

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПЛАНЕТАРНИХ І ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

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

Планетарні та диференціальні зубчасті механізми широко використовуються в машино та літакобудуванні, автомобільній техніці, в механізмах приладів та інших транспортних засобах. Вони мають високу надійність та забезпечують високу точність передатного відношення.

Вибір планетарних і диференціальних механізмів починають із схеми механізму, оскільки одне й те передатне відношення можна забезпечити різними схемами механізмів, які відрізняються коефіцієнтом корисної дії (ККД), габаритами і 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  $z_1$ .

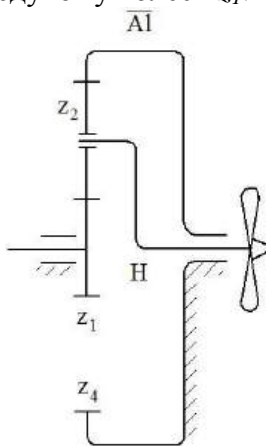


Рис. 1

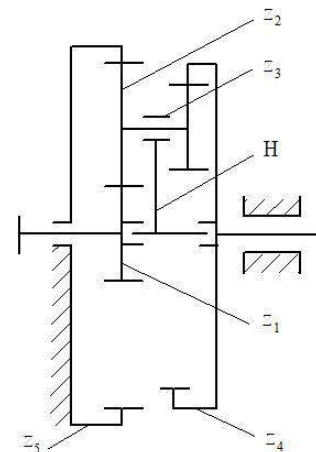
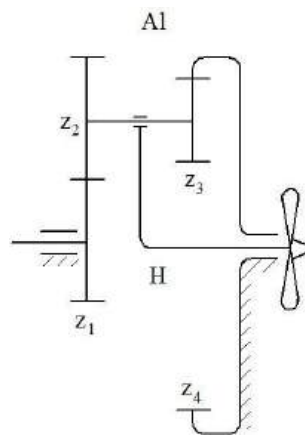


Рис. 2

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

Для кожної схеми планетарного механізму існують можливі значення передатних відношень  $i_{IH}^A = \frac{\omega_I}{\omega_4} = 1 - i_{I4}^H$ , яке залежить від числа сателітів ( $\kappa$ ) і параметра  $x\lambda = \frac{z_2 m_{12}}{z_1 m_{34}}$

Так для схеми  $AI$  -  $1,6 < i_{IH}^A < 22$  при  $\kappa=3$ , для схеми  $\overline{AI}$ , у якій  $x\lambda = 1$   $2,1 < i_{IH}^A < 13,7$ .

Підвищені передатні відношення має планетарний механізм з трьома центральними колесами (схема  $AIII$ ) (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  $H$  (схема 1). При нерухомому колесі  $z_5$  передатне відношення такого редуктора має вираз

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

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 послідовно з'єднані прості планетарні, або 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 замкненого планетарного механізму, який має

підвищене передатне відношення  $i_{17} = \frac{\omega_1}{\omega_7} = i_{17}^A + i_{17}^H = \left(1 + \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3}\right) + \frac{z_2 z_4 z_7}{z_1 z_3 z_5}$ .

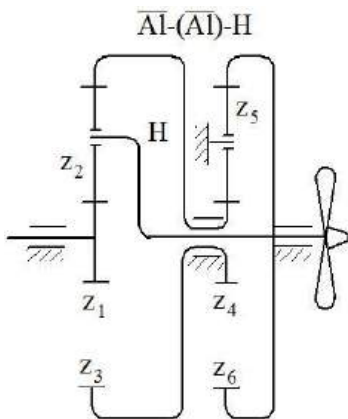


Рис. 3

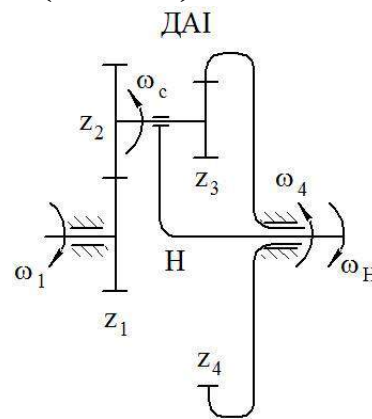


Рис. 4

Така схема дозволяє збільшити передатне відношення  $i_{17}$  до 270.

Складовою замкнених планетарних механізмів являються прості диференціальні механізми, які набули широкого застосування в різних галузях машинобудування.

Вони дозволяють складати обертові рухи паралельно працюючих валів, або передавати обертовий рух від одного джерела енергії (ведучого вала) до двох вихідних валів, при цьому забезпечують безступеневе регулювання як рух окремих валів, так і регулювання потужностей і крутних моментів цих валів, наприклад, задніх мостів вантажних автомобілів і автобусів.

Зв'язок між абсолютними кутовими швидкостями зубчастих коліс і водила в диференціальних простих механізмах, які мають три центральні ланки (рис.4) впливає з формули Вілліса

$$\omega_1 = \omega_4 i_{14}^H + \omega_H (1 - i_{14}^H). \quad (1)$$

Це рівняння показує, як розподіляються кутові швидкості між ведучим валом і двома вихідними.

В авіації має місце випадок, коли диференціальний механізм використовують як редуктор для обертання в різних напрямках двох співвісних гвинтів (рис.4).

В цьому випадку ведучим є колесо  $z_1$ , а кутові швидкості  $\omega_4 = -\omega_H$ . Тоді рівняння

$$(1) \text{ має вираз } i_{1H} = \frac{\omega_1}{\omega_H} = 1 - 2i_{1H}^4 = 1 + 2 \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3}.$$

В цьому випадку передатне відношення диференційного механізму приблизно в два рази більше подібної схеми планетарного механізму.

Щоб забезпечити рівність кутових швидкостей  $\omega_4 = -\omega_H$  до колеса  $z_4$ , з яким зв'язаний задній гвинт, необхідно підводити крутний момент  $T_4$ , а до водила  $H$ , на виході якого розташований передній гвинт - крутний момент  $T_H$ .

Ці крутні моменти є різними  $T_4 < T_H$ . На практиці, щоб забезпечити нерівність крутних моментів встановлюють лопасті переднього і заднього гвинтів під різними кутами, або гвинти з різною кількістю лопастей.

Інший шлях забезпечити рівності  $\omega_4 = -\omega_H$  - це використання замкнених диференціальних механізмів (рис.5), побудованих аналогічно замкненим планетарним механізмам, тобто в простий диференціальний механізм вводиться додатковий замикальний зубчатий механізм, який складається з коліс  $z_5 - z_6$  і  $z_7 - z_8$  з'єднує кінематично водило  $H$  і зубчате колесо  $z_4$ .

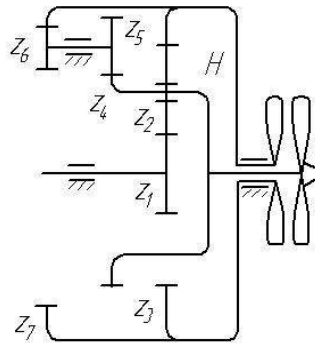


Рис. 5.

Передатне відношення замикального механізму має дорівнювати одиниці (за модулем).

$$i_{зам} = i_{45} i_{67} = -\frac{z_5 z_7}{z_4 z_6}.$$

У схемах замкнених диференціальних редукторів забезпечується рівність кутових швидкостей, а також необхідних крутних моментів  $T_4$  і  $T_H$ .

## Висновки

Результати аналізу наведених даних дозволяють порівняти і виявити переваги і недоліки різних схем планетарних і диференціальних механізмів та визначити напрямок вдосконалення існуючих схем цих механізмів.

## Список використаних джерел

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. Кудрявцева, В. Н. Планетарные передачи: / В. Н.Кудрявцева, Ю. Н. Кирдашова; 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. аэрокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіа. ін-т». – Харків, 2019. – том 2. – с. 143-146.