном закрытии регулирующего дросселя скорость водила плавно изменяется от максимальной величины до нуля или наоборот. Поэтому управление изменениями скорости осуществляется за счёт дросселирования жидкости, которая движется в замкнутой гидросистеме. Для таких зубчатых дифференциальных передач одноступенчатых и многоступенчатых проведены теоретически-компьютерные исследования и при помощи компьютерного моделирования получены графические зависимости между скоростями ведущего, управляющих и ведомого звеньев, которые подтверждают возможность управления изменениями скорости в более широком диапазоне. Полученные результаты имеют



практическое применение при проектировании новых устройств управления изменениями скорости в технике, в том числе и в приводах вибротехники, и являются подспорьем для дальнейших исследований.

Ключевые слова: *привод, управление изменениями скорости, зубчатая дифференциальная передача, солнечное зубчатое колесо, эпицикл, водило, замкнутая гидросистема, звено управления.*

NEW DRIVE WITH EPICYCLIC GEAR TRAIN AND CLOSED CIRCUIT HYDROSYSTEM FOR MACHINE SPEED MANAGEMENT

Annotation. *The article considers processes of speed change management via epicyclic gear train when the driving element is a solar gear and the driven – is ring gear. The control element is carrier connected to closed circuit hydrosystem through gearing. Closed circuit hydrosystem consists of hydraulic pump, short pipes, regulating throttle, valve and entity for liquid. When regulating throttle is open we have that*

carrier drives the hydraulic pump that pumps fluid in a closed hydrosystem. When regulating throttle is closed, then hydrosystem is immovable, hydraulic pump is stopped and so is carrier. Smooth closing of regulating throttle results in smooth carrier speed change from zero to some maximal value. Thus, depending on the bandwidth of regulating throttle we obtain the speed change of the driven element. We received graphic dependences between velocities of driving, control and driven elements of such epicyclic gear trains, single and multistep, by means of computer programing. Those dependences prove the possibility of speed management in broader range. Results obtained have practical application in designing new devices for speed change management in engineering, including vibrotechnics drives, and are the foreground for further research.

Key words: *drive, speed change management, epicyclic gear train, sun gear, ring gear, carrier, closed circuit hydrosystem, control element.*