

doi: 10.32620/oikit.2023.97.10

УДК 621.863:621.833.6-047.37

В. В. Усік,  
О. В. Косенко

## Дослідження передатних відношень планетарних передач підйомно-транспортних машин

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»*

Підйомно-транспортні машини (ПТМ) є одним з важливих обладнань для механізації робіт в різних сферах народного господарства. До складу механізму підйому вантажу крім поліспасної системи входить також лебідка. Найчастіше в ПТМ використовують лебідки з одним барабаном, які мають стандартні параметри - тягову силу від 3,2 до 125 кН при швидкості канату від 0,5 до 0,1 м/с. До складу таких лебідок входить двоступеневий зубчастий редуктор, який з'єднує електричний двигун з барабаном. Така схема приводу лебідки є доволі габаритною та має значну вагу. Одним із напрямків, який допоможе зменшити ці показники є використання планетарних редукторів. Вони дозволяють використовувати лебідки, у яких електричний двигун і редуктор є співвісними, а самий планетарний редуктор може бути вмонтованим в барабан. Така схема приводу механізму підйому вантажу дозволяє зменшити габарити та вагу лебідки. У роботі розглянуто розрахунок та проведено порівняння передавальних відношень планетарних передач, які використовують і можуть бути використані в підйомно-транспортних машинах для зменшення габаритів і ваги механізмів підйому вантажу. Наведені схеми простих і замкнених планетарних передач, а також схема з трьома центральними зубчастими колесами. Розглянута схема планетарної передачі з вільними зубчастими колесами. Присутність внутрішніх зачеплень та декількох сателітів робить планетарні передачі компактними та малої ваги. Передача АII з двома внутрішніми зачепленнями та вільним водилом дозволяє одержати значні передатні відношення при невеликій кількості зубчастих коліс. Схеми планетарних передач з вільними зубчастими колесами дозволяє змінювати кутову швидкість вихідного вала.

**Ключові слова:** планетарні передачі, передатне відношення, динаміка механізму, опорні вузли, сателіт, водило.

### Вступ

Використання планетарних передач в підйомно-транспортних машинах дозволить зменшити габарити і вагу механізму підйому вантажу (лебідки). Планетарні механізми дозволяють виконувати співвісні схеми двигуна з барабаном, а сам планетарний редуктор часто вмонтовують в порожнину барабана. Використання окремих схем планетарних передач дозволяє регулювати передатне відношення, тобто за допомогою планетарного редуктора можна регулювати швидкість підйому та спуску вантажу, що важливо при виконанні монтажних робіт з важкими і габаритними конструкціями.

### 1. Теоретичний розгляд процесів

Розглянемо докладніше деякі схеми планетарних передач та їх спроможність забезпечити відповідне передатне відношення.

Вибір планетарної передачі починають із схеми, оскільки одне й теж передатне відношення можливо забезпечити різними схемами планетарних

механізмів, які відрізняються коефіцієнтами корисної дії (ККД), габаритами та вагою.

Поширені схеми простих планетарних механізмів типу  $\overline{AI}$  та  $AI$  ( $A$  - зовнішнє зачеплення,  $I$  - внутрішнє) (рис.1), які використовують як силові редуктори з високим ККД при ведучому колесі  $z_1$ .

Присутність декількох сателітів дозволяє зменшити габарити і поліпшити динаміку механізму – зрівноважити механізм, розгрузити опірні вузли центральних коліс і водила, зменшити вагу.

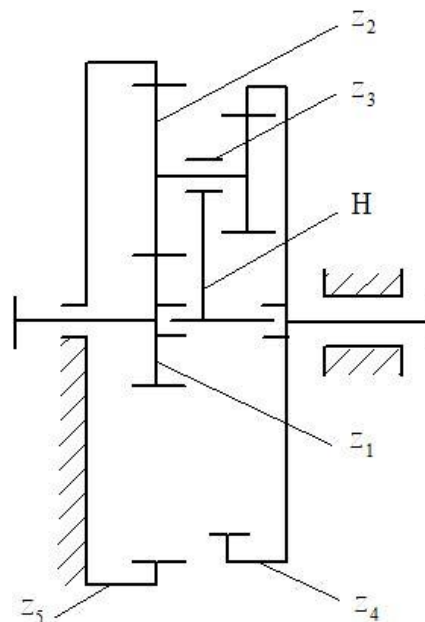
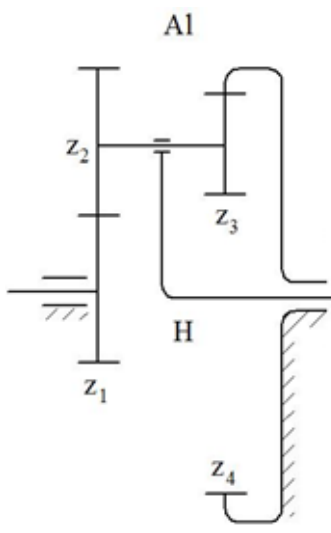
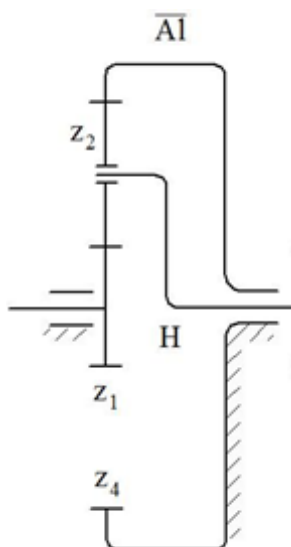


Рис. 1. Схема передачі  $AI$  і  $\overline{AI}$

Рис. 2. Схема передачі  $\overline{AII}$

Для кожної схеми простого планетарного механізму існують раціональні значення передатних відношень  $i_{1H}^4 = \frac{\omega_1}{\omega_4} = 1 - i_{14}^H$ ;

які залежать від числа сателітів ( $\kappa$ ) і параметра  $x\lambda = \frac{z_2 m_{12}}{z_1 m_{34}}$ . Так для схеми  $AI$

при  $\kappa = 3$   $i_{1H}^4 = 1 + \frac{z_2}{z_1} \frac{z_4}{z_3} \leq 16$ , а для схеми  $\overline{AI}$ , у якої  $x\lambda = 1$   $i_{1H}^4 = 1 + \frac{z_4}{z_1} \leq 8$ .

Для одержання підвищених значень передатних відношень використовують послідовно з'єднані планетарні механізми  $\overline{AI}$ . Наприклад, послідовно з'єднані три передачі  $\overline{AI}$ , тобто  $\overline{AI} + \overline{AI} + \overline{AI}$ , забезпечать

$$i_{iH_3}^4 = i_{iH_1}^4 \cdot i_{i'H_2}^4 \cdot i_{i''H_3}^4 = \left(1 + \frac{z_4}{z_1}\right) \left(1 + \frac{z'_4}{z'_1}\right) \left(1 + \frac{z''_4}{z''_1}\right) \leq 512. \quad (1)$$

Підвищені передатні відношення має планетарний механізм з трьома центральними колесами (схема  $\overline{AII}$ ) (рис. 2).

В цій схемі водило вільно обертається в своїх опорах і не передає рух на вихідний вал. При кінематичному дослідженні такий механізм розкладають на два простих: перший складається з центральних коліс  $z_1$  і  $z_5$ , сателіта  $z_2$  і водила  $H$  (схема  $\overline{AI}$ ), а другий включає центральне колесо  $z_4$ , сателіт  $z_3$  і водило  $H$ . При нерухомому колесі  $z_5$  передатне відношення такого редуктора має вираз

$$i_{14}^5 = \frac{\omega_1}{\omega_4} = i_{1H}^5 \cdot i_{H4}^5 = \left( 1 + \frac{z_5}{z_1} \right) \left( \frac{1}{1 - \frac{z_3 z_5}{z_4 z_2}} \right). \quad (2)$$

Такий механізм при відповідному виборі чисел зубців забезпечує значні передатні відношення [2]  $12 < i_{14}^5 < 200$  і має високий ККД і малі габарити.

З метою збільшити передатне відношення використовують замкнені планетарні механізми.

Замкнені планетарні механізми дозволяють зменшити вагу і габарити механізму за рахунок розподілу потужності, яка передається на два паралельні струми і збільшити крутний момент на вихідному валу редуктора, при цьому вони мають більш високий ККД. На рисунку 3 показана одна із схем замкнутого планетарного механізму, який має підвищене передатне відношення

$$i_{16} = \frac{\omega_1}{\omega_6} = i_{16}^A + i_{16}^H = \left( 1 + \frac{z_3}{z_1} \right) + \frac{z_3 z_6}{z_1 z_4}. \quad (3)$$

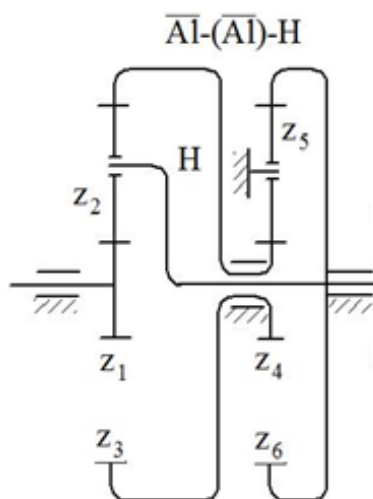


Рис. 3. Схема передачі  $\overline{AI} - (\overline{AI}) - H$

Така схема дозволяє збільшити передатне відношення  $i_{16}$  до 90.

На практиці можна використовувати також триступеневу планетарну передачу, яка має вигляд окремого блоку, змонтованого в порожнечу барабана (рис. 4).

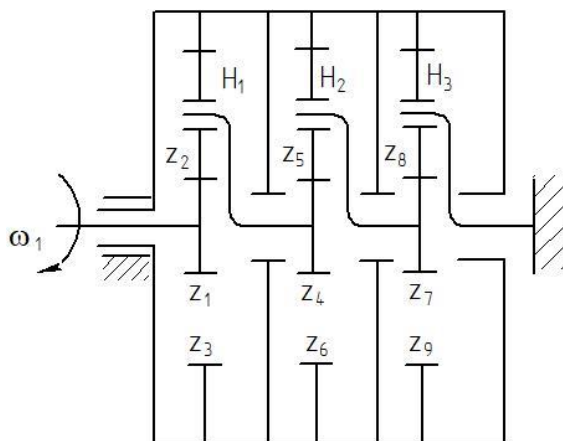


Рис. 4. Схема передачі  $\overline{AI} + \overline{AI} + \overline{AI}$ , вмонтованої в барабан

Для такої схеми  $i_{19} = \frac{\omega_1}{\omega_9} = i_{13}^{H_1} (1 - i_{49}) + i_{49}$ , де  $i_{49} = i_{46}^{H_2} (1 - i_{79}) + i_{79}$

або

$$i_{49} = -\frac{z_6}{z_4} \left( 1 + \frac{z_9}{z_7} \right) - \frac{z_9}{z_7}. \quad (4)$$

На практиці приймають  $z_1 = z_4 = z_7$  і  $z_3 = z_6 = z_9$ . Тоді  $i_{13}^{H_1} = i_{46}^{H_2} = i_{79}^{H_3}$ .

Для такої схеми передатне відношення можна одержати  $i_{19} \sim 300$  і більше.

Поряд з простими та замкненими планетарними передачами можна використовувати і інші схеми планетарних передач. Розглянемо окрему групу передач, які мають планетарні механізми з вільними ланками. Ці механізми (рис. 5) мають додаткові центральні зубчасті колеса  $z_5$  і  $z_4$ , які входять в зачеплення з сателітами  $z_2$  та  $z_3$ .

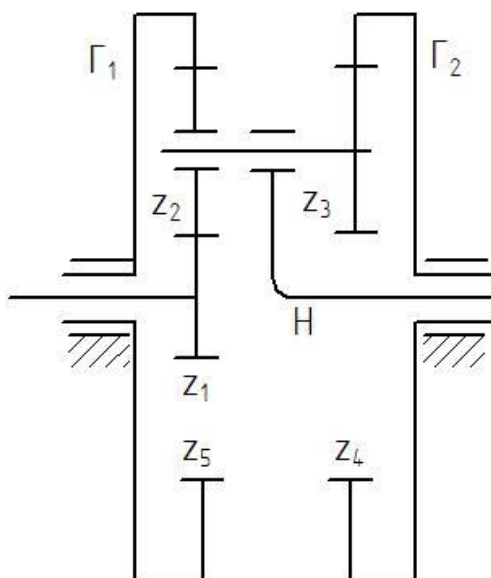


Рис. 5. Схема передачі з вільними ланками

Використання додаткових зубчастих коліс  $z_5$  і  $z_4$  дозволяє одержати ступеневе регулювання кутової швидкості на вихідному валу редуктора. Наприклад, якщо загальмувати колесо  $z_5$  за допомогою гальм  $\Gamma_1$ , то одержимо

передачу  $\overline{AI}$ , у якій  $i_{1H}^5 = 1 - i_{15}^H = 1 + \frac{z_5}{z_1}$ ,  $i_{1H}^5 \leq 8$ .

В другому варіанті, якщо загальмувати колесо  $z_4$  – гальмом  $\Gamma_2$ , тоді одержимо планетарну передачу  $AI$ , у якій передатне відношення має вигляд:

$$i_{1H}^4 = 1 - i_{14}^H = 1 + \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3}, i_{1H}^4 \leq 16. \quad (5)$$

### Висновки

Розрахунок передатних відношень лежить в основі побудови складних планетарних передач і є необхідним для вдосконалення існуючих і створення нових схем планетарних редукторів для механізмів підйому вантажу, а також механізмів пересування кранів підйомно-транспортного обладнання.

Результати аналізу наведених даних дозволяють порівняти і виявити переваги та недоліки різних схем планетарних передач та визначити напрямки і вдосконалення існуючих схем таких механізмів.

### Список літератури

1. Ткаченко, В. А. *Планетарные механизмы, оптимальное проектирование* : учеб. пособ. / В. А. Ткаченко. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. М. Е. Жуковского «ХАИ», 2003. – 446 с.
2. Кудрявцев, В. Н. *Планетарные передачи* : / В. Н. Кудрявцев, Ю. Н. Кирдашов; под ред. В. Н. Кудрявцева. – Л.: Машиностроение, 1977. – 535 с.
3. Сілевич, В. Ю. *Порівняння передавальних відношень планетарних систем Сімпсона і Равіньо* / Сілевич В. Ю., Усік В. В. // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «ІСТМ-2019». : тези доп. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіа. ін-т». – Харків, 2019. – том 2. – с. 143–146.

### References

1. Tkachenko, V. A. *Planetary mechanisms, optimal design: textbook*. allowance / V. A. Tkachenko. – Kharkov: Nat. aerospace un-t im. M. E. Zhukovsky "KhAI", 2003. – 446 p.
2. Kudryavtsev, V. N. *Planetary gears*: / V. N. Kudryavtsev, Yu. N. Kirdashov; ed. V. N. Kudryavtseva. – L.: Mashinostroenie, 1977. – 535 p.
3. Silevich, V. Yu. *Transmission ratios of the Simpson and Ravino planetary systems* / Silevich V. Yu., Usik V. V. // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "ISTM-2019". : theses add. / National aerospace university name by M. Y. Zhukovsky "Kharkiv. avia. in-t". – Kharkiv, 2019. – volume 2. – p. 143–146.

Надійшла до редакції 14.04.2023, розглянута на редколегії 14.04.2023

## **Study of transmission ratios of planetary gears lifting and transport machines**

Lifting and transporting machines (PTM) are one of the important equipment for the mechanization of work in various spheres of the national economy. In addition to the multi-rescue system, the cargo lifting mechanism also includes a winch. Winches with one drum, which have standard parameters - traction force from 3.2 to 125 kN at rope speed from 0.5 to 0.1 m/s, are most often used in PTM. Such winches include a two-stage gear reducer that connects the electric motor with the drum. Such a winch drive scheme is quite large and has considerable weight. One of the areas that will help reduce these indicators is the use of planetary gearboxes. They allow the use of winches in which the electric motor and gearbox are coaxial, and the planetary gearbox itself can be mounted in the drum. Such a drive scheme of the load lifting mechanism allows to reduce the dimensions and weight of the winch. The paper considers the calculation and compares the transmission ratios of planetary gears, which are used and can be used in lifting and transporting machines to reduce the dimensions and weight of cargo lifting mechanisms. Schemes of simple and closed planetary gears, as well as a scheme with three central gears, are given. The scheme of the planetary transmission with free gear wheels is considered. The presence of internal gears and several satellites makes planetary gears compact and light in weight. All transmission with two internal gears and a free carrier allows to obtain significant transmission ratios with a small number of gears. Schemes of planetary gears with free gears allow you to change the angular speed of the output shaft.

**Key words:** planetary gears, transmission ratio, mechanism dynamics, supporting nodes, satellite, carrier.

### **Відомості про автора:**

**Усік Віктор Васильович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» м. Харків, Україна; v.usik@khai.edu; ORCID: 0000-0003-0452-3266

**Косенко Оксана Валеріївна** – асистентка кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» м. Харків, Україна; o.kosenko@khai.edu; ORCID: 0009-0007-6264-5778

### **About the Author:**

**Usyk Viktor Vasylyovych** – Doctor of Philosophy, Assistant-Professor, Head of Department of Theoretical Mechanics, Engineering and Robomechanical Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine; v.usik@khai.edu; ORCID: 0000-0003-0452-3266

**Kosenko Oksana Valeriivna** – assistant of Department of Theoretical Mechanics, Engineering and Robomechanical Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine; o.kosenko@khai.edu; ORCID: 0009-0007-6264-5778