

О. П. Терещенко  
Л. А. Олексієва

## МЕХАНІЧНА ПЕРЕДАЧА ДЛЯ БЕЗМАРШОВОГО РУЛІННЯ ВІЙСЬКОВО-ТРАНСПОРТНИХ ЛІТАКІВ

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

### Анотація

*Проведено аналіз та дослідження доцільності використання безмаршового руління військово-транспортних літаків і рекомендовано схему редуктора з метою отримання найбільш оптимальних значень передаточного відношення та компактності конструкції.*

*Отримані рекомендації з проєктування конкретних механічних передач для майбутнього редуктора.*

**Ключові слова:** безмаршове руління, редуктор, планетарна передача, циліндрична зубчаста передача, передаточне відношення, кількість зубців колеса.

### Abstract

*An analysis and study of the feasibility of using zero-speed taxiing for military transport aircraft was conducted and a gearbox scheme was recommended in order to obtain the most optimal values of the gear ratio and compactness of the structure.*

*Recommendations were received for the design of specific mechanical gears for the future gearbox.*

**Keywords:** taxiing without engines, gearbox, planetary gear, cylindrical gear, gear ratio, number of wheel teeth.

### Вступ

Безмаршове руління [1] (також відоме як “електричне руління”) – це переміщення літака по аеродрому без використання тяги основних (маршових) двигунів.

Замість спалювання авіаційного палива у газотурбінних двигунах для повільного пересування по аеродрому, літак використовує інші джерела енергії.

Існує два основні способи реалізації безмаршового руління:

1. Електродвигуни в шасі: у маточини коліс основних стійок шасі вбудовуються потужні електромотори. Вони отримують живлення від ДСУ (допоміжної силової установки) або від акумуляторів.

2. Спеціальні тягачі (буксири): використання буксирів, які підхоплюють передню стійку шасі та переміщують літак до ЗПС (злітно-посадкової смуги).

Переваги безмаршового руління:

- економія палива: маршові двигуни вкрай неефективні на малих обертах. Безмаршове руління дозволяє економити близько 4% загального обсягу палива за один літаковиліт;
- зменшення зносу: двигуни не засмоктують сторонні предмети, що є актуальним для низькопланів;
- екологічний аспект: зниження шкідливих викидів та рівня шуму в зоні аеропорту;
- автономність: можливість руління літака від гейту та зворотно без допомоги тягача.

Маршові двигуни створюють тепловий слід, помітний для засобів спостереження. Безмаршове пересування робить літак “холоднішим”, отже непомітнішим.

В основу поставлено завдання створити редуктор електроприводу.

### Результати досліджень

Система безмаршового руління військово-транспортного літака [1] містить пульт оператора, блок управління електричними двигунами електроприводу (ЕДЕП), електродвигуни електроприводу,

редуктор електроприводу, конвертор-випрямлювач реверсивного типу, акумуляторну батарею, електричні дроти.

На кресленні (рис.1) наведена схема запропанованого редуктора

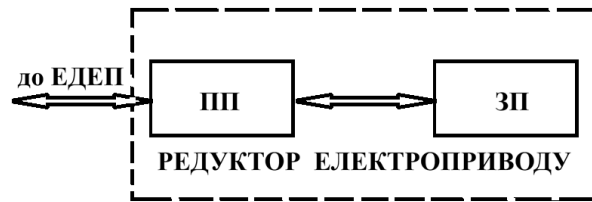


Рис. 1. Принципова схема редуктора

Поставлену задачу пропонується вирішувати за рахунок того, що редуктор електроприводу буде мати дві ступені: планетарну передачу (ПП) та просту одноступінчасту циліндричну зубчасту передачу (ЗП) зовнішнього зачеплення.

Планетарна передача забезпечує зниження швидкостей обертання і відповідно збільшення крутного моменту дуже компактним чином. Завдяки вимоги малого простору в приводному вузлі може бути здійснена передача руху через планетарну передачу. Разом з циліндричною прямозубою зубчастою передачею можуть бути дуже компактно здійснені знижуючі ступені (рис. 2). Понижуюча ступень на виході приводного вузла забезпечує зручне виконання одночасного зачеплення двох коліс приводного вузла.

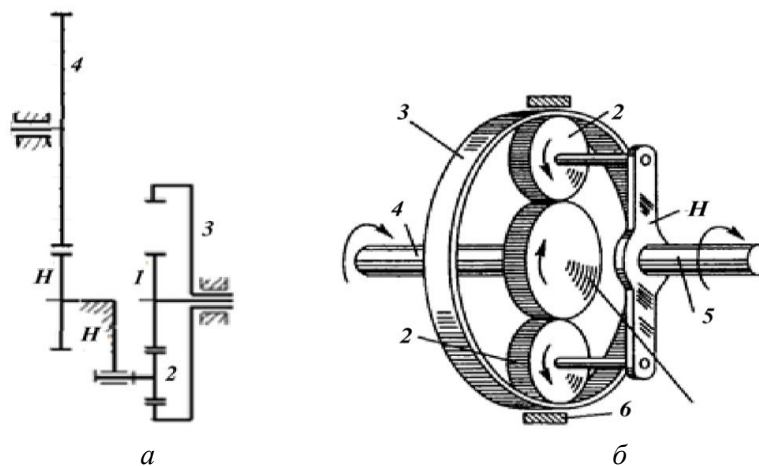


Рис. 2. Складна зубчаста передача:  
а – кінематична схема редуктора; б – планетарна передача

На рис. 2, а зображена кінематична схема редуктора. 1, 2, 3, Н – планетарна передача. На рис. 2, б позначені: 2 – сателіти; 3 – нерухоме колесо; 4 – вал сонячної шестірні 1; 5 – вал водила; 6 – гальмо; Н – водило.

При рівномірному розташуванні сателітів по колу їх сили інерції взаємно зрівноважуються.

В даному випадку передаточне відношення цієї складної зубчастої передачі дорівнює [2]:

$$u_{14} = u_{1H} \cdot u_{H4}. \quad (1)$$

Рух в планетарній передачі передається з ведучого зубчастого колеса 1 на водило Н (рис. 2, б). Передаточне відношення планетарної передачі, тобто передачі з рухомими осями у просторі можна визначити різними методами. Один з найпростіших методів – це метод інверсії (метод обернення руху), який полягає в тому, що водило Н умовно зупиняють. Тобто умовно надають всім ланкам механізму додаткову кутову швидкість “ $-\omega_H$ ”. Абсолютна кутова швидкість кожної ланки зміниться, а відносна залишається такою ж самою. Водило умовно зупинено та виконує роль нерухомої ланки, а колесо 3 тепер рухоме. Передача перетворилась з планетарної в звичайну, в даному випадку в

рядову зубчасту передачу, що складається з трьох коліс, які насаджені на окремий вал. При цьому пара коліс 1–2 утворює зовнішнє зачеплення, а пара – 2–3 – внутрішнє.

Для цього механізму можна записати передаточне відношення  $u_{13}^H$  при зупиненому водилі (оберненні руху) для відомих кількостей зубців коліс, які підбирали з урахуванням необхідної зміни кутової швидкості на виході редуктора [3].

$$u_{13}^H = z_3/z_1(-1)^p = 60/20(-1)^1 = -3. \quad (2)$$

Запишемо вираз для планетарних зубчастих передач, якою є передача, що наведена на рис. 2, б оскільки  $\omega_3=0$ .

$$u_{1H} = 1 - u_{13}^H = 1 - (-3) = 4. \quad (3)$$

З урахуванням (1) та (3) маємо

$$u_{H4} = u_{14}/u_{1H} = 12,7/4 = 3,18.$$

Це значення дає можливість отримання необхідного крутного моменту на виході з редуктора.

### Висновки

Досліджено вплив окремих факторів на покращення процесу переміщення військово-транспортного літака по аеродрому без використання тяги основних (маршових) двигунів.

Проведені дослідження дали можливість отримати рекомендації з конструктивної необхідності використання зубчастого редуктора для покращення процесу руління. Технічний результат полягає, перш за все, в економії палива, зменшенні зносу двигуна, покращенні екології та автономності літака.

Запровадження інноваційних розробок у повітряному транспорті є темою в наукових дослідженнях. Втілення рекомендованих пропозицій допоможе вирішувати задачі технічної, економічної та фінансової ефективності руління військово-транспортних літаків.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент на корисну модель. Свідоцтво №144396. Система безмаршового руління пасажирських літаків з асинхронними колекторними двигунами рекуперативного типу. / В. Ю. Лісовол, Л. А. Олексієва, Ю. В. Севостьянов, Д. О. Шамрай, В. В. Микитюк, А. П. Корнієнко, Р. М. Джус, Є. В. Спіркін, С. О. Шевченко, Є. Ю. Іленко, О. А. Ківшар, Б. М. Іващук, В. А. Хлоп'ячий// Х.: ХНУПС, 2020. – 7 с.

2. Олексієва Л.А. Теорія механізмів та машин /Л. А. Олексієва// – Х.: 2016. – 226 с.

3. Нечипоренко С. М. Дослідження складних зубчастих механізмів. /С. М. Нечипоренко, Л. А. Олексієва//– Х.: ХУПС, 2006. – 58 с.

**Терещенко Олексій Павлович**, старший викладач кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, e-mail: [alex.tereshenko030576@gmail.com](mailto:alex.tereshenko030576@gmail.com), ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5790-740X>, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

**Олексієва Людмила Андріївна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, e-mail: [Lyudmyla682@gmail.com](mailto:Lyudmyla682@gmail.com), ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5830-2720>, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

**Oleksii Tereshchenko**, Master, Senior Lecturer of the Department of Structure and Strength of Aircraft and Engines, e-mail: [alex.tereshenko030576@gmail.com](mailto:alex.tereshenko030576@gmail.com), ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5790-740X>, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv

**Lyudmyla Oleksiyeва**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Structure and Strength of Aircraft and Engines, e-mail: [Lyudmyla682@gmail.com](mailto:Lyudmyla682@gmail.com), ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5830-2720>, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv