

**СИНТЕЗ ІННОВАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ
ПОВОРОТОМ ДВОЛАНКОВОГО АВТОПОЇЗДА ДЛЯ ПОДАЧІ ЗАДНІМ
ХОДОМ БУКСИРОВАНОГО ПОЗАДУ ОДНОВІСНОГО ПРИЧЕПА**

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень, одиниць, символів і термінів.....	3
1. Постановка задачі на дослідження.....	4
2. Метод синтезу закону керування поворотом дволанкового автопоїзда для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа.....	9
3. Синтез інноваційної технології керування поворотом дволанкового автопоїзда для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа.....	17
4. Синтез інноваційного пристрою керування поворотом дволанкового автопоїзда для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа.....	21
Висновки.....	25
Література.....	26
Додаток А. Копія опублікованої доповіді на Міжнародній конференції "ВЕРЕСНЕВІ НАУКОВІ ЧИТАННЯ" 16 вересня 2019 року.....	28
Додаток Б. Копія статті "Метод створення узагальненої математичної моделі неголономної системи багатоланкової аеродромної модульної машини".....	37
Додаток В. Копія заявних матеріалів на патент "Пристрій керування поворотом дволанкового автопоїзда для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа з неповоротними колесами".....	46

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ, СИМВОЛІВ І ТЕРМІНІВ

- ГЗ – голономний зв'язок;
- ЗАТЗА – засоби аеродромно-технічного забезпечення авіації;
- ЗНЗП ПС – засоби наземного забезпечення польотів повітряних суден;
- ЛАЗ – логістика аеродромного забезпечення;
- НГЗ – неголономний зв'язок;
- НГЗ.Н – неголономний зв'язок неповоротний.
- НГЗ.П – неголономний зв'язок поворотний.
- НГЗ.Н.НЗ – неголономний зв'язок неповоротний незадаючий.
- НГЗ.Н.НЗ.Д – неголономний зв'язок неповоротний незадаючий дійсний.
- НГЗ.Н.НЗ.В – неголономний зв'язок неповоротний незадаючий віртуальний
- НГЗ.Н.З – неголономний зв'язок неповоротний задаючий.
- НГЗ.Н.З.Д – неголономний зв'язок неповоротний задаючий дійсний.
- НГЗ.Н.З.В – неголономний зв'язок неповоротний задаючий віртуальний.
- НГЗ.П.НЗ – неголономний зв'язок поворотний незадаючий.
- НГЗ.П.З – неголономний зв'язок поворотний задаючий.
- НГЗ.П.З.Д – неголономний зв'язок поворотний задаючий дійсний.
- НГЗ.П.З.В – неголономний зв'язок поворотний задаючий віртуальний.
- НГС – неголономна система;

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ НА ДОСЛІДЖЕННЯ

Актуальність роботи полягає у наступному. Підготовка повітряних суден до польоту має важливе значення для безпеки польоту, включає цілу низку технологічних операцій, яку виконують на аеродромі за допомогою великої групи колісних машин - засобів наземного забезпечення польотів повітряних суден (ЗНЗП ПС). Ці машини повинні мати можливість безпечного під'їзду до літака у тому числі заднім ходом (рис. 1).

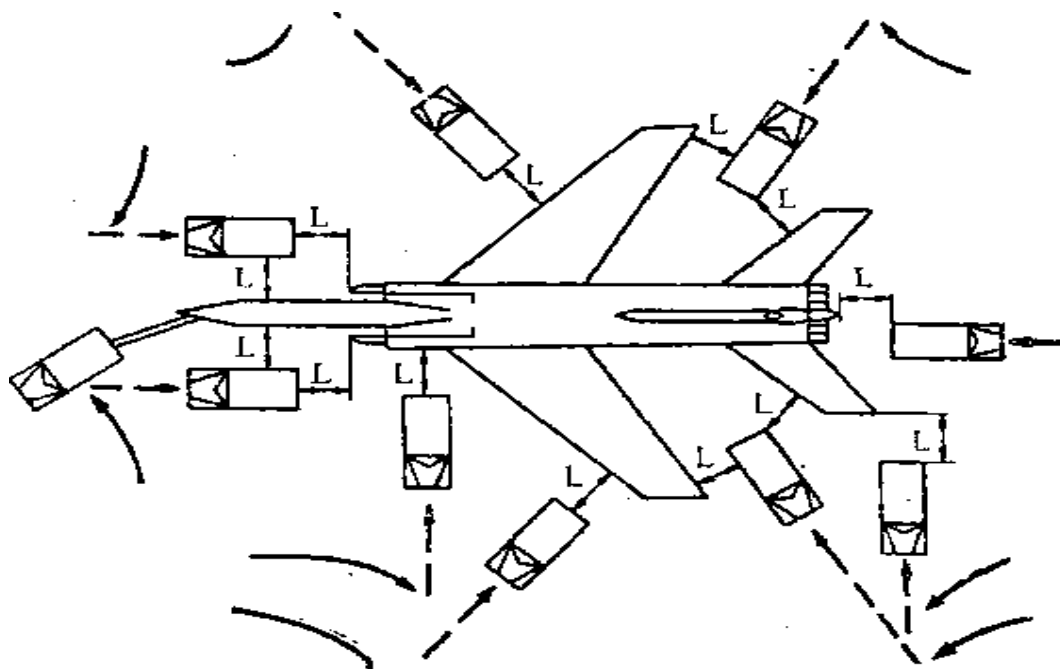


Рисунок 1 - Під'їзд машин ЗНЗПА до літака

За останні роки остаточно сформувалась концепція перспектив розвитку (рішення сучасних проблем техніки, напрямки її модернізації та створення або закупівлі нових зразків) ЗНЗП ПС за модульним принципом з використанням причепів (рис.2 - 3).

Принциповим залишається лише питання вибору типу причепу (одновісний або двовісний) та рішення проблемної наукової задачі, яка є невирішеною досі в усьому світі: керування курсовим рухом при подачі



Рисунок 2 – приклади модульних автопоїздів ЗАТЗА



Рисунок 3 – приклади модульних автопоїздів ЗАТЗА

причепів назад [1].

Минуло вже 200 років, як Аккерман запатентував у 1818 році досі єдину в усьому світі технологію керування поворотом за допомогою рульової трапеції [2,3] згідно з рівнянням Аккермана, яке згідно з термінологією теорії керування є законом керування поворотом колісної машини:

$$\operatorname{ctg}\gamma_{л} - \operatorname{ctg}\gamma_{пр} = \frac{B}{L}, \quad (1)$$

де $\gamma_{л}$, $\gamma_{пр}$ – кути повороту лівого та правого колес;

B – відстань між точками повороту колес;

L – відстань від поворотних колес до неповоротних (або до точок, де можливо розташувати неповоротні колеса – тобто точок, у яких вектор швидкості не повертається відносно корпусу машини).

За умов вирішення вказаної проблемної задачі [4] вибір однозначно випадає на одновісний причеп. Під одновісним причепом треба розуміти не тільки причеп з однією колісною віссю, а й з декількома зближеними (наближеними) вісями - з двома, трьома, чотирма (рис.4). Усі вісі розміщують під загальним центром мас причепа так, що на зчпний пристрій (фаркоп) передається зовсім незначне навантаження (30 ÷ 50кг).

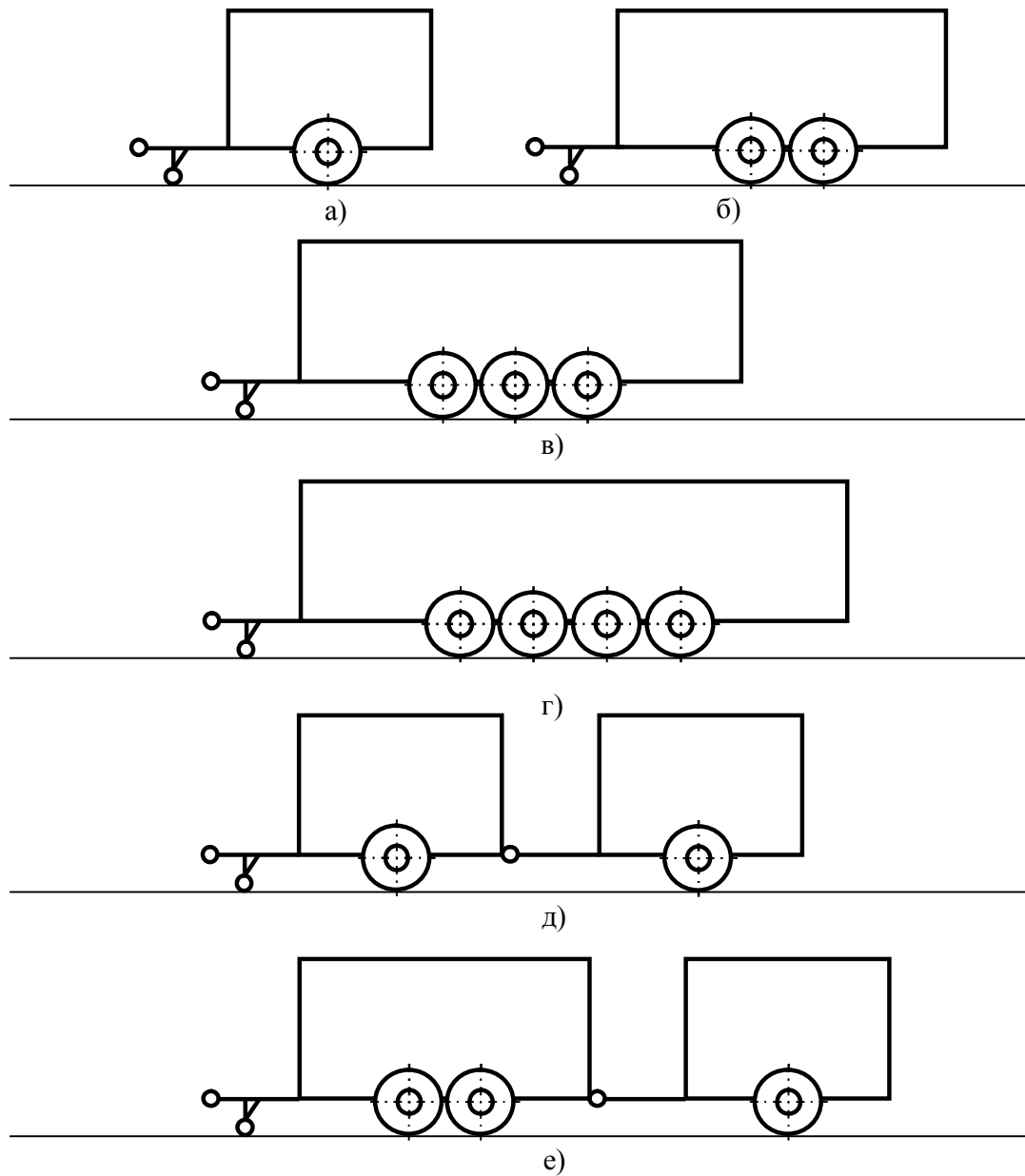


Рисунок 4 – Базові варіанти створення конструктивно – компонувальної схеми засобів рухомості наземного забезпечення польотів авіації на основі одновісних причепів з неповоротними колесами, приєднаних до тягача шарнірно: а) звичайний одновісний причеп; б) одновісний причеп з двома наближеними висями; в) одновісний причеп з трьома наближеними висями; г) одновісний причеп з чотирма наближеними висями; д), е) дволанкові схеми причіпних модулів

2. МЕТОД СИНТЕЗУ ЗАКОНУ КЕРУВАННЯ ПОВОРОТОМ ДВОЛАНКОВОГО АВТОПОЇЗДА ДЛЯ ПОДАЧІ ЗАДНІМ ХОДОМ БУКСИРОВАНОГО ПОЗАДУ ОДНОВІСНОГО ПРИЧЕПА

На рис.5 зображена вихідна конфігурація НГС машини, яка розглядається.

Після здійснення трьох етапів методу створення узагальненої математичної моделі неголономної системи багатоланкової аеродромної модульної машини (див. Додаток Б) отримана конфігурація еквівалентної НГС з віртуальними НГЗ та без надлишкових НГЗ (рис.6) і математична модель, яка має наступний вид:

$$\frac{dy_4}{ds_4} - \sin \psi_1 = 0, \quad (2)$$

$$\frac{dx_4}{ds_4} - \cos \psi_1 = 0, \quad (3)$$

$$\frac{dy_7}{ds_7} - \sin \psi_1 = 0, \quad (3)$$

$$\frac{dx_7}{ds_7} - \cos \psi_1 = 0, \quad (5)$$

$$\frac{dy_8}{ds_8} - \sin(\psi_2 + \gamma_7) = 0, \quad (6)$$

$$\frac{dx_8}{ds_8} - \cos(\psi_2 + \gamma_7) = 0, \quad (7)$$

$$\frac{ds_7}{ds_8} - \cos \gamma_8 = 0, \quad (8)$$

$$\frac{ds_7}{ds_6} - \cos \gamma_{6.2} = 0, \quad (9)$$

$$\frac{ds_6}{ds_4} - \frac{1}{\cos \gamma_{6.1}} = 0, \quad (10)$$

$$L_{7.8} \sin \psi_2 - y_7 + y_8 = 0, \quad (11)$$

$$L_{7.8} \cos \psi_2 - x_7 + x_8 = 0, \quad (12)$$

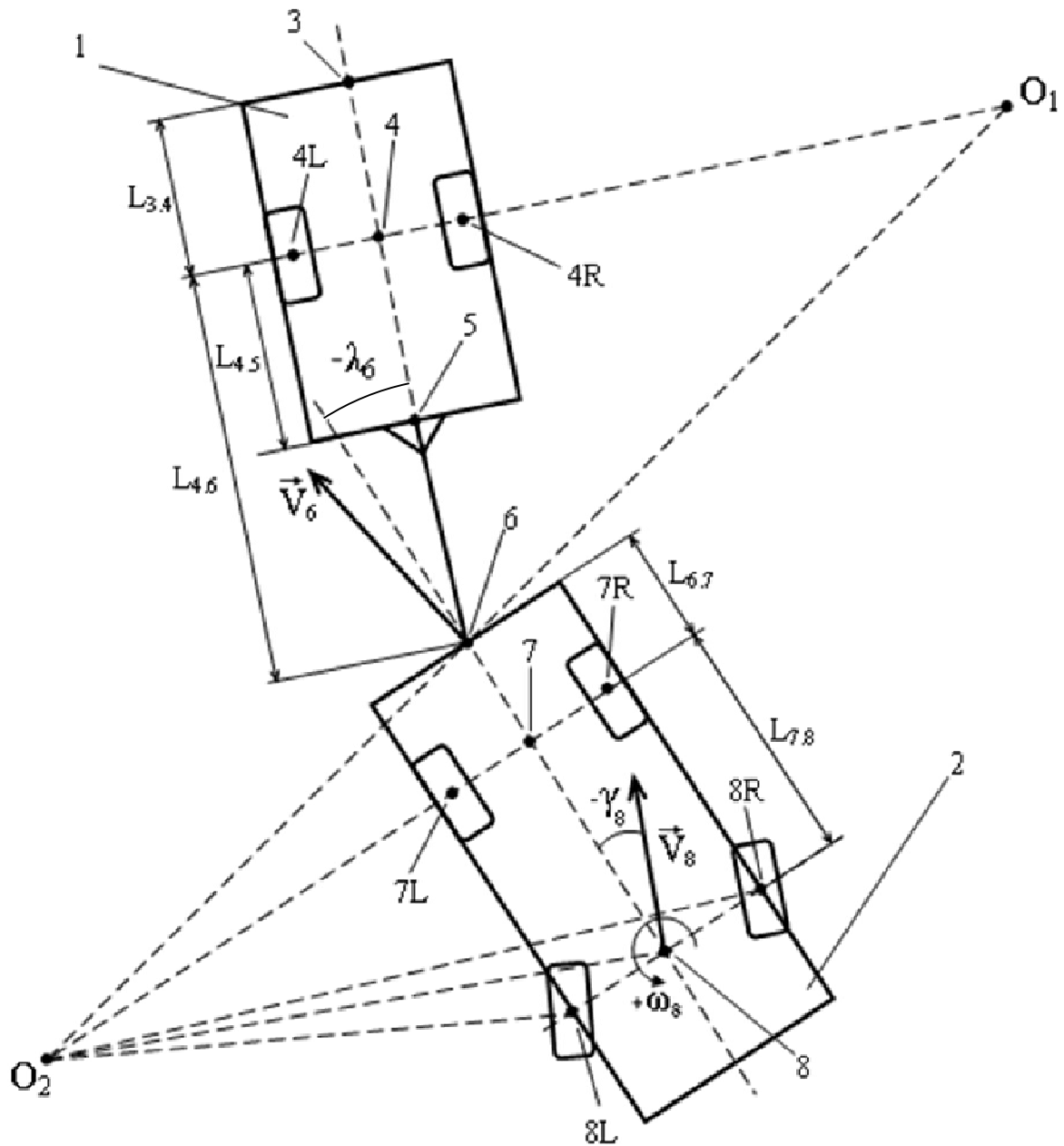
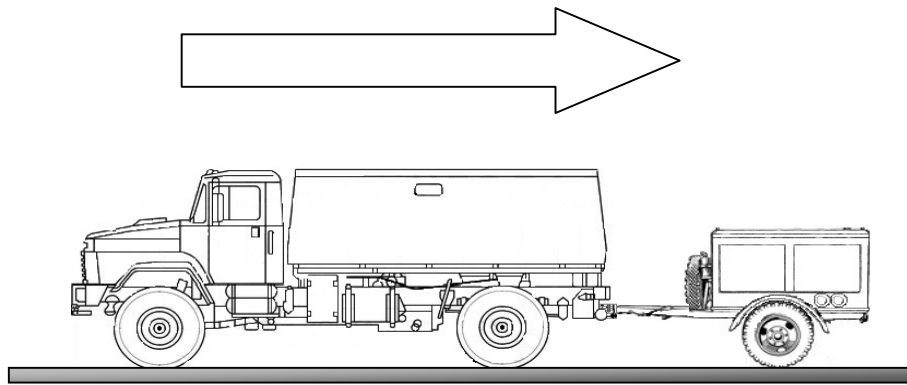


Рисунок 5 – вихідна конфігурація НГС двухланкової машини

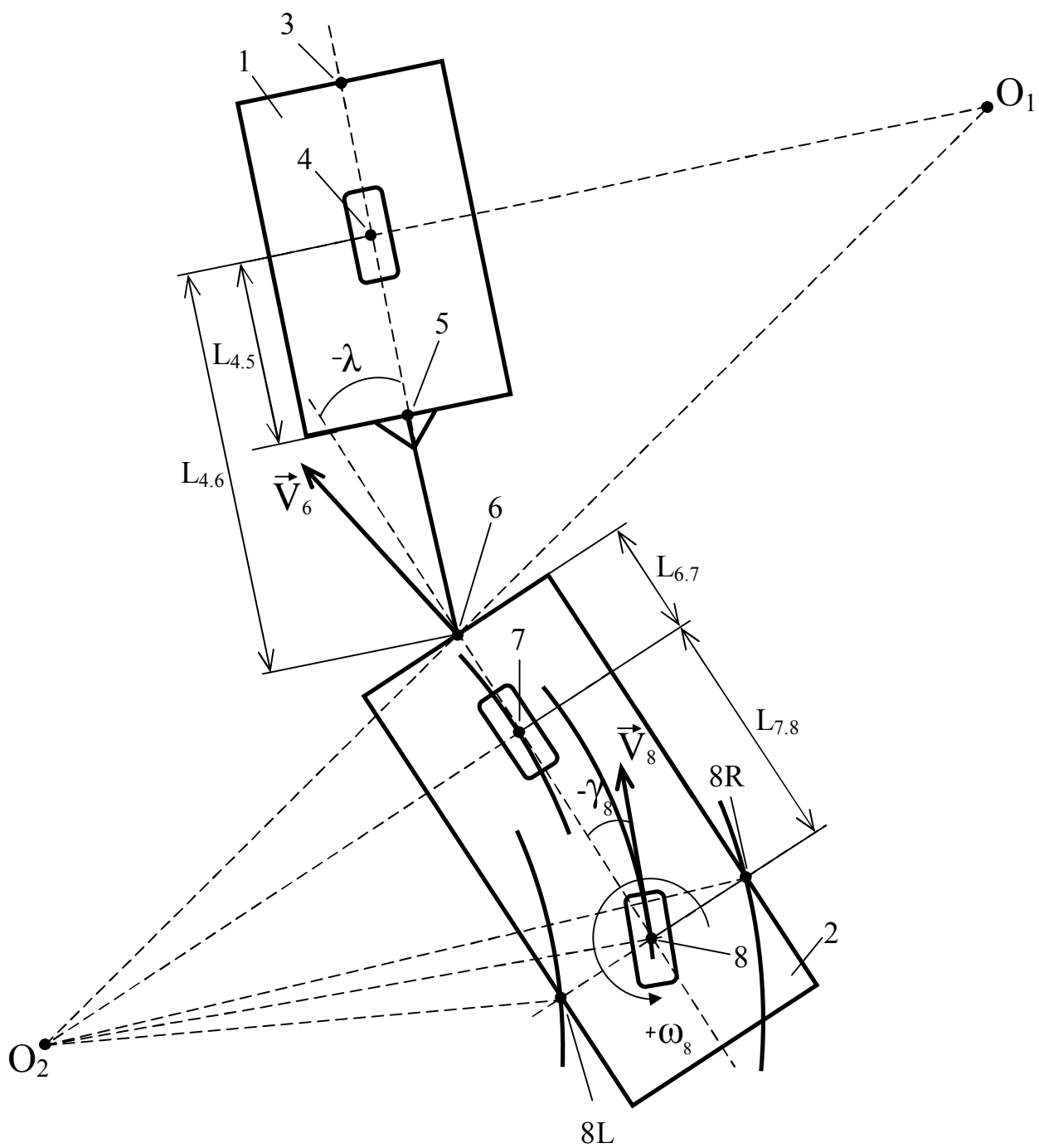


Рисунок 6 - конфігурація еквівалентної НГЗ з віртуальними НГЗ
(без надлишкових НГЗ)

$$L_{6.7} \sin \psi_2 - y_6 + y_7 = 0, \quad (13)$$

$$L_{6.7} \cos \psi_2 - x_6 + x_7 = 0, \quad (14)$$

$$L_{4.6} \sin \psi_1 - y_4 + y_6 = 0, \quad (15)$$

$$L_{4.6} \cos \psi_1 - x_4 + x_6 = 0, \quad (16)$$

$$L_{7.8} \operatorname{tg} \gamma_{6.2} + (L_{7.8} + L_{6.7}) \operatorname{tg} \gamma_8 = 0, \quad (17)$$

$$\lambda_6 - \psi_1 + \psi_2 = 0, \quad (18)$$

$$\lambda_6 - \gamma_{6.2} + \gamma_{6.1} = 0. \quad (19)$$

Далі ця математична модель використовується при розробці методу синтезу і подальшому синтезі технології керування поворотом і пристрою.

Звісно, що при керуванні поворотом автомобіля існує в усьому світі тільки одна технологія („Аккерман-1818”) - водій повертає кермове колесо, рульовий привід повертає за допомогою рульовій трапеції поворотні колеса на різні кути і у разі цього усі точки і колеса рухаються по дугах з постійними радіусами. Радіуси дуг змінюються тільки при змінюванні повороту кермового колеса.

Але причіп рухається інакше – отже і при незмінному повороті кермового колеса радіуси повороту його точок у загальному випадку змінюються (по путі руху або по часу) у залежності від кута складання причепа з тягачем у шарнірі їх з’єднання.

При подачі причепа назад його рух буде нестійким у повороті – він нескінченно відхиляється у бік і миттєвий центр повороту його ніколи не наближається до миттєвого центру повороту тягача при будь-яких початкових умовах. Тому треба знайти рішення, яке стосується керування поворотом одразу двох ланок такої машини із забезпеченням стійкості обох ланок при русі назад.

Існує метод ручного керування причепом, коли причеп роз’єднують від тягача у шарнірі та штовхають його вручну. Але це потребує додатково механізації та автономної системи гальмування, тому при зростанні ваги

причепи використання цього методу викликає дуже значні труднощі і знижує небезпечність технології, тим паче в умовах маневрування біля літаків.

Здійснення трьох етапів методу створення узагальненої математичної моделі неголономної системи багатоланкової аеродромної модульної машини дозволило отримати систему математичних рівнянь (2 - 19) і еквівалентну конфігурацію НГС (рис.6), які подальше використовуються для синтезу технології керування поворотом.

Розроблений метод синтезу технології керування поворотом засобами неголономної механіки складається з чотирьох послідовно виконуючих етапів подальшого перетворення конфігурації НГС і чотирьох складових методів, за допомогою яких це робиться:

1). Здійснюють етап переходу до еквівалентної конфігурації НГС з віртуальними ланками для забезпечення стійкого руху у повороті застосовуючи розроблений метод коректного переходу;

2). Доповнюють математичну модель з урахуванням нових віртуальних НГЗ застосовуючи описаний раніше метод математичного моделювання;

3). Отримають з математичної моделі закон керування поворотом методом рішення системи рівнянь;

4). Синтезують інноваційну технологію керування поворотом застосовуючи метод аналізу отриманого закону керування поворотом.

Використання даного методу дозволило отримати наступні результати.

З аналізу конфігурації НГС витікає висновок, що єдиною НГЗ.П.З.Д у цієї двохланкової машини є НГЗ у точці 8, якою керує водій. Але знаходиться вона позаду усіх НГЗ, тому забезпечує стійкість руху при повороті тільки однієї ланки 2. Кожна точка, у тому числі шарнір 6, рухається по дузі зі своїм радіусом навколо МЦП O_2 . Шарнір 6 для ланки 2 є незадаючим, а для ланки 1 – задаючим і керує її поворотом. Але він знаходиться позаду від НГЗ.Н.З, яка розташована у точці 4, тому не може забезпечити стійкість руху ланки 1. Умова для забезпечення стійкості руху у повороті усіх двох ланок не виконується, тому потребується обов'язково здійснити етап 1.

Розроблений метод коректного переходу до еквівалентної конфігурації НГС з віртуальними ланками здійснюється таким чином, щоби перетворити першу ланку машини у незалежну віртуальну ланку з НГЗ.П.З.В (Рис. 7), а ланку 2 – у напівзалежну ланку. Метод здійснення коректного переходу у цьому випадку ускладнюється – конфігурація НГС суттєво змінюється, але тільки при розгляді процесів керування. В цих умовах кваліфікаційні ознаки нових віртуальних ланок і віртуальних НГЗ повинні відповідати створеній класифікації (див. Додаток Б), а поворот цих НГЗ повинен повністю відповідати голономному зв'язку кутів повороту їх векторів швидкостей, який був у попередньої конфігурації НГС.

Для цього на ланці 1 у будь-якій точці, яка розташована попереду або позаду від неповоротних коліс 4 (наприклад 3R або 5R), створюють еквівалентну НГЗ.П.З.В – її поворот повинен здійснюватися кожен мить на такий же кут, як у вектора швидкості цієї точки. Цей поворот пов'язаний з поворотом вектора швидкості у точці 8 і цей зв'язок необхідно математично описати і додати до математичної моделі.

У другій ланці навпаки – виключають з розгляду (відкидають) НГЗ у точці 8, а її керування поворотом передають до НГЗ.П.З.В у точках 3R або 5R згідно з математичним зв'язком руху цих точок. Вибір точок 3R або 5R здійснюють у залежності від зручності нагляду за цією точкою водієм.

У наслідок виконаних дій шарнір у точці 6 перетворюється у незадаючий для ланки 1, а для ланки 2 – у задаючий. Точка 6 тепер буде рухатися у повороті по дузі з центром у O_1 (а не O_2 , як раніше) і керувати ланкою 2 (вести за собою).

Для нових віртуальних НГЗ записуються математичні рівняння, які додаються до математичної моделі(етап 2):

$$\frac{dy_{3R}}{ds_{3R}} - \sin(\psi_1 + \gamma_{3R}) = 0, \quad (20)$$

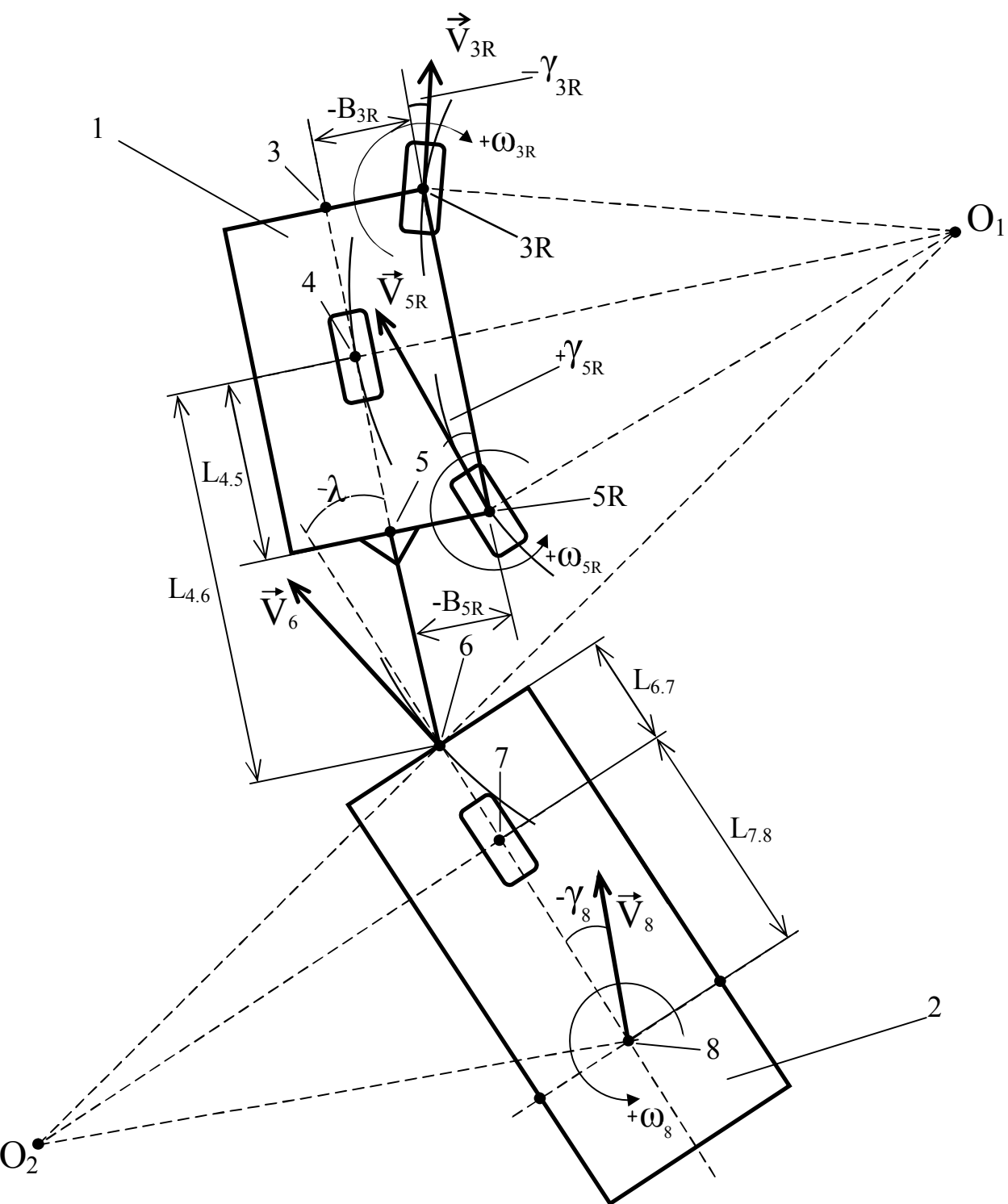


Рисунок 7 – конфігурація еквівалентної НГС з віртуальними ланками

$$\frac{dx_{3R}}{ds_{3R}} - \cos(\psi_1 + \gamma_{3R}) = 0, \quad (21)$$

$$\frac{dy_{5R}}{ds_{5R}} - \sin(\psi_1 + \gamma_{5R}) = 0, \quad (22)$$

$$\frac{dx_{5R}}{ds_{5R}} - \cos(\psi_1 + \gamma_{5R}) = 0, \quad (22)$$

$$\frac{ds_{3R}}{ds_3} - \frac{\sin \gamma_{3R}}{\sin \gamma_3} = 0, \quad (24)$$

$$\frac{ds_{5R}}{ds_5} - \frac{\sin \gamma_{5R}}{\sin \gamma_5} = 0, \quad (25)$$

$$\operatorname{ctg} \gamma_{3R} - \operatorname{ctg} \gamma_3 - \frac{B_{3R}}{L_{3.4}} = 0, \quad (26)$$

$$\operatorname{ctg} \gamma_{5R} - \operatorname{ctg} \gamma_5 - \frac{B_{5R}}{L_{4.5}} = 0, \quad (27)$$

$$L_{4.6} \operatorname{tg} \gamma_5 - L_{4.6} \operatorname{tg} \gamma_{6.1} = 0, \quad (28)$$

$$L_{4.6} \operatorname{tg} \gamma_3 + L_{3.4} \operatorname{tg} \gamma_{6.1} = 0, \quad (29)$$

Подальше рішення системи рівнянь (етап 3), яка описує доповнену математичну модель, дозволяє отримати необхідні два закони керування поворотом:

$$\gamma_{3R} = \operatorname{arctg} \left(\frac{B_{3R}}{L_{3.4}} + \frac{L_{3.4}}{L_{4.6}} \operatorname{tg} (\lambda_6 + \operatorname{arctg} (\frac{L_{6.7}}{L_{7.8}} \operatorname{tg} \gamma_8)) \right), \quad (30)$$

або

$$\gamma_{5R} = \operatorname{arctg} \left(\frac{B_{5R}}{L_{4.5}} - \frac{L_{4.5}}{L_{4.6}} \operatorname{tg} (\lambda_6 + \operatorname{arctg} (\frac{L_{6.7}}{L_{7.8}} \operatorname{tg} \gamma_8)) \right), \quad (31)$$

де γ_8 – відносний кут вектора \vec{V}_8 ;

λ_6 – кут складання ланок автопоїзда;

γ_{3R} – відносний кут вектора \vec{V}_{3R} ;

γ_{5R} – відносний кут вектора \vec{V}_{5R} ;

$L_{3.4}, L_{4.5}, L_{4.6}, L_{6.7}, L_{7.8}, B_{3R}, B_{5R}$ – геометричні параметри автопоїзда, де відносно до B_{3R} та B_{5R} прийнято наступне правило знаків: ”+” – при розташуванні НГЗ.П.З.В ліворуч від поздовжній лінії; “-“ – праворуч.

3. СИНТЕЗ ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КЕРУВАННЯ ПОВОРОТОМ ДВОЛАНКОВОГО АВТОПОЇЗДА ДЛЯ ПОДАЧІ ЗАДНІМ ХОДОМ БУКСИРОВАНОГО ПОЗАДУ ОДНОВІСНОГО ПРИЧЕПА

Закони керування показують, яким чином впливають на поворот основні параметри машини. Тому аналіз законів керування є інструментом методу синтезу (етап 4) інноваційної технології керування поворотом цієї двохланкової модульної машини. Технологія складається з виконання дій, їх порядку, умов виконання, режимів, інструментів, за допомогою яких здійснюються дії і таке інше.

Сутність синтезованої інноваційної технології керування поворотом полягає у наступному.

1). Шляхом повороту кермового колеса тягача 1 (рис.8 - нумерація відповідає патенту, а в дужках наведена нумерація, яка використовувалася досі) повертають його поворотні колеса, розташовані у точці 2.

2). Визначають напрямок та величину відносного кута γ_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 коліс у точці 2 та неповоротних

коліс, розташованих у точці 3. Причеп 4, приєднаний до тягача 1 позаду у точці 5, рухається як ланка автопоїзда навколо свого центру повороту O_2 , який

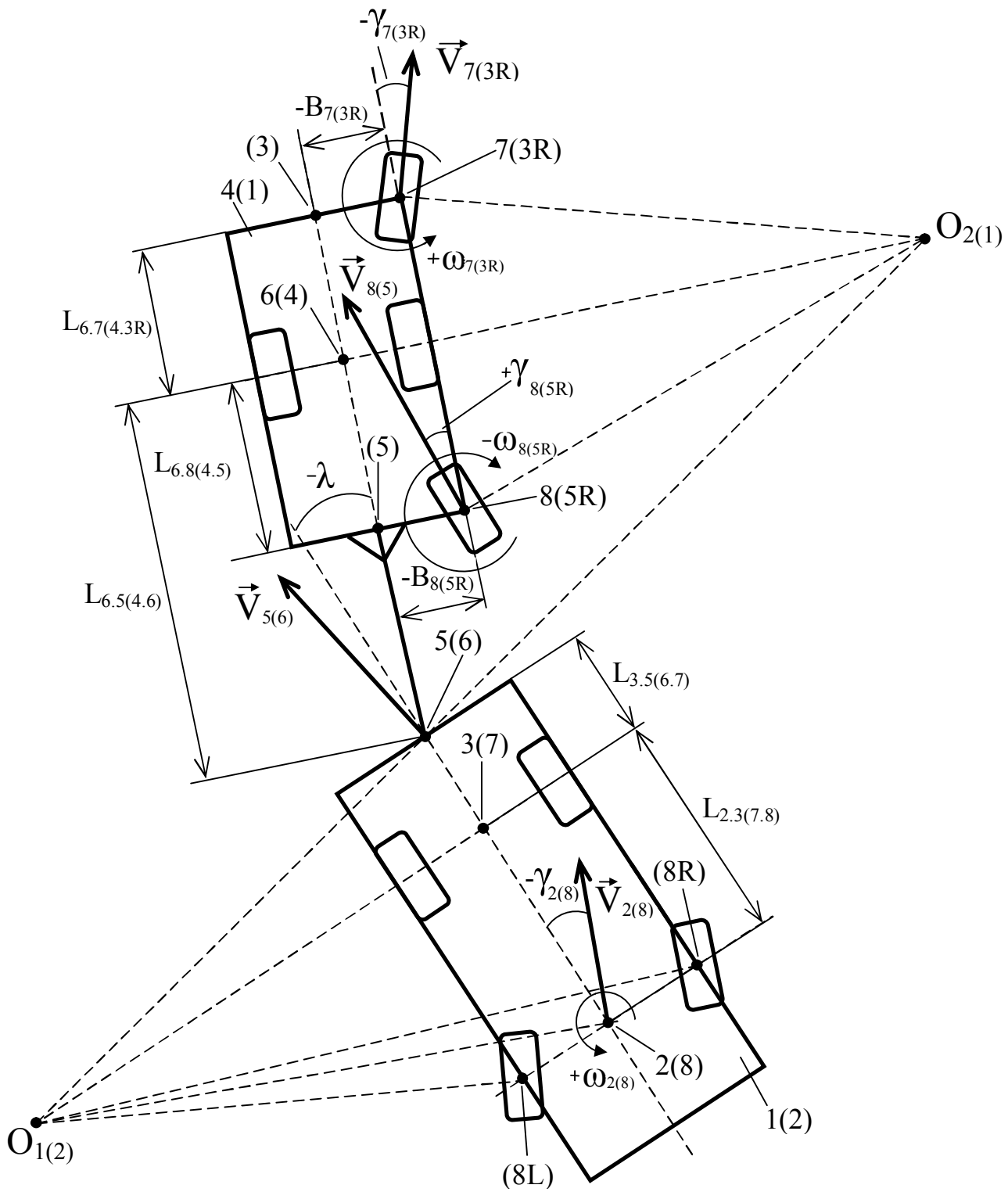


Рисунок 8 – подвійна нумерація конфігурації НГС: нумерація без дужок відповідно патенту [3]; нумерація у дужках відповідно роботі

розташовано на перетині радіуса повороту неповоротних коліс уточці 6 та радіуса повороту у шарнірній точці 5.

3). Одночасно визначають також напрямок та величину кута складання λ_6 ланок автопоїзда у точці 5, який вимірюють за допомогою датчика кута. За позитивний напрямок цього кута приймають поворот причепа відносно тягача проти годинникової стрілки.

4). За отриманими результатами та з урахуванням геометричних параметрів ланок автопоїзда ($L_{23}, L_{35}, L_{56}, L_{67}, B_7, B_8$) 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 поздовжній лінії на відстані L_{67} та упоперек на відстані B_7) або позаду (точка 8 – уздовж поздовжній лінії на відстані L_{68} та упоперек на відстані B_8). Цей кут (γ_7 вектора \vec{V}_7 для точки 7, або γ_8 вектора \vec{V}_8 для точки 8) визначають за алгебричними формулами (29) і (30) (з урахуванням знаків усіх кутів).

5). 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.

6). Усі подальші дії та умови виконання дій здійснюють однаково у будь-якій з двох точок стеження (7 або 8), за винятком знаків напрямків поворотів.

7). Якщо стеження проводять у точці 7, то відображують отриманий кут γ_7 згідно (1) у вигляді стрілки у точці 7 (або на панелі приладів) для можливості нагляду за його змінами або за змінами відносного повороту вектора \vec{V}_7 . При цьому можливі наступні варіанти руху автопоїзда та керування його поворотом.

8). Для руху з постійними радіусами повороту точок причепа фіксують (запам'ятовують) кут γ_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 γ_7 . При відхиленні вектора ліворуч проводять ті ж самі корегуючі дії, але у протилежному напрямку – праворуч ($-\omega_2, -\omega_7$).

9). Для зменшення радіусів повороту точок причепа поворотом кермового колеса корегують відносний поворот вектора \vec{V}_7 щодо збільшення кута γ_7 . Для цього стежать за напрямком розташування вектора \vec{V}_7 відносно поздовжньої лінії та необхідним напрямком його повороту.

10). 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.

11). При розташуванні вектора \vec{V}_7 ліворуч проводять ті ж самі дії, тільки у протилежному напрямку – ліворуч ($+\omega_2, +\omega_7$).

12). Для збільшення радіусів повороту точок причепа поворотом кермового колеса корегують відносний поворот вектора \vec{V}_7 щодо зменшення кута γ_7 .

13). 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 збільшування радіусів повороту причепа.

14). При розташуванні вектора \vec{V}_7 ліворуч призводять ті ж самі дії, тільки у протилежному напрямку – праворуч $(-\omega_2, -\omega_7)$.

15). Якщо з будь - яких причин (умови компоновки, умови стеження, умови виконання технології робіт і таке інше) бажано здійснювати стеження не у точці 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 $(+\omega_2)$.

Далі використовують синтезовану технологію на практиці при виконанні логістичної операції або вручну водієм за допомогою кермового колеса і нагляду за стрілкою, або при побудові автоматизованого пристрою керування, або при побудові системи автоматичного керування.

Таким чином, розроблений метод дозволив синтезувати інноваційну технологію керування поворотом, згідно з якою забезпечується безумовна керованість і стійкість руху обох ланок машини. Водій, як і раніше повертає кермове колесо. Але бортова система автоматично робить перерахунки згідно з синтезованою технологією і повертає віртуальні колеса причепа (у вигляді стрілки), який рухається тепер як незалежна ланка у повороті. А тягач тепер рухається автоматично за ланкою 1 як напівзалежна ланка, яку веде за собою шарнір 6, який став для тягачу задаючим.

4.СИНТЕЗ ІННОВАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ ПОВОРОТОМ ДВОЛАНКОВОГО АВТОПОЇЗДА ДЛЯ ПОДАЧІ ЗАДНІМ ХОДОМ БУКСИРОВАНОГО ПОЗАДУ ОДНОВІСНОГО ПРИЧЕПА

Синтез пристрою здійснюється згідно з синтезованими законом керування поворотом і інноваційною технологією.

Синтезований пристрій керування поворотом дволанкового автопоїзду для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа 1 (рис.9), у якого розташовані у точці 2 неповоротні колеса 3 і який приєднаний шарнірно у точці 4 до автомобілю (тягачу) 5, у якого розташовані у точці 6 неповоротні колеса 7, а у точці 8 – поворотні колеса 9, складається з рульового керування 10 (рис.10) поворотними колесами 9 автомобіля 5.

До складу пристрою додатково включене датчик 11 відносного кута γ_2 повороту колес 9 (відносно рами автомобілю 5), датчик 12 кута λ_6 складання рами автомобіля 5 з рамою одновісного причепа 1, система 13 відео спостереження за дорогою і причепом 1 на фоні дороги, оглядова панель 14 і електронно-обчислювальний прилад 15 перетворення вхідних сигналів у вихідний результатний сигнал згідно алгебричної формули

$$\gamma_{16} = -\arctg \frac{L_{2,16}}{L_{2,4}} \operatorname{tg}(\lambda_4 + \arctg(\frac{L_{4,6}}{L_{6,8}} \operatorname{tg}\gamma_8)), \text{ де } \gamma_{16} - \text{відносний кут вектора}$$

швидкості \vec{V}_{16} точки стеження 16 причепа 1; λ_4 – кут складання ланок 1 і 5 автопоїзда; γ_8 – відносний кут повороту коліс 9 у точці 8; $L_{2,16}, L_{2,4}, L_{4,6}, L_{6,8}$ – геометричні параметри автопоїзда. За позитивний напрямок усіх відносних кутів прийнято поворот проти годинникової стрілки відносно рами. За позитивний напрямок кута складання прийнято поворот проти годинникової стрілки рами причепа 1 відносно рами автомобіля 5.

В якості точки стеження 16 може бути будь-яка точка рами причепа 1, яка розташована на відстані від неповоротних коліс 3 причепа 1 (тобто від точки 2).

Обидва датчики 11 і 12 кутів електричне з'єднані із входами електронно-обчислювального приладу 15, вихід якого з'єднань з одним із входів оглядової панелі 14, другий вхід якої з'єднань з системою відеоспостереження 13.

Пристрій працює наступним чином.

Рульове керування 10 перетворює поворот рульового колеса, яке розташоване на вході рульового керування, в поворот коліс 9, які розташовані на виході рульового керування. Датчик 11, який може бути розташований у

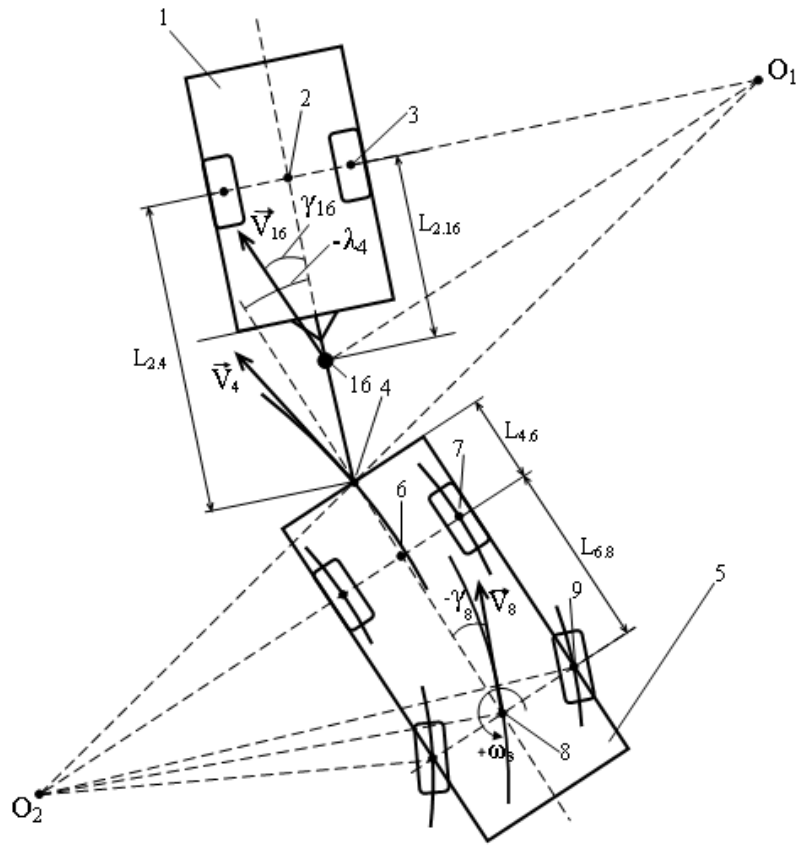


Рисунок 9 – Схема руху у повороті дволанкового автопоїзда

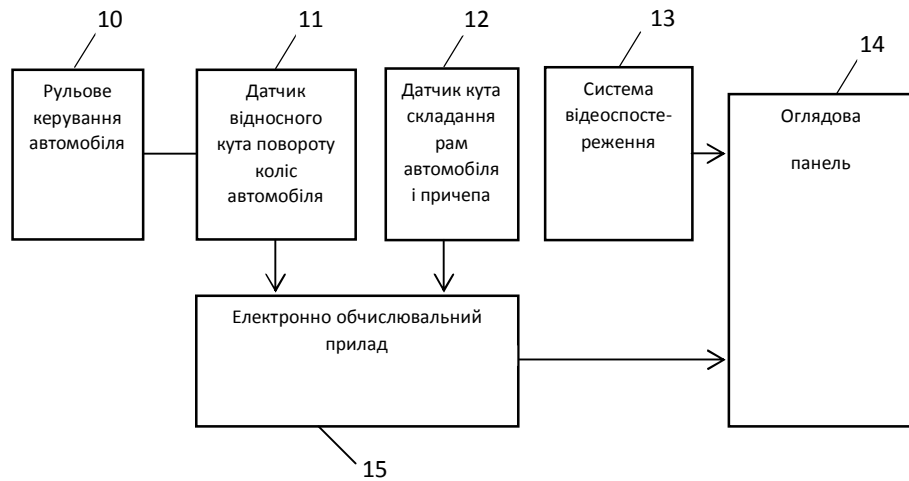


Рисунок 10 – Функціональна блок-схема пристрою

будь-якій точці рульового керування 10, вимірює відносний кут γ_8 (відносно рами автомобіля 5) повороту коліс 9 у точці 8 і посилає відповідний сигнал в один із входів електронно-обчислювального приладу 15.

Датчик 12 вимірює кут складання λ_4 у точці 4 ланок 1 і 5 автопоїзда і посилає відповідний сигнал на другий вхід електронно-обчислювального приладу 15, який перетворює отримані обидва вхідних сигнали у вихідний результатний сигнал згідно наведеної алгебричної формули і посилає його на один із входів оглядової панелі 14.

Система відеоспостереження 13 посилає відповідний сигнал о причепі на фоні дороги на другий вхід оглядової панелі 14, яка відображає на екрані для водія зображення дороги, причепу на фоні дороги, на які накладанні данні о розмірі та напрямку (ліворуч або праворуч) відносного кута вектора швидкості у точки стеження 16, які отримані на перший вхід оглядової панелі. Якщо розмір кута у точки 16 не змінюється, то колеса причепу рухаються у повороті з постійними радіусами, якщо розмір кута збільшується, то радіуси зменшуються (тобто поворот стає більш крутішим), а якщо зменшується – то радіуси збільшуються (тобто поворот стає менш крутішим).

ВИСНОВКИ

Розроблений метод синтезу закону керування поворотом дволанкового автопоїзда для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа базується на теоретичних основах неголономної механіки і дозволяє перетворювати дійсну неголономну колісну систему автопоїзда у еквівалентну віртуальну НГС.

Вперше у світі синтезовано закон керування поворотом, технологію і пристрій для дволанкового автопоїзда, у складі якого є тягач з поворотними колесами та одновісний причеп з неповоротними колесами:

Синтезований пристрій дозволяє за допомогою кермового колеса тягача здійснювати керування одночасно усіма двома ланками автопоїзда при під'їзді до літака заднім ходом.

Відсутність в усьому світі жодної нової технології зокрема технології з використанням рульової трапеції Акермана, яка запатентована їм 200 років тому (у 1818 році) гальмує прогрес і не дозволяє створити появу у житті перспективних більш ефективних дволанкових модульних машин.

Отримані в роботі результати відкривають перспективу розвитку аеродромних машин ЗАТЗА у напрямку широкого використання одновісних причепів, для яких перестає існувати проблема маневрування для подачі до літака заднім ходом та забезпечується підвищення безпеки і ефективності (за рахунок спрощення конструкції причіпного модулю, зниження його вартості та ваги, покращення ремонтпридатності, підвищення надійності).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закин Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда. – М: Транспорт, 1967.-252с.
2. Трехзвенные автопоезда /Я.Е. Фаробин, А.М. Якобашвили, А.М. Иванов и др. Под общ. ред. Я.Е. Фаробина – Машиностроение, 1993. – 224 с.
3. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. – М.: Транспорт, 1986.-136 с.
4. Васильев Б. Г. Повышение маневренности и мобильности модульных машин аэродромно – технического обеспечения полетов авиации / Б. Г. Васильев, 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.
5. Васильев Б. Г. Основы теории маневренности систем с неголономными управляемыми колесными связями/ Б. Г. Васильев, С. А. Марцинкевич// Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. – Х.:ХНАДУ, 2001. – Вып. 7 -8. с. 126 – 128.
6. Толубко В. Б. Решение проблемы маневренности увеличением степени подвижности машин с неголономными связями колесного типа/ В. Б. Толубко, Б. Г. Васильев, А. М. Березан// Механіка та машинобудування, 2009. - № 2. – с. 96 – 102.
7. Толубко В. Б. Перспективи підвищення мобільності й безаварійності засобів рухомості озброєння і військової техніки за рахунок рішення проблеми маневреності/ В. Б. Толубко, Б. Г. Васильев, А. М. Березан// Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2009. – № 4(20). – с. 62 – 66.
8. Лобас Л. Г. Неголономные модели колесных экипажей/ Л. Г. Лобас. – К.: Наукова думка, 1986. – 231 с.
9. Сахно В.П. Курсова стійкість двохланкового автопоезда при русі заднім ходом/ В. П. Сахно, Б. Г. Васильев, С. В. Гейко// Автошляховик України:

Окремий випуск: Вісник Центрального Наукового Центру Транспортної Академії України, 2000. - № 3. – с. 94 – 97.

10. Спосіб керування поворотом автопоїзда для буксирування штовханням одновісного причепа, приєднаного до тягача попереду: патент на корисну модель № 95107, МПК В62D 15/00, 49/00, 53/00, Кав'юк В.В., Васильєв Б.Г. та ін.- № u201407214; заявл. 26.06.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл.№ 23.

11. Спосіб керування курсовим рухом автопоїзда для буксирування штовханням одновісного причепа, приєднаного до тягача попереду: патент на корисну модель №100449, МПК В62D 49/04, 53/00, Кав'юк В.В., Васильєв Б.Г. та ін.- № u201501055; заявл. 10.02.2015; опубл. 27.07.2015, Бюл.№ 14.

12. Спосіб керування поворотом автопоїзда для подачі заднім ходом буксируемого позаду одновісного причепа з неповоротними колесами: патент на корисну модель № 101444, МПК В62D 13/06, 53/00, Кав'юк В.В., Васильєв Б.Г. та ін.- № u201503005; заявл. 31.03.2015; опубл. 10.09.2015, Бюл.№ 17.

13. Спосіб керування курсовим рухом автопоїзда для подачі заднім ходом буксируемого позаду одновісного причепа з неповоротними колесами: патент на корисну модель № 102036, МПК В62D 13/06, 53/00, Кав'юк В.В., Васильєв Б.Г. та ін.- № u 201504016; заявл. 27.04.2015; опубл. 12.10.2015, Бюл.№ 19.

14. Спосіб керування курсовим рухом автопоїзда для подачі заднім ходом буксирувальних позаду двох одновісних причепів з неповоротними колесами: патент на корисну модель №113989, МКП В62D 13/06, 53/00, В.В. Кав'юк, Б.Г. Васильєв, В.А. Юхно, В.О. Приходько, А.А. Люлев, Р.А. Замковий (Україна) №u 201608552; Заявлено 03.08.2016; Опубл. 27.02.2017, Бюл. №4. -4 с.

ДОДАТОК А.

**КОПІЯ ОПУБЛІКОВАНОЇ ДОПОВІДІ НА МІЖНАРОДНІЙ
КОНФЕРЕНЦІЇ "ВЕРЕСНЕВІ НАУКОВІ ЧИТАННЯ" 16 ВЕРЕСНЯ 2019
РОКУ**

**Збірник наукових матеріалів
XXXIII Міжнародної науково-практичної
інтернет - конференції
*el-conf.com.ua***



«ВЕРЕСНЕВІ НАУКОВІ ЧИТАННЯ»

16 вересня 2019 року

Частина 2



м. Вінниця

НОВІТНЯ ЛОГІСТИЧНА ОПЕРАЦІЯ ПОДАЧІ ДО ЛІТАКА ОДНОВІСНОГО ПРИЧЕПУ ЗАДНІМ РУХОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КЕРУВАННЯ МАНЕВРУВАННЯМ ДВУХЛАНКОВОЇ МОДУЛЬНОЇ МАШИНИ

Автори: ШИФР «ІННОВАЦІЯ – 19/20»

Підготовка літака до вильоту включає низку логістичних операцій, які виконуються за допомогою аеродромної техніки. Розвиток цих автомобілів у останній час йде у напрямку створення багатоланкових модульних машин, коли технологічне спец. обладнання розміщується на окремому, так званому технологічному причіпному модулі, а автомобіль (тягач) являє собою енергетичний модуль. Це надає багато практичних переваг: незалежність,

створювання модулів одне від одного, їх ремонту, виконання експлуатаційних робіт та заміну. Але для виконання логістичних операцій під'їзду до літака, потребується рішення задачі під'їзду заднім ходом такої машини(рис. 1).

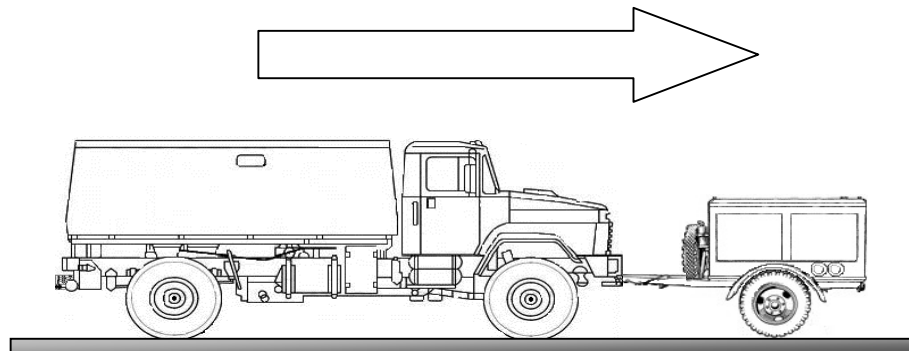


Рис. 1. - Схема двухланкової модульної машини з одним причепом, приєднаним до тягача попереду (вид з боку)

У світі немає рішення задачі руху заднім ходом, і управління маневруванням причіпних ланок автопоїзду. Досі є тільки одна технологія керування поворотом автомобільної техніки при русі як вперед, так і назад – технологія Аккермана, яка втілена у рульовій трапеції, і запатентована у 1818 році. Ця технологія математично відображується у вигляді закону керування:

$$\operatorname{ctg}\gamma_{\text{л}} - \operatorname{ctg}\gamma_{\text{пр}} = \frac{B}{L}$$

де $\gamma_{\text{л}}$, $\gamma_{\text{пр}}$ – кути повороту лівого та правого коліс,

B – відстань між точками повороту коліс,

L – відстань від поворотних коліс до неповоротних (або до точки у якої можливо розташувати неповоротні колеса).

Для керування маневруванням, при подачі причепів назад, ця технологія не забезпечує стійкість руху – причіпна ланка постійно відхиляється в сторону від необхідного напрямку.

Створений метод на основі неголономної механіки руху таких систем дозволив рішення цю проблемну задачу і синтезувати інноваційну технологію керування маневруванням. [1] Технологія дозволяє керувати за допомогою

рульового колеса автомобілю одразу двома ланками автопоїзду (рис. 2) і складається з наступних дій, їх умов, режимів, і послідовностей.

Шляхом повороту кермового колеса тягача 1 повертають його поворотні колеса, розташовані у точці 2.

1) Визначають напрямок та величину відносного кута γ_2 цих коліс (вектора швидкості \vec{V}_2 у точці 2, наприклад за допомогою датчика у кермовому колесі).

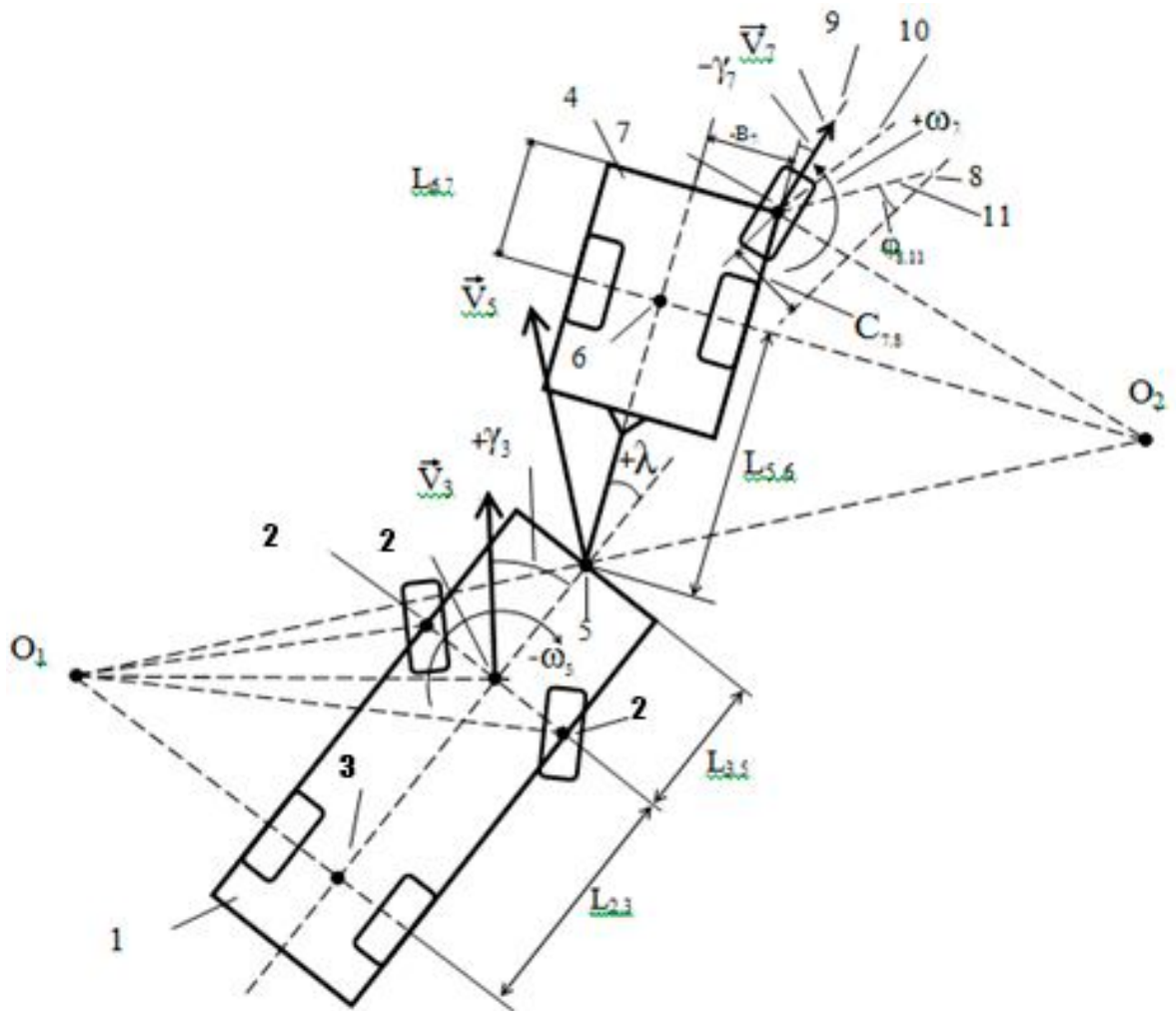


Рис. 2. - Схема конфігурації неголономної системи двохланкової модульної машини для керування маневруванням.

За позитивний напрямок усіх відносних кутів векторів швидкості приймають кут при відхиленні вектора ліворуч відносно поздовжній лінії ланки автопоїзда (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 коліс у точці 2 та неповоротних коліс, розташованих у точці 3.

Причеп 4, приєднаний до тягача 1 попереду у шарнірній 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 точці 5.

2). Одночасно визначають також напрямок та величину кута складання λ ланок автопоїзда у точці 5, який вимірюють за допомогою датчика кута. За позитивний напрямок цього кута приймають поворот причепа відносно тягача проти годинникової стрілки.

3). За отриманими результатами та з урахуванням геометричних параметрів ланок автопоїзда (L_{32} , L_{25} , L_{56} , L_{67}) та умов руху кожної ланки навколо свого миттєвого центру повороту (O_1 , O_2), визначають відносний кут повороту вектора швидкості точки стеження 7 переднього звису причепа (кут γ_7 вектору \vec{V}_7) за алгебричною формулою:

$$\gamma_7 = \arctg\left(\frac{B_7}{L_{6.7}} + \frac{L_{6.7}}{L_{5.6}} \operatorname{tg}(\lambda_5 - \arctg\left(1 + \frac{L_{3.5}}{L_{2.3}} \operatorname{tg}\gamma_6\right))\right) + (\psi_{11} - \psi_1) + \phi_{1.11},$$

де γ_7 , γ_3 – відносні кути векторів \vec{V}_7 та \vec{V}_3 відповідно;

λ_5 – кут складання;

ψ_{11} – кут лінії 11;

$\varphi_{9.12}$ – кут між лініями 9 та 12;

$V_7, L_{3.4}, L_{4.5}, L_{5.6}, L_{6.7}$ – геометричні параметри автопоїзда.

4). Для цього 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 7.

5). За допомогою визначеного кута γ_7 на причепі у точці 7 відображують отриманий напрямок вектора \vec{V}_7 у вигляді стрілки для можливості стеження за ним. Причому стеження за напрямком вектора (стрілки) виконують відносно дороги (візуальним наглядом або за допомогою гіроскопічного датчика курсу).

6). Виконують також стеження за відстаням $C_{7.8}$ точки стеження 7 від необхідної траєкторії 8 руху автопоїзда.

7). Режими повороту кермового колеса пов'язують з режимами необхідного корегування напрямку вектора (стрілки) \vec{V}_7 згідно з метою керування курсовим рухом автопоїзда.

8). Для зміни курсу руху на дорозі з існуючого напрямку 9 на необхідний напрямок 10 корегують поворотом кермового колеса поворот вектора (стрілки) \vec{V}_7 щодо його направлення у бік необхідного напрямку 10 (проти годинникової стрілки) $(+\omega_7)$. Для цього, якщо вектор (стрілка) сам не повертається у цей напрямок 10 (за рахунок повороту рами причепа та за рахунок зміни кута складання λ ланок автопоїзда), або повертається недостатньо швидко і треба прискорити цей процес, повертають кермове колесо у бік годинникової стрілки $(-\omega_2)$ з такою швидкістю, щоб отримати необхідну швидкість повороту вектора (стрілки) \vec{V}_7 . Після досягнення напрямку 10 процес припиняють.

9). Для зміни траєкторії руху автопоїзда (з існуючої траєкторії 10 або 9 на необхідну траєкторію 8) корегують поворотом кермового колеса поворот вектора (стрілки) \vec{V}_7 щодо його направлення у бік необхідної траєкторії 8 за напрямком 11 згідно з відстаням $C_{7.8}$ (проти годинникової стрілки) $(+\omega_7)$.

10). Для цього, якщо вектор (стрілка) сам не повертається у цей напрямок 11 (за рахунок повороту рами причепа та за рахунок зміни кута складання λ ланок автопоїзда), або повертається недостатньо швидко і треба прискорити цей процес, повертають кермове колесо у бік годинникової стрілки ($-\omega_2$) з такою швидкістю, щоб отримати необхідну швидкість повороту вектора (стрілки) \vec{V}_7 . Після досягнення напрямку 11 процес припиняють.

Величина відстані $C_{3R,9}$ визначає необхідну крутість нахилу напрямку 11 до траєкторії 8 (кут $\varphi_{9,12}$): чим більше величина – тим крутіше роблять нахил (більше $\varphi_{9,12}$).

Якщо траєкторія 8 криволінійна, тоді відстань $C_{3R,9}$ визначають на перпендикулярі від точки 7 до дотичної траєкторії 8.

11). При розташуванні необхідних траєкторії 8 або напрямку 10 курсового руху праворуч від існуючого напрямку (траєкторії) 9 усі повороти (вектора \vec{V}_7 та кермового колеса) змінюють на протилежні: ($+\omega_2$) та ($-\omega_7$).

Завжди виконують умову – поворот кермового колеса здійснюють у протилежному напрямку від необхідного повороту вектора (стрілки) \vec{V}_7 при корегуванні.

Таким чином синтезована технологія дозволяє здійснювати керування маневруванням одразу двох ланок автопоїзду за допомогою одного керма тягача таким чином, що можливе водію створювати будь-яку необхідну траєкторію руху попередньої точки причепа, а усі останні точки і ланки автопоїзду будуть повторювати цю траєкторію з деякою незначною боковою відстанню, як при руху у прямому напрямку. Причому досягається безумовна керованість та стійкість руху.

Література:

1. Патент: Спосіб керування курсовим рухом для буксирування штовханням одновісного причепа, приєднаного до тягача попереду: патент на корисну модель №100449 , МКИ В62D 49/04, 53/00, В.В.Кав'юк, Б.Г. Васильєв, А.П.Кудрявцева, Б.В.Крушинський, Б.О.Лисак, В.А.Мазур (Україна) №u201501055; Заявлено 10.02.2015; Опубл. 27.07.2015, Бюл. №14. -4 с.

ДОДАТОК Б

**КОПІЯ СТАТТІ “МЕТОД СТВОРЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ
МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НЕГОЛОНОМНОЇ СИСТЕМИ
БАГАТОЛАНКОВОЇ АЕРОДРОМНОЇ МОДУЛЬНОЇ МАШИНИ”**

МЕТОД СТВОРЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НЕГОЛОНОМНОЇ СИСТЕМИ БАГАТОЛАНКОВОЇ АЕРОДРОМНОЇ МОДУЛЬНОЇ МАШИНИ

Розглядаються засоби аеродромно-технічного забезпечення польотів (ЗАТЗП) повітряних суден (ПС). Розроблене метод створення узагальненої математичної моделі, яка описує маневрування багатоланкової машини з одновісними причепами для їх подачі заднім ходом. Модель інваріантна до динамічних і кінематичних параметрів руху і корисна при синтезі інноваційних технологій керування маневруванням цих машин.

***Ключові слова:** двохланкові модульні машини, керування маневруванням одновісного причепа заднім ходом, математична модель.*

ВСТУП

Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень та публікацій, мета даної роботи.

Визначено що найбільш перспективною схемою розглядаємих військових машин є модульна, коли спецобладнання розміщується на технологічних модулях відокремлено від тягачу, який уявляє собою енергетичний модуль. Але досі не визначено, яким методом вирішувати цю задачу створення модульної схеми машини, щоб провести вдосконалення і модернізацію у сучасних умовах, вирішати найгостріші сучасні проблемні задачі і визначити перспективи подальшого розвитку.

Проведений аналіз показує, що за останнє десятиріччя пошуком вдалося знайти і дослідити три найбільш вірогідних методи створення модульних машин.

Метод 1 – створення технологічного спец обладнання у вигляді модуля, який розміщується на автомобілі, але легко відокремлюється від нього.

Недоліком цього методу є лише часткове рішення проблем не модульності

машин – декілька легше від'єднувати спец обладнання від автомобілю для рішення питань ремонту, ресурсу, модернізації.

Залишаються такі недоліки: велика різноманітність марок машин парку (під кожне спец обладнання потребується індивідуальний підбір автомобіля), залишається багато дорогих спец автомобілів (аеродромна експлуатаційна техніка, машини з відбором потужності і ін.), зниження живучості в умовах маршру (неможливість у разі раптової необхідності замінити швидко непрацюючий автомобіль на будь-який інший автомобіль – відсутність уніфікації по шасі).

Метод 2 – створення парку ЗАТЗП ПС на базі шасі зчленівного трактору типу Т-150К

Цей метод незначно відрізняється від попереднього – тільки можливістю використання вітчизняного шасі, що не вирішує усі останні питання. З'являються ще додаткові недоліки – якщо у шасі разом зі спец обладнанням змінюються масові і габаритні параметри (база, маса, центр мас), то треба заново проектувати шасі, робити перерахунки і виконувати усі етапи життєвого циклу створення машини. Це потребує великих економічних вкладань і багато часу, що неприпустимо у сучасних умовах.

Метод 3 – створення парку ЗАТЗП ПС на базі автопоїзду з двовісними причепами. Проведені дослідження показали, що динамічні властивості таких машин достатні. На перший погляд цей метод дозволяє реалізувати усі переваги модульності. Але аналіз показує, що з'являються нові суттєві недоліки, які пов'язані з відсутністю (в усьому світі) жодної технології керування маневруванням при русі причепа заднім ходом. Тому виключається така логістична операція як „під'їзд до літака заднім ходом” (тактична рухомість) та швидке розсіювання колони машин на маршру при нападі противника. А це зменшує живучість.

Широке розповсюдження цього методу з'явилося за рубежом але з маленькими двовісними причепами та маленькими колесами. Це припустимо тільки для цивільної авіації (так звані „паркетні” машини), тому що у такому випадку виключається спроможність

переміщення машин ЗАТЗП ПС по існуючим дорогам та бездоріжжю для перебазування на запасні аеродроми (оперативно-тактична рухомість).

Таким чином існуючі методи не дозволяють вирішити головне питання – на базі якого шасі доцільно виконувати технологічні модулі з метою вдосконалення ЗАТЗП ПС (вирішення сучасних проблемних задач) і визначення перспектив розвитку. Досі не досліджувалося створення інноваційних технологій і новітніх логістичних операцій щодо авіаційного ОВТ, зокрема техніки військових аеродромів. Тому треба провести більш глибоке дослідження у напрямку пошуку технологій, щоб на їх базі створити метод, який дозволяє вирішити ці проблемні питання.

Найбільш ефективною схемою шасі є багатоланкова модульна машина з використанням одновісних причепів (рис.1).

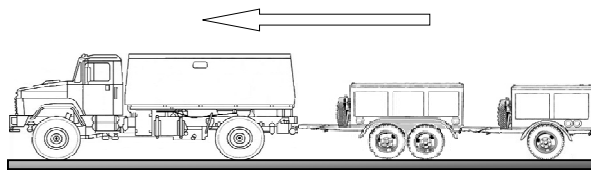


Рис. 1. Трьохланкова модульна схема з використанням одновісних причепів

Одновісні причепа, які можуть бути з декількома наближеними висями, мають суттєві переваги по зрівнянню з двовісними причепами або напівпричепами. Тільки вони мають таку адаптивну НГС, яку можна перетворювати у віртуальну для забезпечення керуваності і стійкості руху при маневруванні.

Для усіх причепів, у тому числі одновісних, є дуже суттєвий недолік, який гальмує їх практичному розповсюдженню - 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. Жодної технології керування таким маневруванням немає.

Для усіх колісних машин єдиною в усьому світі технологією повороту є технологія Аккермана (за допомогою рульової трапеції), яка запатентована 200 років тому. Однак ця технологія не дозволяє керувати поворотом 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 небезпеки і безаварійності. Тому при навчанні водіїв такий рух відпрацьовується тільки для одно ланкових автомобілів [1] (рис.2), але для двох ланкових автопоїздів він не відпрацьовується і на практиці заборонено.

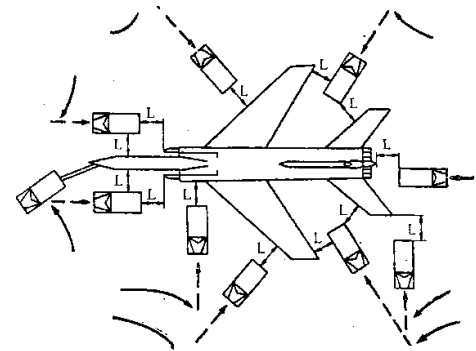


Рис.2. Під'їзд машин до літака

Потребується створення новітньої логістичної операція під'їзду до літаку заднім ходом багатоланкових модульних машин і синтез інноваційних технологій керування маневруванням таких машин, що неможливо без розробки методу створення математичної моделі неголономної системи.

У літературі наведено загальні теоретичні основи, підхід до вирішення цієї проблемної задачі та деякі початкові рішення [2–7]: у [2] – наведена умова стійкості руху неголономної системи ланок автопоїзда; у [3] – наведені загальні теоретичні положення математичного моделювання маневрування неголономних систем колісного типу; у [4,5] - отримано загальні рішення щодо можливості створення новітніх технологій, однак жодної технології у остаточному вигляді не створено; у [7] – створена іноваційна 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 [8] – наведені три інноваційні технології керування поворотом і маневруванням трьох схем модульних машин за винятком розглядаємої схеми.

Метод створення узагальненої математичної моделі НГС багатоланкових аеродромних модульних машин потрібен для синтезу інноваційних технологій керування поворотом та маневруванням і на їх основі рішення науково-практичних проблемних задач вдосконалення та перспектив розвитку цієї військової техніки.

Мета даної статті – розробка методу створення узагальненої математичної моделі неголономної системи багатоланкової аеродромної модульної машини.

Виклад основного матеріалу

Звісно, що при керуванні поворотом автомобіля існує в усьому світі тільки одна технологія („Аккерман-1818”) - водій повертає кермове колесо, рульовий привід повертає за допомогою рульовій трапеції поворотні колеса на різні кути і у разі цього усі точки і колеса рухаються по дугах з постійними радіусами. Радіуси дуг змінюються тільки при змінюванні повороту кермового колеса.

Але причіп рухається інакше – отже і при незмінному повороті кермового колеса радіуси повороту його точок у загальному випадку змінюються (по путі руху або по часу) у залежності від кута складання причепа з тягачем у шарнірі їх з’єднання.

При подачі причепа назад його рух буде нестійким у повороті – він нескінченно відхиляється у бік і миттєвий центр повороту його ніколи не наближається до миттєвого центру повороту тягача при будь-яких початкових умовах. Тому треба знайти рішення, яке стосується керування поворотом одразу двох ланок такої машини із забезпеченням стійкості обох ланок при русі назад.

Існує метод ручного керування причепом, коли причеп роз’єднують від тягача у шарнірі та штовхають його вручну. Але це потребує додатково механізації та автономної системи гальмування, тому при зростанні ваги причепа використання цього методу викликає дуже значні труднощі і знижує небезпечність технології, тим паче в умовах маневрування біля літаків.

Стосовно військової техніки, яка розглядається, НГС кожної машини являє собою послідовний ланцюг шарнірно з’єднаних ланок з деякою кількістю НГЗ, яких завжди більш ніж одиниця. Ця множина і є НГС.

Узагальнена схема модульної машини, за якою можуть бути виконані усі машини ЗАТЗП ПС представлена на рис.3 і рис.4. Вона включає в себе енергетичний модуль (тягач), до якого попереду і/або позаду шарнірно приєднані технологічні модулі. Кількість технологічних модулів може бути різноманітною.

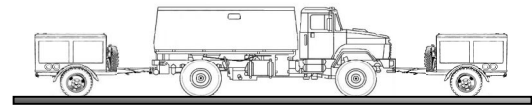


Рис. 3 - Узагальнена модель двухланкової модульної машини з одним причепом, приєднаним до тягача попереду або позаду (вид з боку)

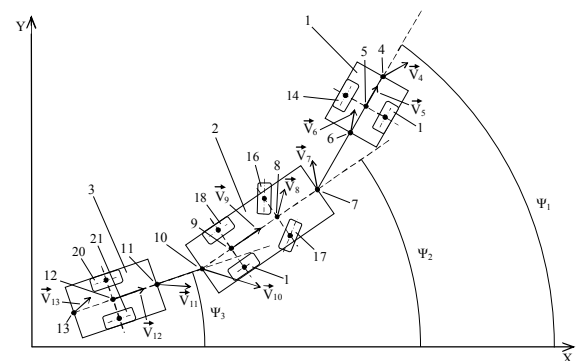


Рис. 4 - Неголономна система узагальненої моделі двухланкової модульної машини з одним причепом, приєднаним до тягача попереду або позаду (вид зверху)

Кожна колісна машина має свою конфігурацію НГС – це схема розміщення усіх

НГЗ, усіх ланок машини і шарнірних з'єднань ланок.

Для керування поворотом і маневруванням важливим є повздовжнє розташування ланок, шарнірних з'єднань та всіх НГЗ. Тому опис конфігурації починають спочатку нумерацією по-порядку ланок автопоїзду (1, 2, 3,...) і далі продовжують нумерацію на середній повздовжній лінії точок, у яких розташовані усі НГЗ, точок шарнірного з'єднання ланок (7,10,...) та точок, рух яких задається або визначається (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,...).

В точках 5, 8, 9, 12 розташовані вісі машини з колесами, які позначені додаванням літери L, якщо колесо розташоване ліворуч, і літери R – якщо праворуч: 5L, 5R, 8L, 8R, 9L, 9R, 12L, 12R. У цих точках накладений неголономний зв'язок (НГЗ) машини з дорогою, який обмежує рух цієї точки „i” тільки вздовж вектора швидкості (рис.5 і 6).

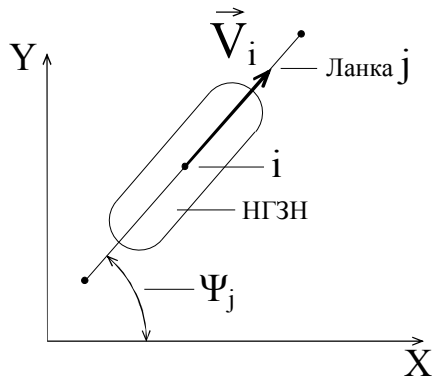


Рис.5 - НГЗ не поворотна (НГЗН)

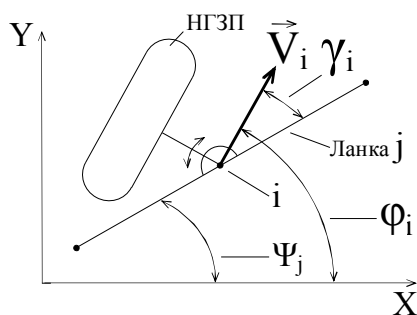


Рис.6 - НГЗ поворотна

В межах області існування НГЗ вони повністю обумовлюють траєкторії криволінійного руху всіх точок автопоїзда незалежно від динамічного навантаження. Звісно [3,4], що в аналітичній механіці усі НГЗ

описуються диференціальним рівнянням, яке не може бути розв'язане у кінцевих функціях (а може бути розв'язане тільки чисельними методами, що не дозволяє влаштовувати аналіз).

Пропонується описувати кожен НГЗ у природній системі координат (параметр часу „t” замінюється на параметр „s” – рух вздовж шляху) у параметричному вигляді і розглядати у моделі безпосередньо вектор швидкості той точки „i” машини, у якій встановлено колесо (рис.5 і рис.6). Тоді рівняння для неповоротної НГЗ (рис.5) запишуться:

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

$$\frac{dx_i}{ds_i} - \cos \psi_j = 0. \quad (2)$$

Для поворотної НГЗ (рис.6) колесо має плече обкатки, тому точка „i” знаходиться у шарнірі повороту на ланці „j”.

$$\frac{dy_i}{ds_i} - \sin(\psi_j + \gamma_i) = 0; \quad (3)$$

$$\frac{dx_i}{ds_i} - \cos(\psi_j + \gamma_i) = 0. \quad (4)$$

Кожна точка машини має свою траєкторію руху (свою координату „s_i”), тому для кожної пари точок треба додатково записати диференціальне рівняння згідно з теоремою Грасгофа :

$$\frac{ds_i}{ds_k} - \frac{\cos \gamma_k}{\cos \gamma_i} = 0, \quad (5)$$

Це дозволяє звести різні системи координат до єдиної і отримати необхідні рішення для аналізу криволінійного руху при маневруванні для будь-якої точки машини.

Такий метод еквівалентного переходу в рівняннях від параметру часу до параметру путі руху дозволяє створити адекватну математичну модель без використання будь-яких додаткових спрощень, ураховує швидкість руху та інші швидкісні параметри, ураховує усі динамічні параметри тому, що вони ураховуються у рівняннях опису НГЗ, як дійсних, так і віртуальних. Модель стає не тільки адекватною, а і інваріантною до кінематичних та динамічних параметрів. Ключовим тут є опис моделі НГЗ як дійсного вектора швидкості тій точки машини, в якій вона розташована.

Вимірювати кут дійсного вектора швидкості будь-якої точки машини можливо за допомогою датчика кута, який встановлений у само поворотне рояльне колесо і розміщений у цієї точці. Якщо такий датчик не можливо встановити у необхідній точці, то вимірюються кути векторів швидкостей двох інших точок і далі методом перерахунку визначається кут вектора швидкості необхідної точки будь-якої ланки машини.

Вплив різних параметрів конфігурації НГС на керування маневруванням відображає наступна створена класифікація НГС (рис.7 і рис.8).

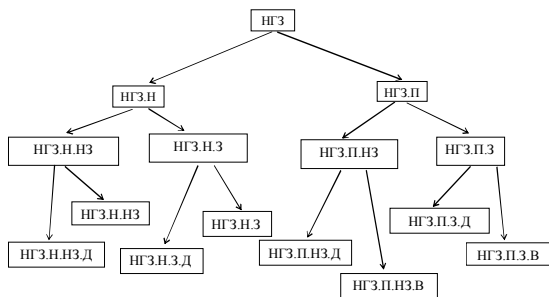


Рис. 7 - Класифікація неголономних зв'язків

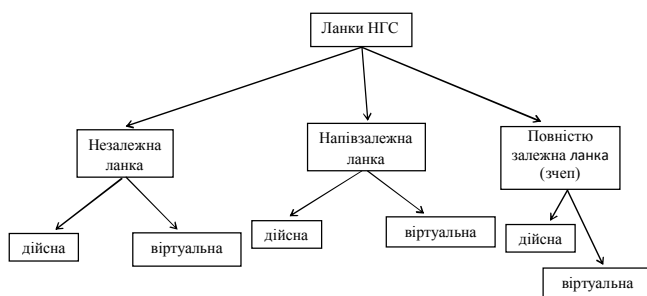


Рис. 8 - Класифікація неголономних ланок

НГЗ.Н – неголономний зв'язок неповоротний.

НГЗ.П – неголономний зв'язок поворотний.

НГЗ.Н.НЗ – неголономний зв'язок неповоротний незадаючий.

НГЗ.Н.НЗ.Д – неголономний зв'язок неповоротний незадаючий дійсний.

НГЗ.Н.НЗ.В – неголономний зв'язок неповоротний незадаючий віртуальний

НГЗ.Н.З – неголономний зв'язок неповоротний задаючий.

НГЗ.Н.З.Д – неголономний зв'язок неповоротний задаючий дійсний.

НГЗ.Н.З.В – неголономний зв'язок неповоротний задаючий віртуальний.

НГЗ.П.НЗ – неголономний зв'язок поворотний незадаючий.

НГЗ.П.З – неголономний зв'язок поворотний задаючий.

НГЗ.П.З.Д – неголономний зв'язок поворотний задаючий дійсний.

НГЗ.П.З.В – неголономний зв'язок поворотний задаючий віртуальний.

Незалежна ланка (рис.8) – така ланка, криволінійний рух якої задається тільки її двома задаючими НГЗ (точками). На рух цієї ланки при маневруванні ніяким чином не впливають шарнірні точки, які зв'язують (з'єднують) з суміжними ланками. Навпаки, ці шарнірні точки задають криволінійний рух усім суміжним ланкам, тому є для цих ланок задаючими, а для незалежної ланки – незадаючими.

Напівзалежна ланка – така ланка, криволінійний рух якої задається лише однією задаючою НГЗ, яка належить цієї ланці. А другою задаючою точкою є задаючий шарнір.

Повністю залежна ланка (зчеп) – ланка, криволінійний рух якої задається повністю задаючими НГЗ, які належать до інших (суміжних) ланок. Вплив на криволінійний рух цієї ланки здійснюється через два задаючих шарніра і повністю залежить від суміжних ланок.

Ланки, які перераховані вище, можуть бути відповідно кожна або дійсною, або віртуальною. Віртуальною будемо називати ланку, яка змінила свій тип (назву, класифікаційну ознаку) згідно з класифікацією після переходу до еквівалентних віртуальних НГЗ. У такому випадку рух ланки як і завжди здійснюється вихідними задаючими НГЗ і задаючими шарнірами, а управління маневруванням – за допомогою віртуальних задаючих НГЗ.

Таким чином, у будь-якої колісної машини усі ланки можуть бути тільки трьох типів з відповідною мінімальною кількістю задаючих НГЗ. Усі інші НГЗ є надлишковими, не впливають на криволінійний рух, тому можуть бути замінені на рояльні само поворотні колеса, виключені з розгляду керування маневруванням або зовсім відкинуті.

Шарнір являє собою голономний зв'язок. Він поєднує в собі дві точки суміжних ланок. Кожний шарнір завжди є для однієї з суміжних ланок незадаючим, а для другої ланки – задаючим. Траєкторія руху шарніра формується виключно тією ланкою, до якої він є незадаючим. При зміні типу ланки на етапі переходу до віртуальної змінюється і тип шарніру відносно до суміжних ланок.

Таким чином в усіх випадках (у будь-якої багатоланкової схеми колісної машини) маневрування кожної ланки завжди задається двома її точками (і не більше і не менше), у кожній з яких розташований або НГЗ.3 (НГЗ.П.3 або НГЗ.Н.3) або задаючий (для цієї ланки) шарнір. Причому НГЗ можуть бути як дійсні так і віртуальні задаючі.

Розроблений метод складається з послідовного виконання трьох етапів перетворення конфігурації НГС і включає в себе три складових метода виконання цих етапів: аналіз конфігурації НГС машини, яка розглядається; перехід до еквівалентної конфігурації НГС з віртуальними НГЗ і без надлишкових НГЗ (без змінювання неголономної ознаки вихідних ланок); опис криволінійного руху системою математичних рівнянь. Складові методи наведені нижче при описуванні етапів.

Для узагальненої схеми модульної машини (рис.3 і 4), перераховані етапи мають наступний вигляд.

Аналіз конфігурації НГС здійснюється методом використання класифікації НГС (рис.7 і рис.8). Він показує, що ця модульна машина має три ланки.

Ланка 1 (рис.4) – напівзалежна. Її рух заданий НГЗ.Н.3.Д, який відповідає колісній вісі, розташованій у точці 5 цієї ланки. Другою задаючою точкою є точка 7 шарнірного з'єднання з ланкою 2.

Ланка 2 – незалежна. Її рух заданий НГЗ у двох точках цієї ланки: у точці 8 розташований НГЗ.П.3.Д та у точці 9 – НГЗ.Н.3.Д.

Ланка 3 – напівзалежна. Її рух заданий НГЗ.Н.3.Д, який відповідає колісній вісі, розташованій у точці 12 цієї ланки. Другою задаючою точкою є точка 10 шарнірного з'єднання з ланкою 2.

Кожна ланка при розгляді криволінійного руху має свій кут повороту відносно осі координат ОХ: ψ_1, ψ_2, ψ_3 . За позитивний кут прийнято поворот проти годинникової стрілки.

Аналіз показує також, що задні модулі при русі машини вперед можуть не розглядатися, так як вони рухаються і повертаються самі за тягачем. Рух їх стійкий і тому ними керувати не потрібно. Аналогічно при русі назад можна не розглядати модулі, які приєднані шарнірно попереду тягача. Тому далі узагальнена схема машини може розглядатися в одному варіанті, представленою на рис.9.

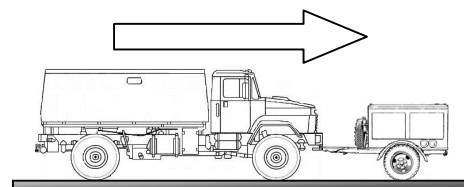


Рис. 9. - Узагальнена модель двухланкової модульної машини з одним причепом, приєднаним до тягача попереду (вид з боку) без зайвих причепів

Наступним етапом є перехід до еквівалентної конфігурації НГЗ з віртуальними НГЗ і без надлишкових НГЗ (без змінювання неголономної ознаки вихідних ланок). Метод здійснення коректного переходу укладає обов'язкове виконання принципу – неприпустимість зміни класифікаційної ознаки усіх ланок, що отримано з виконання першого етапу метода (аналіз НГС). Враховуючи цей принцип здійснюється заміна усіх дійсних НГЗ на віртуальні НГЗ, які розташовують на середньої повздожньої лінії, з'єднуючої шарнірні точки кожної ланки, а усі надлишкові НГЗ відкидають (рис.7). Далі перевіряється коректність здійсненого переходу на кожній ланці і починають виконувати наступний етап.

Третій етап є заключним. Математичний опис повинен дозволити отримати рішення різноманітних задач криволінійного руху при маневруванні, головною з яких є одержання закону керування і синтезу інноваційних технологій керування поворотом і маневруванням, які є основою для створення новітніх логістичних операцій під'їзду до літаку, методів вдосконалення ЗАТЗ польотів та перспектив їх розвитку.

Слід відмітити, що керування маневруванням суттєво відрізняється від керування поворотом. При керуванні поворотом водій за допомогою кермового колеса задає радіус повороту усіх точок тягача. Якщо водій далі не змінює поворот кермового колеса, то і радіуси усіх точок будуть залишатися незмінними – усі точки будуть рухатись по дугах з постійними радіусами. Цей рух задає закон керування і технологія керування "Аккерман-1818".

При керуванні маневруванням, наприклад біля літака, ціллю керування є здійснення обхідного маневру, щоб уникнути зіткнення: змінити курс руху, або утримувати необхідний курс, змінити траєкторію руху, радіус якої принципово відрізняється від радіуса повороту точки машини, та ін. Тому математична модель повинна бути загальною як для керування поворотом, так і для керування маневруванням та дозволити доповнити її для рішення двох наступних задач, які суттєво відрізняються одна від одної

– синтез технології керування поворотом і синтез технології керування маневруванням.

Розроблений метод математичного моделювання заключається у наступному.

Спочатку записуються у природній системі дугових координат математичні рівняння задаючих НГЗ у параметричному вигляді (6) – (11), а також диференційні рівняння (12) – (14), які описують згідно з теоремою Грасгофа зв'язки дугових координат відповідних пар точок, позначених у індексах (кожна НГЗ і кожна точка машини має свою дугову координату):

$$\frac{dy_4}{ds_4} - \sin \psi_1 = 0, \quad (6)$$

$$\frac{dx_4}{ds_4} - \cos \psi_1 = 0, \quad (7)$$

$$\frac{dy_7}{ds_7} - \sin(\psi_2 + \gamma_7) = 0, \quad (8)$$

$$\frac{dx_7}{ds_7} - \cos(\psi_2 + \gamma_7) = 0, \quad (9)$$

$$\frac{dy_8}{ds_8} - \sin \psi_2 = 0, \quad (10)$$

$$\frac{dx_8}{ds_8} - \cos \psi_2 = 0, \quad (11)$$

$$\frac{ds_8}{ds_7} - \cos \gamma_7 = 0, \quad (12)$$

$$\frac{ds_7}{ds_6} - \frac{\cos \gamma_{6,2}}{\cos \gamma_7} = 0, \quad (13)$$

$$\frac{ds_6}{ds_4} - \frac{1}{\cos \gamma_{6,1}} = 0, \quad (14)$$

Далі система доповнюється рівняннями (15) – (23), які описують голономні зв'язки (лінійні або кутові):

$$L_{7,8} \sin \psi_2 - y_7 + y_8 = 0, \quad (15)$$

$$L_{7,8} \cos \psi_2 - y_7 + y_8 = 0, \quad (16)$$

$$L_{6,7} \sin \psi_2 - y_6 + y_7 = 0, \quad (17)$$

$$L_{6.7}\cos\psi_2 - y_6 + y_7 = 0, \quad (18)$$

$$L_{4.6}\sin\psi_1 - y_4 + y_6 = 0, \quad (19)$$

$$L_{4.6}\cos\psi_1 - x_4 + x_6 = 0, \quad (20)$$

$$L_{7.8}\operatorname{tg}\gamma_{6.2} - (L_{7.8} + L_{6.7})\operatorname{tg}\gamma_7 = 0, \quad (21)$$

$$\lambda_6 - \psi_1 + \psi_2 = 0, \quad (22)$$

$$\lambda_6 - \gamma_{6.2} + \gamma_{6.1} = 0. \quad (23)$$

Рішення наведеної системи рівнянь дозволяє отримати математичний зв'язок між необхідними параметрами руху будь-яких двох точок будь-якої ланки машини або будь-яких двох ланок, які не обов'язково суміжні. Це необхідно для отримання закону керування поворотом і закону керування маневруванням, які є основою для синтезу інноваційних технологій керування. Технології керування поворотом і маневруванням відрізняються одна від одної (так само, як і задачі), тому їх треба розглядати самостійно для кожної конструктивно-компонувальної схеми машини.

Створена математична модель дозволяє вирішувати питання забезпечення стійкості руху при повороті або при маневруванні.

Умови стійкості руху машин які розглядаються мають наступний вид:

$$Z < K, \quad (24)$$

$$i < j, \quad (25)$$

де: Z – номер віртуальної ланки з НГЗ.П.З.В;

K – номер будь-якої іншої ланки машини;

i – номер віртуальної НГЗ.П.З.В ланки Z ;

j – номер НГЗ.Н.З.Д або НГЗ.Н.З.В ланки Z .

Причому для забезпечення стійкості руху у повороті достатньо виконання тільки умови (24), а для стійкості при маневруванні необхідно і умови (25).

Наведений метод для узагальненої схеми машини дійсний і при розташуванні декількох одновісних причепів, які можуть бути розташовані попереду або/і позаду

тягача, але декілька ускладнюється і потребує корекції

Список літератури

1. Про затвердження Курсу водіння автомобілів і гусеничних транспортів-тягачів (КВ-2009): наказ начальника Генерального штабу-Головнокомандувача Збройних Сил України від 27.03.2009 р. № 37. / М-во оборони України.

2. Кириченко В.В. Оцінка можливості руху енерготехнологічних агрегатів блочно-модульної структури для наземного забезпечення польотів авіації на основі тракторного потягу при тільки передніх ведучих колесах // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. № 2 (30). – С. 76 - 78.

3. Повышение маневренности и мобильности модульных машин аэродромно – технического обеспечения полетов авиации / Б.Г. Васильев, 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.

4. Решение проблемных задач модульного построения средств аэродромно-технического обеспечения полётов / Н.Н. Момот, Б.Г. Васильев, Ю.В. Ба-истов, Р.В. Гунько, К.В. Койдан // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1(34). – С. 54-59.

5. Кириченко В.В. Рішення проблемних задач перспектив розвитку засобів аэродромно – 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.

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

7. Спосіб керування поворотом автопоїзда для подачі заднім ходом буксирюемого 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 іни., №и201503005; Заявлено 31.03.2015; Опубл. 10.09.2015, Бюл. №17.-6с.

ДОДАТОК В

КОПІЯ ЗАЯВНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПАТЕНТ

”ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ ПОВОРОТОМ ДВОЛАНКОВОГО

АВТОПОЇЗДУ ДЛЯ ПОДАЧІ ЗАДНІМ ХОДОМ БУКСИРОВАНОГО

ПОЗАДУ ОДНОВІСНОГО ПРИЧЕПА З НЕПОВОРОТНИМИ

КОЛЕСАМИ“

ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ ПОВОРОТОМ ДВОЛАНКОВОГО АВТОПОЇЗДУ ДЛЯ ПОДАЧІ ЗАДНІМ ХОДОМ БУКСИРОВАНОГО ПОЗАДУ ОДНОВІСНОГО ПРИЧЕПА З НЕПОВОРОТНИМИ КОЛЕСАМИ

Запропонована корисна модель належить до автомобільної техніки та може бути використана при розробці та експлуатації дволанкових автопоїздів, які потребують часте або тривале керування поворотом для подачі заднім ходом одновісного причепа з неповоротними колесами в умовах нестандартних траєкторій руху (біля літака, на складських та будівельних майданчиках, у лісі та ін.).

Найбільш близьким до запропонованого технічним рішенням, обраним як прототип, є ”пристрій керування поворотом дволанкового автопоїзду для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа з неповоротними колесами [1, с.173], який складається з рульового керування поворотними колесами автомобіля“.

Недоліком пристрію-прототипу є те, що у його складі відсутні датчики і прилади, які б дозволяли відстежувати положення причепа відносно автомобіля і дороги та враховувати при керуванні поворотом автопоїзда для руху по дугах с постійними радіусами або бажане змінювання радіусів – зменшення або збільшення. Це призводить до неможливості подачі причепа заднім ходом – рух його зовсім некерований і траєкторне нестійкий, він постійно відхиляється праворуч або ліворуч до неприпустимо великого кута складання його рами з рамою автомобіля.

В основу корисної моделі поставлена задача створити пристрій керування поворотом дволанкового автопоїзду для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа з неповоротними колесами, який забезпечить

можливість здійснення повороту з постійними радіусами або бажане змінювання радіусів (зменшення або збільшення) з урахуванням змін кута складання ланок автопоїзда у процесі руху.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що до пристрою керування поворотом дволанкового автопоїзда для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа з неповоротними колесами, який складається з рульового керування поворотними колесами автомобіля включене датчик кута повороту коліс автомобілю, датчик кута складання рами автомобіля з рамою одновісного причепа, система відео спостереження за дорогою і причепом на фоні дороги, оглядова панель і електронно-обчислювальний прилад перетворення вхідних сигналів у вихідний результатний сигнал згідно алгебричної формули

$$\gamma_{16} = -\arctg \frac{L_{2,16}}{L_{2,4}} \operatorname{tg}(\lambda_4 + \arctg(\frac{L_{4,6}}{L_{6,8}} \operatorname{tg}\gamma_8)), \text{ де } \gamma_{16} - \text{відносний кут вектора}$$

швидкості \vec{V}_{16} точки стеження причепа; λ_4 – кут складання ланок автопоїзда; γ_8 – відносний кут повороту коліс автомобіля; $L_{2,16}, L_{2,4}, L_{4,6}, L_{6,8}$ – геометричні параметри автопоїзда.

Причому обидва датчики кута електричне з'єднані із входами електронно-обчислювального приладу, вихід якого з'єднань з одним входів оглядової панелі, другий вхід якої з'єднань з системою відео спостереження.

Технічний результат, який може бути отриманий при здійсненні корисної моделі полягає у вирішенні проблеми повороту дволанкового автопоїзда при подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа з неповоротними колесами для забезпечення керованості та стійкості руху, підвищенні маневреності та безпеки руху, розширенні можливої сфери застосування схеми дволанкових автопоїздів для машин, які потребують часте або тривале керування поворотом для подачі заднім ходом одновісного причепа

з неповоротними колесами в умовах нестандартних траєкторій руху (біля літака, на складських та будівельних майданчиках, у лісі та ін.).

На фіг. 1 наведена схема руху у повороті дволанкового автопоїзда, для керування яким призначений пропонуємий пристрій.

На фіг. 2 наведена функціональна блок-схема пристрою.

Пристрій керування поворотом дволанкового автопоїзду для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа 1 (фіг.1), у якого розташовані у точці 2 неповоротні колеса 3 і який приєднаний шарнірно у точці 4 до автомобілю (тягачу) 5, у якого розташовані у точці 6 неповоротні колеса 7, а у точці 8 – поворотні колеса 9, складається з рульового керування 10 (фіг.2) поворотними колесами 9 автомобіля 5.

До складу пристрою додатково включене датчик 11 відносного кута γ_8 повороту колес 9 (відносно рами автомобілю 5), датчик 12 кута λ_6 складання рами автомобіля 5 з рамою одновісного причепа 1, система 13 відео спостереження за дорогою і причепом 1 на фоні дороги, оглядова панель 14 і електронно-обчислювальний прилад 15 перетворювання вхідних сигналів у вихідний результатний сигнал згідно алгебричної формули

$$\gamma_{16} = -\arctg \frac{L_{2.16}}{L_{2.4}} \operatorname{tg}(\lambda_4 + \arctg(\frac{L_{4.6}}{L_{6.8}} \operatorname{tg}\gamma_8)), \text{ де } \gamma_{16} - \text{відносний кут вектора}$$

швидкості \vec{V}_{16} точки стеження 16 причепу 1; λ_4 – кут складання ланок 1 і 5 автопоїзда; γ_8 – відносний кут повороту коліс 9 у точці 8; $L_{2.16}, L_{2.4}, L_{4.6}, L_{6.8}$ – геометричні параметри автопоїзда. За позитивний напрямок усіх відносних кутів прийнято поворот проти годинникової стрілки відносно рами. За позитивний напрямок кута складання прийнято поворот проти годинникової стрілки рами причепу 1 відносно рами автомобіля 5.

В якості точки стеження 16 може бути будь-яка точка рами причепу 1, яка розташована на відстані від неповоротних коліс 3 причепу 1 (тобто від точки 2).

Обидва датчики 11 і 12 кутів електричне з'єднані із входами електронно-обчислювального приладу 15, вихід якого з'єднань з одним із входів оглядової панелі 14, другий вхід якої з'єднань з системою відеоспостереження 13.

Пристрій працює наступним чином.

Рульове керування 10 перетворює поворот рульового колеса, яке розташоване на вході рульового керування, в поворот коліс 9, які розташовані на виході рульового керування. Датчик 11, який може бути розташований у будь-якій точці рульового керування 10, вимірює відносний кут γ_8 (відносно рами автомобіля 5) повороту коліс 9 у точці 8 і посилає відповідний сигнал в один із входів електронно-обчислювального приладу 15.

Датчик 12 вимірює кут складання λ_4 у точці 4 ланок 1 і 5 автопоїзда і посилає відповідний сигнал на другий вхід електронно-обчислювального приладу 15, який перетворює отримані обидва вхідних сигнали у вихідний результатний сигнал згідно наведеної алгебричної формули і посилає його на один із входів оглядової панелі 14.

Система відеоспостереження 13 посилає відповідний сигнал о причепі на фоні дороги на другий вхід оглядової панелі 14, яка відображає на екрані для водія зображення дороги, причепу на фоні дороги, на які накладанні данні о розмірі та напрямку (ліворуч або праворуч) відносного кута вектора швидкості у точки стеження 16, які отримані на перший вхід оглядової панелі. Якщо розмір кута у точки 16 не змінюється, то колеса причепу рухаються у повороті з постійними радіусами, якщо розмір кута збільшується, то радіуси зменшуються (тобто поворот стає більш крутішим), а якщо зменшується – то радіуси збільшуються (тобто поворот стає менш крутішим).

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

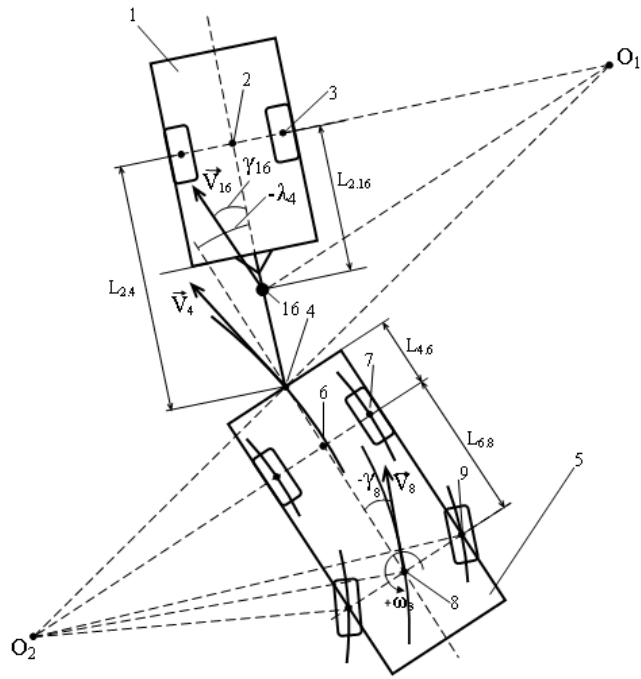
1. Трактори та автомобілі. Ч.3. Шасі: Навч. посібник / А.Т. Лебедєв, В.М. Антощенко, М.Ф. Бойко та ін.; За ред. проф. А.Т. Лебедєва. – К.: Вища освіта, 2004. – 336 с.: іл..

ЗАСТУПНИК НАЧАЛЬНИКА УНІВЕРСИТЕТУ

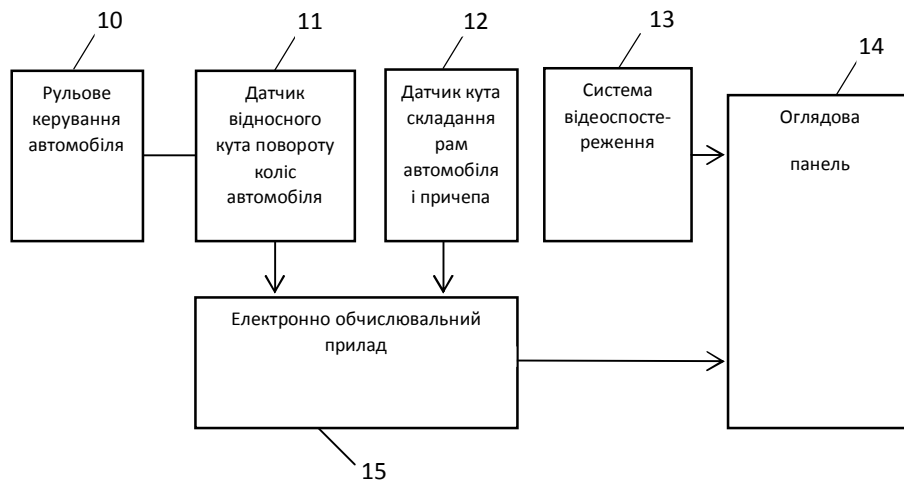
З НАУКОВОЇ РОБОТИ

Шифр: ІННОВАЦІЯ – 19/20

АВТОРИ: Шифр: ІННОВАЦІЯ – 19/20



Фіг.1



Фіг.2

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій керування поворотом дволанкового автопоїзда для подачі заднім ходом буксированого позаду одновісного причепа з неповоротними колесами, який складається з рульового керування поворотними колесами автомобіля, який відрізняється тим, що до складу включене датчик кута повороту коліс автомобілю, датчик кута складання рами автомобіля з рамою одновісного причепа, система відео спостереження за дорогою і причепом на фоні дороги, оглядова панель і електронно-обчислювальний прилад перетворювання вхідних сигналів у вихідний результатний сигнал згідно алгебричної формули

$$\gamma_{16} = -\arctg \frac{L_{2.16}}{L_{2.4}} \operatorname{tg}(\lambda_4 + \arctg(\frac{L_{4.6}}{L_{6.8}} \operatorname{tg}\gamma_8)), \text{ де } \gamma_{16} - \text{відносний кут вектора швидкості}$$

\vec{V}_{16} точки стеження причепа; λ_6 – кут складання ланок автопоїзда; γ_8 – відносний кут повороту коліс автомобіля; $L_{2.16}, L_{2.4}, L_{4.6}, L_{6.8}$ – геометричні параметри автопоїзда, причому обидва датчики кутів електричне з'єднані із входами електронно-обчислювального приладу, вихід якого з'єднань з одним із входів оглядової панелі, другий вхід якої з'єднань з системою відео спостереження.

ЗАСТУПНИК НАЧАЛЬНИКА УНІВЕРСИТЕТУ

З НАУКОВОЇ РОБОТИ

Шифр: ІННОВАЦІЯ – 19/20

АВТОРИ: Шифр: ІННОВАЦІЯ – 19/20