

# Механіка, машинознавство та електропостачання

УДК 629.3.07

В.В. Кав'юк

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КЕРУВАННЯ ПОВОРОТОМ АЕРОДРОМНИХ ДВОЛАНКОВИХ МОДУЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ ПОДАЧІ НАЗАД ОДНОВІСНОГО ПРИЧЕПА

Розглядається створена вперше у світі інноваційна технологія керування поворотом аеродромних дволанкових модульних машин для подачі назад одновісного причепа. Технологія дозволяє за допомогою існуючого рульового механізму тягача керувати одразу двома модулями – тягачем і одновісним причепом з неповоротними колесами. Забезпечується керованість та стійкість руху у повороті.

**Ключові слова:** засоби аеродромно - технічного забезпечення польотів (ЗАТЗП) повітряних суден (ПС), двохланкові модульні машини, керування поворотом, інноваційна технологія, патент на винахід.

### Вступ

**Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень та публікацій, мета даної роботи.** Використання модульних схем колісних машин дозволяє вирішувати сучасні питання і проблеми, пов'язані з удосконаленням існуючих ЗАТЗП та перспективами їх розвитку та створення. Найбільш ефективною схемою є модульна з використанням одновісних причепів (рис. 1).



Рис. 1. Двохланкова модульна схема з використанням одновісного причепа

Одновісні причепа, які можуть бути з декількома наближеними вісями, мають суттєві переваги по зрівнянню з двовісними причепами або напівпричепами. Єдиним недоліком одновісних причепів є невирішеність досі в усьому світі проблемної задачі – керування поворотом для подачі назад. Рух причепа у цьому випадку стає нестійким і не керованим – він відхиляється праворуч або ліворуч від необхідного напрямку руху, а технології керування ним немає.

Для усіх колісних машин єдиною технологією повороту є технологія Аккермана (за допомогою рульової трапеції), яка запатентована 200 років тому. Однак ця технологія не дозволяє керувати пово-

ротом двохланкової модульної машини для подачі назад одновісного причепа з неповоротними колесами, який шарнірно приєднаний до тягача позаду.

Відсутність такої технології не дозволяє таким машинам під'їзд до літака заднім ходом із умов безпеки і безаварійності. Тому при навчанні водіїв такий рух відпрацьовується [1; 2] (рис. 2), але на практиці заборонено.

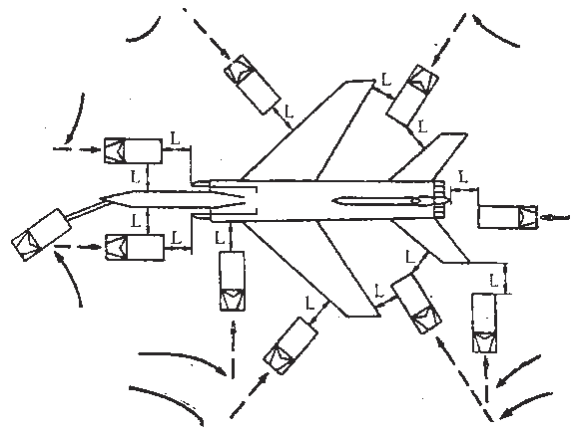


Рис. 2. Під'їзд машин до літака

**Аналіз літератури.** У літературі наведено загальні теоретичні основи, підхід до вирішення цієї проблемної задачі та деякі початкові рішення [3–8]: у [3] – наведена умова стійкості руху неголономної системи ланок автопоїзда; у [4] – наведені загальні теоретичні положення математичного моделювання маневрування неголономних систем колісного типу; у [5–6] – отримано загальні рішення щодо можливості створення новітніх технологій, однак жодної технології у остаточному вигляді не створено; у

[8] – створена інноваційна технологія керування поворотом при розташуванні одновісного причепа попереду тягача, однак вона відрізняється і не може бути застосована щодо випадку подачі причепа назад для розглядаємої модульної машини; у [9] – наведені три інноваційні технології керування поворотом і маневруванням трьох схем модульних машин за винятком розглядаємої схеми.

**Мета даної статті** – рішення проблемної задачі створення інноваційної технології керування поворотом аеродромних дволанкових модульних машин для подачі назад одновісного причепа.

### Основна частина

Згідно з [4] розглядаєма модульна машина являє собою неголономну систему колісного типу, яка складається з двох ланок (рис. 3): одновісного причепа 1 (технологічний модуль) і тягача 2 (енергетичний модуль).

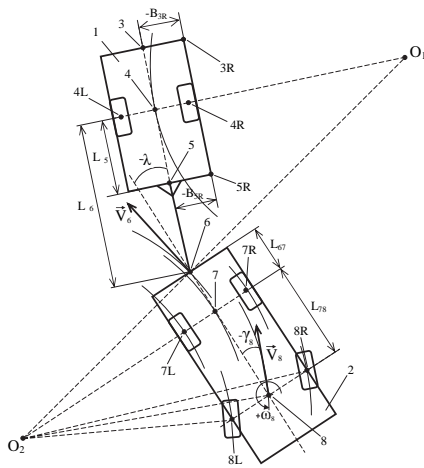


Рис. 3. Вихідна неголономна система двохланкової модульної машини

У загальному вигляді повороту кожна ланка системи рухається навколо свого центру повороту  $O_1$  і  $O_2$ , кожен з яких може бути розташований у будь-якій точці або ліворуч або праворуч від поздовжньої лінії ланки.

У цієї системи виділяються точки у яких розташовані неголономні зв'язки, голономні зв'язки та точки, які являють інтерес для формування траєкторій руху на повороті: 3, 4, 4R, 4L, 5, 6, 7, 7R, 7L, 8, 8R, 8L. Кожне колесо машини, яке розташовано у точці "i", являє собою неголономний (НГ) зв'язок машини з дорогою – рух цієї точки спрямований строго повздовж напрямку колеса (з урахуванням бічного відведення еластичної шини) і описується диференційними рівняннями, які не інтегруються у загальному вигляді довільного руху.

Для формування математичної моделі руху, яка б була інваріантна до кінематичних та динамічних факторів (параметрів), диференційні рівняння НГ зв'язків записуються у природній системі координат

у параметричному вигляді по параметру  $S$  (шлях руху – дугова координата), а не по параметру  $t$  (час):

$$\frac{dy_i}{dS_i} - \sin(\psi_j + \gamma_i) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{dx_i}{dS_i} - \cos(\psi_j + \gamma_i) = 0, \quad (2)$$

де  $x_i, y_i$  – декартові координати траєкторії руху точки  $i$ ;

$S_i$  – дугова координата вздовж траєкторії руху точки (шлях що проходиться);

$\psi_j$  – абсолютний кут повороту рами ланки  $j$ ;

$\gamma_i$  – відносний кут повороту колеса (відносно рами ланки  $j$ ).

Аналіз конфігурації неголономної системи (рис. 3) показує, що НГ зв'язки розташовані у точках 4R, 4L, 7R, 7L, 8R, 8L, а причеп 1 являє собою напівзалежну ланку, рух якої задається мінімум одним НГ зв'язком і задаючим шарніром у точці 6, який є голономним зв'язком з тягачем 2. Тягач являє собою незалежну ланку неголономної системи, рух якої на повороті задається мінімум двома НГ зв'язками. Таким чином неголономна система має 3 надлишкових НГ зв'язків та розташування незалежної ланки позаду напівзалежної ланки, що робить згідно [3] рух нестійким.

Наступним етапом є перехід від існуючої розглянутої конфігурації неголономної системи до еквівалентної системи з мінімальним числом НГ зв'язків (рис. 4).

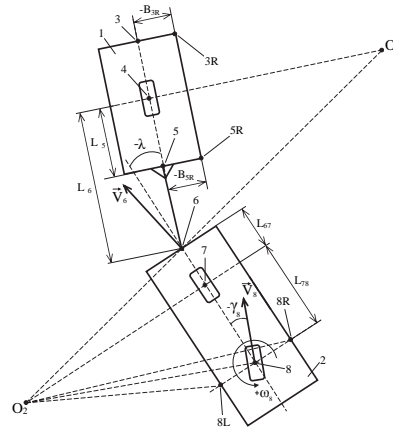


Рис. 4. Конфігурація еквівалентної мінімальної неголономної системи

У цієї системи відсутні надлишкові НГ зв'язки. Але як і раніше рух залишається не стійким. Згідно з [3] треба виконати умову, щоб першою ланкою (згідно напрямку руху) була незалежна ланка, а другою – напівзалежна ланка. Для цього треба виконати перехід до еквівалентної віртуальної неголономної системи (рис. 5).

Для перетворення ланки 1 у незалежну ланку треба у точці 3 (або у точці 5) розмістити віртуальний НГ зв'язок (віртуальне поворотне колесо) з відповідним законом керування поворотом. Ланка 2 у

цьому випадку перетворилася у напівзалежну ланку типу одновісного причепа з неповоротними колесами у точці 7.

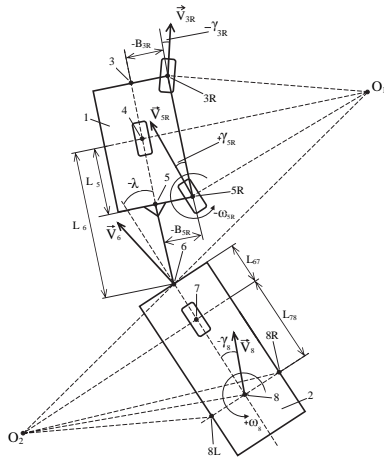


Рис. 5. Конфігурація еквівалентної віртуальної неголономної системи

Для отримання адекватного закону керування поворотом створюється математична модель, яка являє собою систему рівнянь, описуючих неголономні і голономні зв'язки. Отримані рішення мають вигляд:

$$\gamma_3 = \arctg\left(\frac{B_3}{L_{53}} + \frac{L_{53}}{L_{64}} \operatorname{tg}(\lambda + \arctg\left(\frac{L_{76}}{L_{87}} \operatorname{tg}\gamma_8\right))\right); \quad (3)$$

$$\gamma_5 = \arctg\left(\frac{B_5}{L_{54}} - \frac{L_{54}}{L_{64}} \operatorname{tg}(\lambda + \arctg\left(\frac{L_{76}}{L_{87}} \operatorname{tg}\gamma_8\right))\right), \quad (4)$$

де  $\gamma_8$  – відносний кут вектора  $\vec{V}_8$ ;

$\lambda$  – кут складання ланок автопоїзда;

$\gamma_3$  – відносний кут вектора  $\vec{V}_3$ ;

$\gamma_5$  – відносний кут вектора  $\vec{V}_5$ ;

$L_{53}, L_{64}, L_{54}, L_{64}, L_{76}, L_{87}, B_3, B_5$  – геометричні параметри автопоїзда.

Закони керування (3) та (4) дозволяють сформувати необхідні технології керування поворотом [9]. Сутність цих технологій полягає у наступному

Шляхом повороту кермового колеса тягача 1 повертають його поворотні колеса, розташовані у точці 2 (рис. 6 – у дужках наведені попередні номери згідно з рис. 3–5).

Визначають напрямок та величину відносного кута  $\gamma_2$  цих коліс (вектора швидкості  $\vec{V}_2$  у точці 2, наприклад за допомогою датчика у кермовому колесі). За позитивний напрямок усіх відносних кутів векторів швидкості приймають кут при відхиленні вектора ліворуч (тобто коли вектор повертається проти годинникової стрілки). За позитивний напрямок повороту кермового колеса також приймають поворот проти годинникової стрілки. Тягач 1 рухається навколо свого центру повороту  $O_1$ , який розташовано на перетині радіусів повороту поворотних

колес у точці 2 та неповоротних коліс, розташованих у точці 3. Прицеп 4, приєднаний до тягача 1 позаду у точці 5, рухається як ланка автопоїзда навколо свого центру повороту  $O_2$ , який розташовано на перетині радіуса повороту неповоротних коліс у точці 6 та радіуса повороту у шарнірній точці 5. Одночасно визначають також напрямок та величину кута складання  $\lambda$  ланок автопоїзда у точці 5, який вимірюють за допомогою датчика кута. За позитивний напрямок цього кута приймають поворот причепа відносно тягача проти годинникової стрілки.

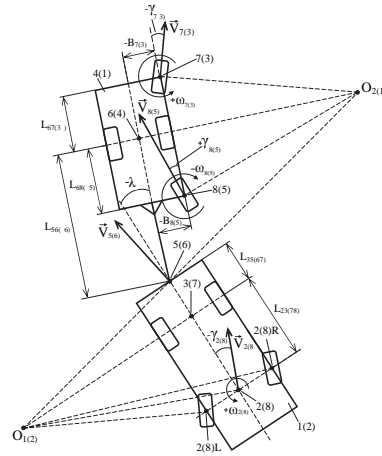


Рис. 6. Технологія керування поворотом двохланкової модульної машини

За отриманими результатами та з урахуванням геометричних параметрів ланок автопоїзда ( $L_{23}, L_{35}, L_{56}, L_{67}, V_7, V_8$ ) та умов руху кожної ланки навколо свого миттєвого центру повороту ( $O_1, O_2$ ), визначають відносний кут повороту вектора швидкості у будь-якій точці стеження, яка розташована від коліс причепа попереду (точка 7 – уздовж поздовжньої лінії на відстані  $L_{67}$  та уперек на відстані  $V_7$ ) або позаду (точка 8 – уздовж поздовжньої лінії на відстані  $L_{68}$  та уперек на відстані  $V_8$ ). Цей кут ( $\gamma_7$  вектора  $\vec{V}_7$  для точки 7, або  $\gamma_8$  вектора  $\vec{V}_8$  для точки 8) визначають за алгебричною формулою (з урахуванням знаків усіх кутів).

Для визначення відносного кута повороту вектора швидкості використовують електронно-обчислювальні пристрої або їх механічні аналоги, наприклад, важільний механізм – система важелів та тяг від кермової трапеції у точці 2 до точки 5, а потім – до точки 8 або 7. Усі подальші дії та умови виконання дій здійснюють однаково у будь-якій з двох точок стеження (7 або 8), за винятком знаків напрямків поворотів.

Якщо стеження проводять у точці 7, то відображують отриманий кут  $\gamma_7$  згідно (1) у вигляді стрілки у точці 7 (або на панелі приладів) для можливості нагляду за його змінами або за змінами від-

носного повороту вектора  $\vec{V}_7$ . При цьому можливі наступні варіанти руху автопоїзда та керування його поворотом.

Для руху з постійними радіусами повороту точок причепа фіксують (запам'ятовують) кут  $\gamma_7$  і стежать, у який бік (у процесі подальшого руху та змін кута складання) відхилиться вектор (стрілка)  $\vec{V}_7$ . При відхиленні вектора праворуч починають повертати кермове колесо ліворуч ( $+\omega_2$ ), щоб повертати вектор теж ліворуч ( $+\omega_7$ ), тобто у тому ж напрямку. Швидкість повертання кермового колеса збільшують до того моменту, доки не буде подолано вплив зміни кута складання – це момент початку повороту вектора ліворуч. Цей процес припиняють при досягненні вектором початкового значення кута  $\gamma_7$ . При відхиленні вектора ліворуч проводять ті ж самі корегуючі дії, але у протилежному напрямку – праворуч ( $-\omega_2, -\omega_7$ ).

Для зменшення радіусів повороту точок причепа поворотом кермового колеса корегують відносний поворот вектора  $\vec{V}_7$  щодо збільшення кута  $\gamma_7$ . Для цього стежать за напрямком розташування вектора  $\vec{V}_7$  відносно поздовжньої лінії та необхідним напрямком його повороту. При розташуванні його праворуч стежать, щоб він повертався теж праворуч ( $-\omega_7$ ). Якщо цього не відбувається (за рахунок змін кута складання), або треба прискорити цей процес, то повертають кермове колесо з необхідною швидкістю у тому ж напрямку – праворуч ( $-\omega_2$ ). Поворот зупиняють, коли зникає потрібність подальшого зменшення радіусів повороту. При розташуванні вектора  $\vec{V}_7$  ліворуч проводять ті ж самі дії, тільки у протилежному напрямку – ліворуч ( $+\omega_2, +\omega_7$ ).

Для збільшення радіусів повороту точок причепа поворотом кермового колеса корегують відносний поворот вектора  $\vec{V}_7$  щодо зменшення кута  $\gamma_7$ . Для цього при розташуванні його праворуч поздовжній лінії стежать за тим, щоб він повертався ліворуч ( $+\omega_7$ ). Якщо цього не відбувається (за рахунок змін кута складання) або треба прискорити цей процес, то починають повертати кермове колесо з необхідною швидкістю у тому ж напрямку – ліворуч ( $+\omega_2$ ). Поворот зупиняють, коли зникає потрібність подальшого збільшення радіусів повороту причепа. При розташуванні вектора  $\vec{V}_7$  ліворуч призводять ті ж самі дії, тільки у протилежному напрямку – праворуч ( $-\omega_2, -\omega_7$ ).

Якщо з будь-яких причин (умови компоновки, умови стеження, умови виконання технології робіт і таке інше) бажано здійснювати стеження не у точ-

ці 7, а у точці 8, то усі дії способу та їх умови (режими) виконують у повному обсязі так саме, за винятком напрямку повороту кермового колеса, який виконують у протилежному напрямку необхідного повороту вектора швидкості  $\vec{V}_8$ , тобто при ( $+\omega_8$ ) виконують ( $-\omega_2$ ), а при ( $-\omega_8$ ) виконують ( $+\omega_2$ ).

Таким чином технологія дозволяє керувати за допомогою кермового колеса тягача одночасно двома ланками модульної машини – ланкою 1, як двовісним тягачем, а ланкою 2 – як одновісним причепом. При цьому забезпечується безумовна стійкість та керованість руху на повороті.

## Висновки

Вперше у світі створена інноваційна технологія керування поворотом аеродромних дволанкових модульних машин для подачі назад одновісного причепа на яку отримано патент на винахід [9].

Створена технологія дозволяє за допомогою існуючого рульового приладу тягача керувати одночасно двома ланками автопоїзда для подачі назад одновісного причепа з неповоротними колесами, який приєднаний шарнірно до тягача позаду. Технологія забезпечує безумовну стійкість та керованість руху на повороті.

## Список літератури

1. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2017. – № 2(27). – С. 19-25.
2. Про затвердження Курсу водіння автомобілів і гусеничних транспортерів-тягачів (КВ-2009): наказ начальника Генерального штабу-Головнокомандувача Збройних Сил України від 27.03.2009 р. № 37. / М-во оборони України.
3. Курсова стійкість двохланкового автопоїзда при русі заднім ходом / В.Л.Сахно, Б.Г. Васильєв, С.В.Гейко // *Автошляховик України: Окремий випуск: Вісник Центрального Наукового Центру Транспортної Академії України*. – 2000. – № 3. – С. 94-97.
4. Васильєв Б.Г. Основы теории маневренности систем с неголономными управляемыми колёсными связями / Б.Г.Васильєв, С.А. Марцинкевич // *Автомобильный – Транспорт: сб. научн. тр.* – Х.: ХНАДУ, 2001. – Вып. 7-8. – С. 126-128.
5. Повышение маневренности и мобильности модульных машин аэродромно-технического обеспечения полетов авиации / Б.Г. Васильєв, Ю.В. Баистов, С.А. Бодько, В.В. Кириченко // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 1(27). – С. 31-34.
6. Решение проблемных задач модульного построения средств аэродромно-технического обеспечения полетов / Н.Н. Момот, Б.Г. Васильєв, Ю.В. Баистов, Р.В. Гунько, К.В. Койдан // *Збірник наукових праць Харків-*

ського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1(34). – С. 54-59.

7. Кириченко В.В. Рішення проблемних задач перспектив розвитку засобів аеродромно-технічного забезпечення обслуговування повітряних суден / В.В. Кириченко, В.В. Кав'юк, Б.Г. Васильєв // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХНУПС. – 2017. – № 2(27) – С. 42-48.

8. Кав'юк В.В. Інноваційна технологія керування поворотом автопоїзда для буксирування штовханням одновісного причепа, приєднаного шарнірно до тягача попереду / В.В. Кав'юк, Б.Г. Васильєв // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХНУПС. – 2016. – № 4(48). – С. 22-25.

9. Спосіб керування поворотом автопоїзда для подачі заднім ходом буксируемого позаду одновісного причепа з неповоротними колесами: патент на корисну модель №101444, Україна, МПК В62D 13/06, 53/00, В.В. Кав'юк, Б.Г. Васильєв та ін., №и201503005; Заявлено 31.03.2015; Опубл. 10.09.2015, Бюл. №17. – 6 с.

Надійшла до редколегії 17.08.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. А.Б. Леонт'єв, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ АЭРОДРОМНЫХ ДВУХЗВЕННЫХ МОДУЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ПОДАЧИ НАЗАД ОДНООСНОГО ПРИЦЕПА

В.В. Кавьюк

*Рассматривается созданная впервые в мире инновационная технология управления поворотом аэродромных двухзвенных модульных машин для подачи назад одноосного прицепа. Технология позволяет при помощи существующего рулевого механизма тягача управлять одновременно двумя модулями – тягачом и одноосным прицепом с неповоротными колёсами. Обеспечивается управляемость и устойчивость движения в повороте.*

**Ключевые слова:** средства аэродромно-технического обеспечения полётов (САТОП) воздушных судов (ВС), двухзвенные модульные машины, управление поворотом, инновационная технология, патент на изобретение.

### INNOVATIVE TECHNOLOGY MANAGEMENT BY TURN TWO-LINK MODULAR MACHINES OF AIRFIELD FOR MOVIES BACK SINGLE-AXIS TRAILERS

V. Kav'yuk

*Considered created for the first time in the world innovative technology management by turn mwo-link modular machines of airfield for movies back single-axis trailers. Technology allows with help existing steering of basic vehicle managing single together two moduls – basic vehicle and single-axis trailers with non slewing wheels. provided controllability and sustainability movement in the turn.*

**Keywords:** means airfields- technical ensuring flying of aircraft, mwo-link modular machines, management by turn, innovative technology, patent on invention.