УДК 629.017

І. С. Вітрук, А. П. Гурін, І. В. Петров

ПІДВИЩЕННЯ МАНЕВРЕНОСТІ МОДУЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НАЗЕМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ АВІАЦІЇ

Анотація. *Доповідь присвячена розробці схеми, що забезпечує підвищення маневреності модульної техніки наземного забезпечення польотів авіації. Розглянуто схему енерготехнологічного агрегату з поворотним переднім мостом та поворотними платформами, розташованими на енергетичному модулі та напівпричепі (технологічному модулі). Отримані в результаті теоретичного дослідження зв'язки між кутами повороту поворотних мостів та поворотних платформ дозволяють у майбутньому синтезувати алгоритми ідеального керування поворотом модульних енергетичних агрегатів для наземного забезпечення польотів авіації.*

Ключові слова: *підвищення маневреності, використання поворотних мостів та платформ, енергетичний модуль, електричний привід ведучих коліс, спосіб керування поворотом модульних енергетичних агрегатів, техніка наземного забезпечення польотів авіації.*

Abstract. *The presentation focuses on the development of a configuration designed to enhance the maneuverability of modular ground support equipment for aviation. It examines the design of an energy-technological unit featuring a steerable front axle, as well as steerable platforms located on both the power module and the semi-trailer (technological module). The relationships derived from this theoretical study—linking the steering angles of the axles and the platforms—will facilitate the future synthesis of algorithms for optimal steering control of modular ground support units used in aviation operations.*

Keywords: *enhanced maneuverability, use of steerable axles and platforms, power module, electric drive for drive wheels, steering control method for modular power units, ground support equipment for aviation operations.*

Вступ

Модульний принцип побудови, а також наявність електричного приводу ведучих коліс сприяє підвищенню енергоефективності використання техніки наземного забезпечення польотів авіації. Окрім скорочення витрат енергії на рух машинного агрегату це дає можливість покращити показники маневреності при використанні поворотних візків та мостів. Останнє можливо при встановленні на ведучих колесах електромоторів. Роздільне керування окремими колесами дозволяє покращити показники керованості, стійкості руху, поворотності та вписуваності машинних агрегатів за рахунок підвищення кінематичної точності руху на повороті, використання руху "крабом" та створення додаткових моментів, що долають опір повороту [1].

Маневреність є складною експлуатаційною властивістю, що включає до себе декілька більш простих властивостей: керованість, поворотність, вписуваність. В роботі [2] поширено поняття маневреності та рух автомобіля "крабом", здійснення повороту кінематичним, силовим (динамічним) та комбінованим способами. Взагалі поняття маневру мобільної машини розглядається як рух зі зміною вектору швидкості.

В роботі [3] розглянуто схему повороту енерготехнологічного агрегату з двома двовісними модулями, що мають поворотні мости. Розрахунки поданої схеми дозволяють побудувати алгоритм керування рухом на повороті енерготехнологічного агрегату з двовісними енергетичним і технологічним модулями при використанні поворотних мостів. При використанні в алгоритмі керування поворотом мостів залежностей забезпечується висока кінематична точність руху, зменшується опір руху та зношування шин. Однак подана схема має недолік. Вона не забезпечує можливості руху енерготехнологічного агрегату "боком", хоча в умовах обмеженого простору поряд з літаком така необхідність може виникнути.

Метою роботи є підвищення маневреності модульної техніки забезпечення польотів авіації шляхом використання поворотних мостів та поворотних платформ.

Результати дослідження

Більш раціональною за схему повороту енерготехнологічного агрегату з двома двовісними модулями, що мають поворотні мости [3], є схема енерготехнологічного агрегату з поворотним переднім мостом та поворотними платформами, розташованими на енергетичному модулі та напівпричепі (технологічному модулі) (рис. 1).

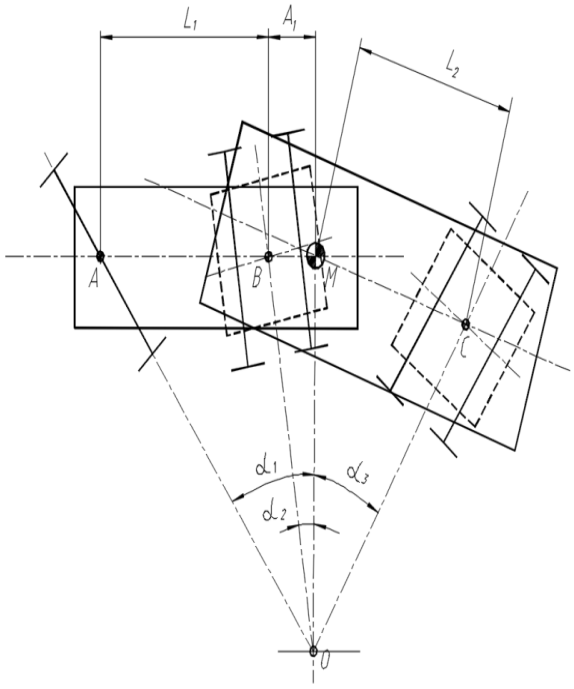


Рис. 1. Схема повороту енерготехнологічного агрегату з переднім поворотним мостом, поворотною платформою енергетичного модуля та поворотною платформою напівпричепа (технологічного модуля)

В якості напрямної точки приймемо точку M – центр шарніру, що з'єднує ланки агрегату. Відстань напрямної точки M до центру повороту O є радіусом повороту машини R.

a_1, a_2, a_3 – кути повороту 1-го, 2-го та 3-го мостів (відповідно).

L_1 – поздовжня база енергетичного модуля.

L_2 – поздовжня база технологічного модуля.

При кутах повороту мостів $a_1 = 90°$, $a_2 = 90°$ та $a_3 = 90°$ енерготехнологічний агрегат має можливість рухатися "боком".

За умови:

$$R = \left(A_1 + L_1\right) ctga_1 = A_1 ctga_2, \tag{1}$$

отримаємо

$$a_2 = arctg \begin{ж} з \\ з \\ з \\ и \end{ж} \frac{tga_1}{1 + \frac{L_1}{A_1}} \begin{ц} ч \\ ч \\ ч. \\ ч \\ ш \end{ц} \tag{2}$$

У виразі (1) радіус повороту, як і у попередньому випадку дорівнює відрізку OM на рис. 1. Визначимо з урахуванням (1):

$$L_2 = 2R \sin\frac{a_3}{2} = 2\left(A_1 + L_1\right) ctga_1 \sin\frac{a_3}{2}; \tag{3}$$

$$a_3 = 2 \arcsin \begin{ж} з \\ з \\ и \end{ж} \frac{L_2 tga_1}{2\left(A_1 + L_1\right)} \begin{ц} ч \\ ч. \\ ш \end{ц} \tag{4}$$

Вирази (2) та (4) дозволяють створити алгоритм керування поворотом переднього поворотного мосту та поворотних платформ енергетичного та технологічного модулів. У разі збігу точок B та M (збігаються осі повороту задньої платформи енергетичного модуля та шарніру, що з'єднує обидві ланки агрегату) $A_1 = 0$ величина $a_2 = 0°$, а величина a_3 буде дорівнювати

$$a_3 = 2\arcsin\left(\frac{L_2 \operatorname{tg} a_1}{2L_1}\right). \quad (5)$$

При русі "боком" залежності (2), (4) використовувати не можна, оскільки вони описують рух по колу. При русі "боком" має місце поступальний прямолінійний рух агрегату.

Висновки

Доповідь присвячена підвищенню маневреності модульної техніки забезпечення польотів авіації шляхом використання поворотних мостів та поворотних платформ. Отримані в результаті теоретичного дослідження зв'язки між кутами повороту поворотних мостів та поворотних платформ дозволяють у майбутньому синтезувати алгоритми ідеального керування поворотом модульних енергетичних агрегатів для наземного забезпечення польотів авіації.

Список використаних джерел:

1. Кубіч В. І. Конструкції рульового керування автомобілів: навч. посібник. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2023. 227 с.
2. Бобошко А. О. Наукові основи підвищення показників маневреності автомобілів : дис. … докт. техн. наук : 05.22.02. Харків : ХНАДУ, 2019. 332 с.
3. Подригало М., Абрамов Д., Солдатенко І., Вітрук І. Підвищення маневреності модульної техніки наземного забезпечення польотів авіації. *Системи озброєння і військова техніка*. 2025. № 3 (83). С. 7–14. https://doi.org/10.30748/zhups.2025.85.01.

Вітрук Ігор Степанович – аспірант Харківського національного автомобільно-дорожного університету, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, буд. 25, інд. 61002, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua ORCID https://orcid.org/0009-0000-0970-5937.

Гурін Артем Петрович – доктор філософії, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: tema0504@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-8536-4924.

Петров Ігор Валерійович - старший викладач кафедри фізики та радіоелектроніки Харківського національного університету Повітряних Сил **імені Івана** Кожедуба, **м.** Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: pet_ingvar@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0003-2158-0027.

Ihor Stepanovych Vitruk – Postgraduate, Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv, Yaroslava Mudryho St., Building 25, Ind. 61002, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua ORCID https://orcid.org/0009-0000-0970-5937.

Artem Petrovych Hurin – PhD, Leading Research Fellow, Research Department, Air Force Research Center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: tema0504@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0002-8536-4924.

Ihor Valeriiovych Petrov - Senior Lecturer at the Department of Physics and Radioelectronics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: **pet_ingvar@ukr.net ORCID https://orcid.org/0000-0003-2158-0027.**