

UDC 621.833.65

O.R. Strilets, PhD., Assoc. Prof.

National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna Str., Rivne, Ukraine, 33028; e-mail: o.r.strilets@nuwm.edu.ua

## THE EFFICIENCY OF THE DIFFERENTIAL GEAR TO DEVICES FOR CONTROLLING THE SPEED CHANGE THROUGH A SUN GEAR

*O.P. Стрилец. Коефіцієнт корисної дії зубчастої диференціальної передачі у пристрої для керування змінами швидкості через сонячне зубчасте колесо.* Під час виконання технологічних процесів виникає необхідність керування змінами швидкості за величиною та напрямком. На сьогодні особлива увага приділяється способу керування змінами швидкості за допомогою односходникових і багатосходникових зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою. Актуальними стають питання щодо коефіцієнта корисної дії таких пристроїв. Метою роботи є отримання аналітичних та графічних залежностей коефіцієнта корисної дії між ведучою і веденою ланками у односходникових однорядних і двоходникових зубчастих диференціальних передачах з замкнутими гідросистемами, коли ведучою ланкою є водило, а веденою – епіцикл, і навпаки. Проаналізовано роботу зубчастої однорядної і двоходникових диференціальних передач у випадках, коли ведучою ланкою є водило, а веденою – епіцикл, і навпаки. Керуючою ланкою зміни швидкості є сонячне зубчасте колесо, яке може обертатись, коли буде перекачуватись рідина в гідросистемі, або може бути зупиненим за допомогою замкнутої гідросистеми. Виконано аналітичне дослідження коефіцієнту корисної дії для такої передачі, і отримано графічні залежності його від параметрів передачі. На основі отриманих аналітичних виразів і графічних залежностей зроблено висновок про зміну значення коефіцієнту корисної дії від передаточного відношення, швидкості ланки керування і оцінено його з точки зору самогальмування.

*Ключові слова:* коефіцієнт корисної дії, зубчаста диференціальна передача, сонячне зубчасте колесо, водило, епіцикл, замкнута гідросистема

*O.R. Strilets. The efficiency of the differential gear to devices for controlling the speed change through a sun gear.* When performing technological processes, it becomes necessary to control changes in speed in magnitude and direction. Today, special attention is paid to the method of controlling speed changes using single-stage and multistage differential gears with a closed hydraulic system. Relevant issue is the efficiency of such devices. The aim of the work is to obtain analytical and graphical dependences of the efficiency between the driving and the driven links in single-stage single-row and two-row differential gears with closed hydraulic system, when the driving link is the carrier, and the driven one is the epicycle, and vice versa. The work of a single-row and two-row differential gear was analyzed in cases where the driving link is the carrier, and the driven one is the epicycle, and vice versa. The control link of the speed change is a solar gear that can rotate when fluid is pumped in the hydraulic system, or can be stopped by a closed hydraulic system. An analytical study of the efficiency for such a transmission was performed, and its graphic dependencies on transmission parameters were obtained. Based on the obtained analytical expressions and graphical dependencies, a conclusion was made about the change in the value of the efficiency from the ratio, the speed of the control link, and its estimation from the point of view of self-braking was performed.

*Keywords:* efficiency, differential gear, sun gear, carrier, epicycle, closed hydraulic system

**Introduction.** When carrying out technological processes by lifting, transport, construction, road, meliorative machines, cars and tractors, and other equipment, it becomes necessary to control the speed and speed changes in magnitude and direction. To date, methods and devices for stepped and stepless speed control in terms of magnitude and direction are known in the form of stepped gear boxes, belt, chain variators, and the like. Known methods and devices for controlling speed changes have many disadvantages. The main disadvantage of stepped control is the complexity of the design of devices, their large material capacity, the large dynamic loads that arise when switching from one speed to another, even using synchronizers. The main disadvantage of stepless speed control is the high wear of parts due to the use of frictional bonds, as a rule, frictional brakes and locking friction clutches, which reduces the durability and reliability of the details of drives and machines in general. Therefore, there are problems of creating new methods and devices for controlling speed changes, which will eliminate these shortcomings.

Today special attention is paid to the method of controlling speed changes using single-stage and multistage differential gears with a closed hydraulic system [1 – 16]. Control in such devices is realised by means of a sun gear, which rotates the hydraulic pump of a closed hydraulic system through a gear train and pumps the liquid in it with a certain angular velocity of the control link.

DOI 10.15276/opu.2.52.2017.05

© 2017 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Relevant issue is the efficiency of such devices [17 – 21].

Some of these devices are developed at the level of Ukrainian patents and require further theoretical studies of their kinematic, power and geometric parameters [22 – 25].

General concepts of efficiency are widely described in the classical technical literature on the theory of mechanisms and machines, for example in [26], but the data given do not take into account specific cases of operation of specific mechanisms.

**The aim** of the work is to obtain analytical and graphical dependences of the efficiency between the driving and the driven links in single-stage single-row and two-row differential gears with closed hydraulic system, when the driving link is the carrier, and the driven one is the epicycle, and vice versa.

**Materials and Methods.** It is well known that the perfection of machines and mechanisms is assessed with help of efficiency.

The efficiency is in the range of  $0 \leq \eta \leq 1$  and is a value that is determined by the ratio of the useful power to the spent

$$\eta = P_{up} / P_f, \quad (1)$$

where  $P_{up}$  – power of useful forces;

$P_t$  – total power, supplied to the mechanism,

$$P_t = P_{up} + P_{hp},$$

where  $P_{hp}$  – power of harmful forces.

The general definition of efficiency as mentioned above can be specified for individual cases and, importantly, it is possible to obtain formulas for determining the efficiency through other parameters of the mechanisms.

The determination of the efficiency of differential gears is not always necessary. If such a transmission is used as a reducer that transfers power to the machine's actuator for a long time, then to determine its suitability it is necessary to calculate the efficiency. In the case where such transmissions are used as movement control devices for some links, the calculation of the efficiency can be omitted if there is a certainty that the transmission is not self-braking.

In practice, there are mainly three known methods of determining the efficiency [26], which can be taken as the basis for solving the specific task.

The efficiency of the proposed device for controlling speed changes by means of a differential transmission with a closed hydraulic system via the solar gear, in the case where the driving link is the carrier and the driven one is the epicycle, appears as follows

$$\eta = \eta_{43} \eta_6 \eta_7, \quad (2)$$

where  $\eta_{43}$  – efficiency of differential gear;

$\eta_6$  – efficiency of a drive of closed hydraulic system (gear);

$\eta_7$  – closed hydraulic system efficiency (power loss at the pump when transferring liquid in a closed hydraulic system).

A block diagram of possible power losses in the device for controlling speed changes by means of a differential transmission with a closed hydraulic system through an epicycle, where the driving link is the carrier, and the driven one is the epicycle, is shown in fig. 1.

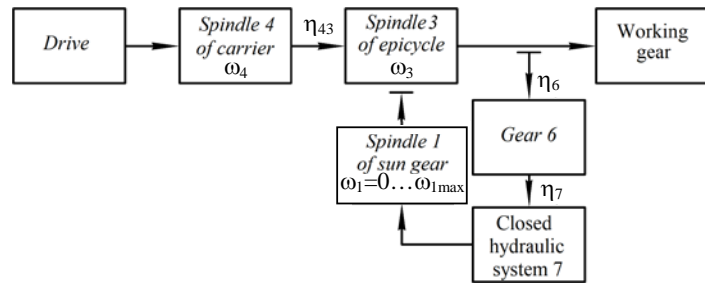


Fig. 1. Block diagram of power losses in the device for controlling speed changes in the case where the driving link is the carrier and the driven is the epicycle, and the control link is the solar gear

Based on the analysis of power losses in the device, it is concluded that some of the power supplied to the carrier via the satellite is transmitted to the epicycle, and its other part is transmitted via the satellite to the solar gear and the closed hydraulic system.

To determine the efficiency, let's consider the scheme of the forces acting in the clutches of the sun gear and satellite ( $\bar{F}_{12}$ ), of the satellite and the epicycle ( $\bar{F}_{23}$ ), of the satellite and the carrier ( $\bar{F}_{24}$ ) and write the equilibrium condition of the satellite (fig. 2) in the following form

$$\bar{F}_{12} + \bar{F}_{23} + \bar{F}_{24} = 0. \quad (3)$$

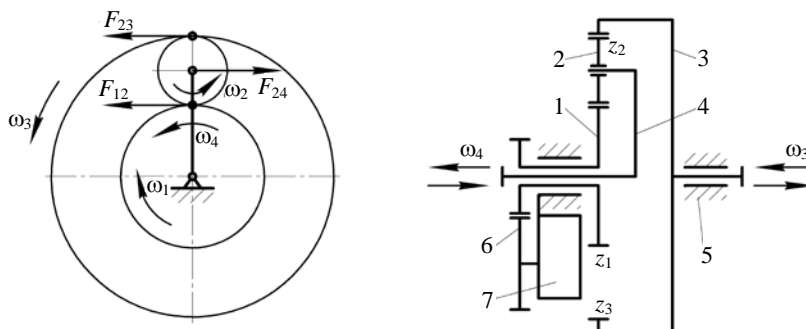


Fig. 2. Schemes of forces in single-row differential gear

In addition, the sum of the moments of forces acting on the satellite relative to the axis of its rotation is zero

$$\bar{F}_{12}r_2 + \bar{F}_{23}r_2 = 0, \quad (4)$$

where  $r_2$  – radius of the initial circle of the satellite with  $z_2$  number of teeth.

From the expressions (3) and (4) follows the dependence of the forces acting on the links of the differential gear, which can be expressed as follows:

$$\bar{F}_{12} = -\bar{F}_{23}; \quad (5)$$

$$\bar{F}_{24} = -(\bar{F}_{12} + \bar{F}_{23}). \quad (6)$$

The obtained formulas show that one of the given forces makes it possible to determine the two others. If there is a given torque  $T_1$ , then

$$F_{12} = T_1 / r_1, \quad (7)$$

where  $r_1$  – radius of the initial circle of the sun gear  $z_1$ .

According to the expression (7) for the torque, which is applied to the wheel in the gear with the stopped carrier, we have

$$T_3 = F_{23}r_3 = -\frac{r_3}{r_1}T_1 = -u_{13}^{(4)}T_1, \quad (8)$$

that is, the rotational moments  $T_1$  and  $T_3$  without friction are referred to as in a gear with fixed axes. Considering friction on the teeth surfaces, the ratio between the rotational moments can be represented as follows

$$T_3 = -T_1 u_{13}^{(4)} \eta_{13}^k, \quad (9)$$

where  $\eta_{13}$  – transmission efficiency with fixed axes is determined as for the sequential clutch;

$k = +1$  – when power is transferred from the carrier to the gear wheel  $z_3$  and  $k = -1$  – when power is transferred from the gear  $z_3$  to the carrier;

$u_{13}^{(4)}$  – differential gear ratio with the driver stopped:

$$u_{13}^{(4)} = -z_3 / z_1.$$

In this case, the efficiency of the differential gear needs to be determined taking into account the fact that significant power is transmitted from the carrier to the epicycle or vice versa. That is, the gear differential transmission is used as a power gear, and the sun gear serves as a link for changing the speed of the driven links of the epicycle in the first case, and the carrier in the second.

The relationship between the rotational moments that act on the links of the differential gear can be established by considering the condition of the balance of the transmission as a whole, namely:

$$T_1 + T_3 + T_4 = 0, \quad (10)$$

where  $T_4$  – torque acting on the carrier.

According to [26]

$$T_4 = -T_1(1 - u_{13}^{(4)}\eta_{13}^k). \quad (11)$$

When the driving link is the carrier, and the driven one is the epicycle, that is, the torque of the resistance forces is applied to the epicycle, then the expression for the efficiency will have the following form

$$\eta_{43} = -\frac{T_3\omega_3}{T_4\omega_4 + T_1\omega_1}. \quad (12)$$

Let's substitute the values of  $T_1$ ,  $T_3$  and  $T_4$  to (12) and express  $\omega_3$  as  $\omega_4$ , using formula (2) from [10]. After simple transformations we obtain:

$$\eta_{43} = \frac{[(1 + u_{13}^{(4)})\omega_4 - \omega_1]\eta_{13}}{(1 + u_{13}^{(4)}\eta_{13})\omega_4 - \omega_1}. \quad (13)$$

In order to better illustrate the nature of the dependence of the efficiency of a differential transmission on a device in the form of a closed hydraulic system on the transmission parameters, when the driving gear is the sun gear and the driven is the carrier the following is implemented.

Graphic dependences of the efficiency of the differential gear transmission  $\eta_{43} = f(\omega_1, \omega_4, u_{13}^{(4)})$  for gear ratios  $u_{13}^{(4)} = \{1...50\}$ , with angular velocity of driving link  $\omega_4 = 100$  rad/s were constructed. The obtained graphical dependences  $\eta_{43} = f(\omega_1, \omega_4, u_{13}^{(4)})$  for  $u_{13}^{(4)} = \{1...20\}$  at  $\eta_{13}^{(4)} = 0,97$ ,  $\omega_4 = 100$  rad/s and  $\omega_1 = 0...50$  rad/s are shown in fig. 3.

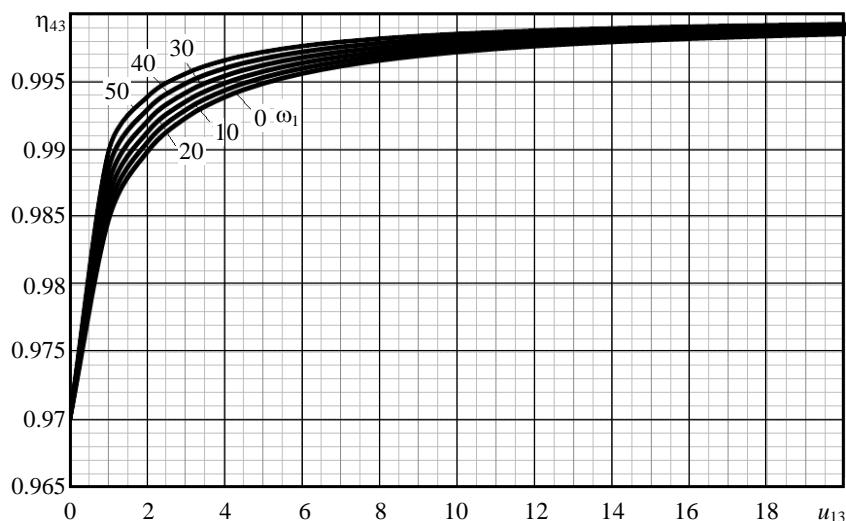


Fig. 3. Efficiency dependences  $\eta_{43} = f(\omega_1, \omega_4, u_{13}^{(4)})$  in differential single-row transmission in the case where the driving link is the carrier, and the driven one is the epicycle

The efficiency of the device for controlling speed changes by means of a differential transmission with a closed hydraulic system through the solar gear, where the driving link is the epicycle, and the driven one is the carrier, appears as follows

$$\eta = \eta_{34}\eta_6\eta_7, \tag{14}$$

where  $\eta_{34}$  – differential transmission efficiency;

$\eta_6$  – efficiency of drive of closed hydraulic system (gear);

$\eta_7$  – efficiency of a closed hydraulic system (loss of power for pump operation when pumping liquid in a closed hydraulic system).

A block diagram of possible power losses in a device for controlling speed changes by means of differential transmission with a closed hydraulic system through a solar gear, where the driving link is the epicycle, and the driven one is a carrier, is shown in fig. 4.

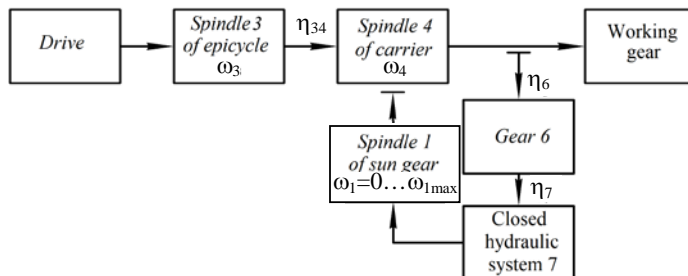


Fig. 4. Block diagram of power losses in the device for controlling speed changes in the case where the driving link is the epicycle, the driven one is the carrier, and the control link is the solar gear

If the torque  $T_4$  is the moment of resistance of the working machine (that is, the carrier is the driven link),  $T_3$  is the driving epicycle torque and  $T_1$  is the steering torque (sun gear), then the efficiency with the driven carrier can be expressed by the ratio of the usable power to total power

$$\eta_{41} = -\frac{T_4\omega_4}{T_3\omega_3 + T_1\omega_1}. \tag{15}$$

If we substitute the values to the formula (15)  $T_1, T_3 = -T_1u_{13}^{(4)}\eta_{13}^{-1}$  and  $T_4 = -T_1(1 - u_{13}^{(4)}\eta_{13}^{-1})$  to the formulas (9) and (11) and express  $\omega_4$  through  $\omega_3$ , using formula (3) from [10], after simple transformations we obtain an expression for efficiency with entered carrier as:

$$\eta_{34} = \frac{(\eta_{13} + u_{13}^{(4)})(\omega_1 + \omega_3u_{13}^{(4)})}{(1 + u_{13}^{(4)})(\omega_1\eta_{13} + \omega_3u_{13}^{(4)})}. \tag{16}$$

For this case, similar to previous graphs, we obtained dependences of efficiency  $\eta_{34}$  from  $u_{13}^{(4)} = 1...20$  for  $\eta_{13}^{(4)} = 0,97$ ;  $\omega_3 = 100$  rad/s;  $\omega_1 = 0...50$  rad/s. The results are shown in fig. 5.

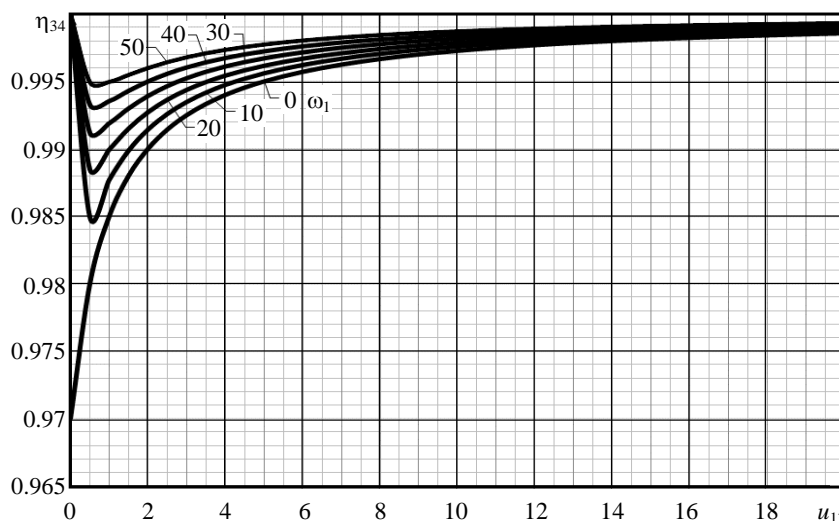


Fig. 5. Dependence of efficiency of  $\eta_{34} = f(\omega_4, \omega_3, u_{13}^{(4)})$  in differential single-row transmission in the case where the driving link is the epicycle and the driven one is the carrier

For a two-row differential gear (fig. 6), the ratio value  $u_{13}^{(4)}$  will be calculated as

$$u_{13}^{(4)} = -\frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'} \quad (17)$$

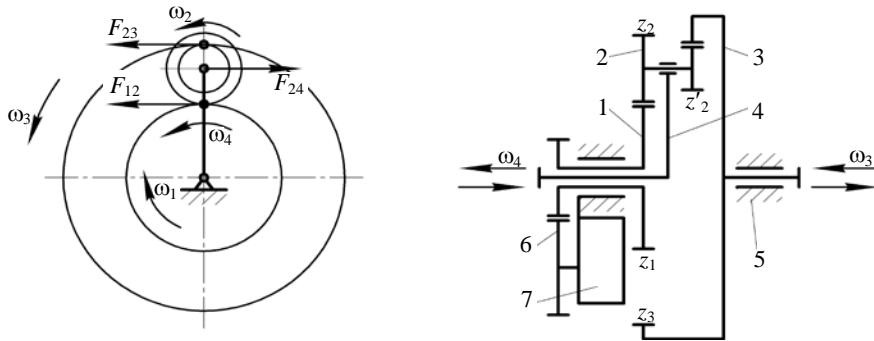


Fig. 6. Diagrams of forces in a two-row differential gear

In addition, the sum of the moments of forces acting on the satellite relative to the axis of its rotation is equal to zero:

$$\bar{F}_{12}r_2 + \bar{F}_{23}r_2' = 0, \quad (18)$$

where  $r_2$  and  $r_2'$  – radii of the initial circumferences of the gears of the satellite with the number of teeth  $z_2$  and  $z_2'$  respectively.

**Conclusions.** The following conclusions can be drawn from the study:

The obtained analytical and graphical dependences of the efficiency between the driving and driven links (carrier and epicycles, and vice versa) in single-stage single-row and two-row differential gears with closed hydro systems (fig. 3 and 5) show that the efficiency value varies and give the possibility to estimate it from self-braking point of view.

It is shown (fig. 3) that in the gear differential transmission in the case where the driving link is the carrier and the driven one is the epicycle, the efficiency is higher than for the simple transmission and significantly increases with the increase in the gear ratio in the range of 0.1...5, and further is almost constant and depends little on the angular velocity of the control link.

It is shown (fig. 5) that in the gear differential transmission in the case where the driving link is an epicycle and the driven one is a carrier, the efficiency is higher than in the simple transmission and decreases somewhat with the increase in the gear ratio within the limits of 0.1...0.5, and in the range of 0.5...5 increases and further is almost constant value and depends little on the angular velocity of the control link. Analysis of expression (17) shows that the efficiency does not decrease to zero for a given quadrant and self-braking is not possible.

## Література

1. Стрілець, О. Керування змінами швидкості за допомогою зубчастої диференціальної передачі / О. Стрілець, В. Стрілець, І. Шинкаренко // «Машинознавство». Всеукраїнський науково-технічний і виробничий журнал. – № 6(120). – Львів: 2007. – С. 38 – 41.
2. Стрілець, О. Комп'ютерне моделювання диференціальних передач з пристроєм для керування швидкістю / О. Стрілець // «Машинознавство». Всеукраїнський науково-технічний і виробничий журнал. – № 12(150). – Львів: 2009. – С. 39 – 43.
3. Malashchenko, V. Fundamentals of Creation of New Devices for Speed Chang Management / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets // Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. – Lviv: 2015. – № 2. – P. 11 – 20.

4. 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.
5. Стрілець, О.Р. Обґрунтування можливості керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач / О. Стрілець // Вісник Інженерної академії України. – Київ: НАУ, 2015. – № 2. – С. 177 – 181.
6. 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.
7. 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). – Хмельницький: ХНУ, 2015. – С. 68 – 72.
8. Стрілець, О.Р. Керування змінами швидкості за допомогою неповної диференціальної передачі через сателіт / О.Р. Стрілець // Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки. – № 4(72). – Рівне: НУВГП, 2015. – С. 138 – 148.
9. 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.
10. 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.
11. 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 університету «Львівська політехніка». Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – Львів: НУ «ЛП», 2016. – № 838. – С. 57 – 63.
12. Малащенко, В.О. Новий привод з диференціалом і замкнутою гідросистемою для керування швидкістю машини / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». – № 3(83). – Вінниця: 2016. – С. 109 – 116.
13. Malashenko, V. Metoda i urzadzenie do zmiany predkosci za pomoca obiegowej przekladni zebatej z zestawem stopniowanych kol planetarnich / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets // PRACE NAUKOWE ITVL V. – Zeszyt 38, 2016 s. 5–11.
14. Malashenko, V. Method and device for speed change by the epicyclic gear train with stepped-planet gear set / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets // RESEARCH WORKS OF AFIT. – 2016. – Issue 38, p. 13–19.
15. Малащенко, В.А. Новый способ бесступенчатого изменения скорости при помощи зубчатых дифференциальных передач с замкнутой гидросистемой / В.А. Малащенко, О.Р. Стрилец, В.Н. Стрелец // Международный инженерный журнал «Механические передачи. Приводы и компоненты машин». – М.: 2015. – № 4-5. – С. 7 – 10.
16. Вавилов, А.В. Совершенствование трансмиссий дорожных машин для повышения их конкурентоспособности и обеспечения импортозамещения. / А.В. Вавилов, В.А.Малащенко, О.Р.Стрилец, В.Н. Стрелец // Автомобильные дороги и мосты. – № 4. – Минск: БНТУ, 2016. – С. 140 – 150.
17. Стрілець, О.Р. Способи керування змінами швидкості у техніці / О.Р. Стрілець // Збірник тез. УІ-П-ої Міжнародної н-п конференції Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси ПРТК-2015. – Київ: 18 – 19 травня, 2015. – С. 220 – 221.
18. Стрілець, О.Р. Огляд і аналіз способів керування змінами швидкості в техніці 12-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові / О.Р. Стрілець //: тези. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 28 – 29 травня 2015 року. – С. 196 – 197.
19. Стрілець, О.Р. Кінематичні можливості зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою / О.Р. Стрілець // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», том 1.– Тернопіль, 25 – 26 листопада 2015 року. – С. 234 – 235.
20. Стрілець, О.Р. Можливості багатосходинової зубчастих диференціальних передач з замкнутими гідросистемами керувати швидкістю / О.Р. Стрілець // Збірник тез. ІХ-ої Міжнародної науково-практичної конференції Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси ПРТК-2016. – Київ: НАУ, 17 – 18 травня 2016. – С. 234 – 236.

21. Стрілець, О.Р. Про визначення коефіцієнта корисної дії зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою для керування змінами швидкості / 5-а Міжнародна науково-технічна конференція «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій» / О.Р. Стрілець // тези. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 27 – 28 жовтня 2016 року. – С. 142 – 144.
22. 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, 2006 р.
23. 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, 2007 р.
24. Пат. 28489 Україна, МПК B60K17/06. 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, 2007 р.
25. Пат. 108239 Україна, МПК F 16 H 1/28. Пристрій для керування змінами швидкості / Стрілець О.Р., Малащенко В.О., Стрілець В.М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у № 2016 00131; заявл. 04.01.16; опубл. 11.07.16, Бюл. № 13, 2016 р.
26. Кіницький, Я.Т. Теорія механізмів і машин: Підручник / Я.Т. Кіницький // НАН України.– К.: «Наук. Думка», 2002. – 660с.

## References

1. Strilets, O., Strilets, V., & Shynkarenko, I. (2007). Keruvannya zminamy shvydkosti za dopomohoyu zubchastoyi dyferentsial'noyi peredachi [Speed changes management via epicyclic gear train]. *Mashynoznavstvo [Mechanical Engineering]*. Lviv, 6 (120), 38–41.
2. Strilets, O. (2009). Komp'yuterne modelyuvannya dyferentsial'nykh peredach zprystroyem dlya keruvannya shvydkisty [Computer modeling of epicyclic gear trains with speed management device]. *Mashynoznavstvo [Mechanical Engineering]*. Lviv, 12 (150), 39–43.
3. Malashchenko, V., Strilets, O., & Strilets, V. (2015). Fundamentals of Creation of New Devices for Speed Change Management. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. Lviv, 2, 11–20.
4. Malashchenko, V. O., Strilets, O. R., & Strilets, V. M. (2015). Klasyfikatsiya sposobiv i prystroyiv keruvannya protsesom zminy shvydkosti u tekhnitsi [Classification of methods and devices of the speed change process management in engineering]. *Pidymno-transportna tekhnika [Hoisting and Transport Machinery]*. Odessa, 3, 70–78.
5. Strilets, O. R. (2015). Obgruntuvannya mozhlyvosti keruvannya zminamy shvydkosti za dopomohoyu dyferentsial'nykh peredach [Justification of the speed change management capability via differential gearbox]. *Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy [Bulletin of Engineering Academy of Ukraine]*. Kyiv, 2, 177–181.
6. Strilets, O. R. (2015). Keruvannya zminamy shvydkosti za dopomohoyu zubchastoyi dyferentsial'noyi peredachi cherez epitsykl [Speed change management via epicyclic gear train through epicycle] *Visnyk Ternopil's'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu [Scientific Journal of Ternopil National Technical University]*. Ternopil, 4 (80), 129–135.
7. Strilets, O. R. (2015). Keruvannya protsesom zminy shvydkosti za dopomohoyu dyferentsial'noyi peredachi cherez sonyachne zubchaste koleso [Speed change process management via epicyclic gear train through sun gear]. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky [Herald of Khmelnytskyi National University. Series: Technical Sciences]*. Khmelnytsky, 2015, 5, 68–72.
8. Strilets, O. R. (2015). Keruvannya zminamy shvydkosti za dopomohoyu nepovnoyi dyferentsial'noyi peredachi cherez satelit [Speed Change Management Via Partial Epicyclic Gear Train Through Planets]. *Visnyk natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Tekhnichni nauky [Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering]*. Rivne, 3, 2, 138–148.
9. Strilets, O. R. (2015). Keruvannya protsesom zminy shvydkosti za dopomohoyu dyferentsial'noyi peredachi cherez vodylo [Processes of Speed Change Management Via Epicyclic Gear Train By Carri-



- er] *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho* [Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University]. Kremenchuk, 6/2015 (95), 87–92.
10. Malashchenko, V. O., Strilets, O. R., & Strilets, V. M. (2016). Keruvannya zminamy shvydkosti za dopomohoyu bahatoskhodynkovoyi zubchastoyi peredachi cherez sonyachne zubchaste koleso [Manage speed changes with multi-step gear transmission through the solar gear]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KhPI"* [Scientific Journal of the National Technical University "KhPI"]. Khar'kov, 23(1195), 87–92.
  11. Malashchenko, V. O., Strilets, O. R., & Strilets, V. M. (2016). Keruvannya zminamy shvydkosti za dopomohoyu bahatoskhodynkovoyi zubchastoyi peredachi cherez sonyachne zubchaste koleso [Manage speed changes with multi-step gear transmission through the solar gear]. *Visnyk Natsional'noho universytetu "L'vivs'ka politehnika"* [Journal of the National University "Lviv Polytechnic"]. Lviv, 838, 57–63.
  12. Malashchenko, V. O., Strilets, O. R., & Strilets, V. M. (2016). Novyy pryvod z dyferentsialom i zamknotoyu hidrosystemoyu dlya keruvannya shvydkisty mashyny [New drive with differential and closed hydrosystem for controlling the speed of the machine] *Vseukrayins'kyi naukovo-tekhnichnyy zhurnal "Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh"* [All-Ukrainian scientific and technical magazine "Vibration in technology and technologies"]. Vinnitsa, 3 (83), 109–116.
  13. Malashchenko, V., Strilets, O., & Strilets, V. (2016). Method and apparatus for speed variation by means of a planetary gearbox with a set of stepped planetary magnets. *PRACE NAUKOVE ITVL V. Zeszit 38*, 5–11.
  14. Malashchenko, V., Strilets, O., & Strilets, V. (2016). Method and device for speed change by the epicyclic gear train with stepped-planet gear set. *RESEARCH WORKS OF AFIT*. 38, 13–19.
  15. Malashchenko, V. O., Strilets, O. R., & Strilets, V. M. (2015). Novyy spodob besstupenchatogo izmeneniya skorosti pri pomoshchi zubchatykh differentsial'nykh peredach s zamknotoy gidrosistemoy [A new way of infinitely variable speed variation with gear differential gears with a closed hydraulic system]. *Mezhdunarodnyy inzhenernyy zhurnal "Mekhanicheskiye peredachi. Privody i komponenty mashin"* – International Engineering Journal "Mechanical Transmission. Drives and components of machines" Moscow, 4-5, 7–10.
  16. Vavilov, A.V., Malashchenko, V. O., Strilets, O. R., & Strilets, V. M. (2016). Sovershenstvovaniye transmissiy dorozhnykh mashin dlya povysheniya ikh konkurentosposobnosti i obespecheniya importozameshcheniya [Improvement of the transmissions of road vehicles to improve their competitiveness and ensure import substitution]. *Avtomobil'nyye dorogi i mosty – Automobile roads and bridges*. Minsk, 4. 140–150.
  17. Strilets, O.R. (2015). Sposoby keruvannya zminamy shvydkosti u tekhnitsi [Ways of controlling speed changes in technology]. *UIII-oyi Mizhnarodnoyi n-p konferentsiyi „Intehrovani intelektual'ni robototekhnichni komplekxy IIRTK-2015. (18–19 travnya 2015) – VIII International Conference "Integrated Intellectual Robot-Technical Complexes IIRTK -2015.* (pp.220–221). Kyiv.
  18. Strilets, O.R. (2015). Ohlyad i analiz spodobiv keruvannya zminamy shvydkosti v tekhnitsi [Review and analysis of how to manage speed changes in technology]. *12-y Mizhnarodnyy symposium ukrayins'kykh inzheneriv-mekhanikiv u L'vovi (28–29 travnya 2015) – 12th International Symposium of Ukrainian Mechanical Engineers in Lviv.* (pp. 196–197). Lviv: KINPATRI LTD.
  19. Strilets, O.R. (2015). Kinematychni mozhyvosti zubchastykh dyferentsial'nykh peredach z zamknotoyu hidrosystemoyu [Kinematics of gear differential gears with closed hydrosystems] *Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi molodykh uchenykh i studentiv "Aktual'ni zadachi suchasnykh tekhnolohiy" (25–26 lystopada 2015) – Materials of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students "Current Problems of Modern Technologies"*. (pp. 234–235), Ternopil.
  20. Strilets, O.R. (2016). Mozhyvosti bahatoskhodynkovykh zubchastykh dyferentsial'nykh peredach z zamknotymy hidrosystemamy keruvaty shvydkisty [Possibilities of multi-gear gear differential gears with closed hydrosystems to control speed]. *IX-oyi Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "Intehrovani intelektual'ni robototekhnichni komplekxy IIRTK-2016" (17 – 18 travnya 2016) – IX International Scientific and Practical Conference "Integrated Intellectual Robot-Technical Complexes of IIRTK-2016"*. (pp. 234–236). Kyiv: NAU.
  21. Strilets, O.R. (2016). Pro vyznachenniya koefitsiyenta korysnoyi diyi zubchastykh dyferentsial'nykh peredach z zamknotoyu hidrosystemoyu dlya keruvannya zminamy shvydkosti [On the determination of the coefficient of efficiency of gear differential gears with a closed hydrosystem for controlling speed changes]. *5-a Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya "Teoriya ta praktyka ratsional'noho*

- proektuvannya, vyhotovlennya i ekspluatatsiyi mashynobudivnykh konstruksiy*” (27-28 zhovtnya 2016 roku) – 5th International Scientific and Technical Conference “Theory and Practice of Rational Design, Manufacture and Operation of Machine Building Constructions”. (pp. 142-144). Lviv: KINPATRI LTD.
22. Strilets O. R., & Strilets V. M. (2006). *Zubchastyy dyferentsial z prystroyem dlya keruvannya zminamy shvydkosti [Epicyclic gear train with speed change management device]*. Patent UA, no. 18587.
  23. Strilets O. R. (2007). *Zubchastyy dyferentsial z prystroyem dlya keruvannya zminamy shvydkosti [Epicyclic gear train with speed change management device]*. Patent UA, no. 25335.
  24. Strilets O. R., & Strilets V. M. (2007). *Zubchastyy dyferentsial z prystroyem dlya keruvannya zminamy shvydkosti [Planetary gearbox]*. Patent UA, no. 28489.
  25. Strilets O. R., Malashchenko, V. O & Strilets V. M. (2016). *Prystriy dlya keruvannya zminamy shvydkosti [Device for controlling changes in speed]* Patent UA, no. 108239.
  26. Kynitsky, Ya.T. (2002). *Teoriya mekhanizmiv i mashyn: Pidruchnyk [Theory of Mechanisms and Machines]*. Kyiv: Nauk. Dumka.

Received March 19, 2017

Accepted May 19, 2017