

1
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Гуменюк Павло Олександрович

УДК 629.113

**ПОЛІПШЕННЯ МАНЕВРНОСТІ І СТІЙКОСТІ АВТОПОЇЗДА З
КЕРОВАНИМ НАПІВПРИЧЕПОМ**

Автомобілі та трактори – Спеціальність 05.22.02

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Автомобілі» Національного транспортного університету і на кафедрі «Автомобілі і транспортні технології» Луцького національного технічного університету (ЛНТУ) Міністерства освіти і науки України, м. Луцьк.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Кузнєцов Руслан Михайлович,
Луцький національний технічний університет,
доцент кафедри «Автомобілі і транспортні технології».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Поляков Андрій Павлович,
Вінницький національний технічний університет,
професор кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент»;

кандидат технічних наук
Попович Віталій Васильович,
Національний університет «Львівська політехніка», старший викладач кафедри «Автомобілебудування».

Захист відбудеться «28» жовтня 2015 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К35.052.20 в Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, корп. XIV, ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1

Автореферат розісланий « »

2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Боднар М.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний стан розвитку рухомого складу автомобільного транспорту характеризується різноманіттям типів і видів автомобілів, причепів і напівпричепів. Нарівні з найбільш поширеними двовісними автомобілями з передніми керованими колесами отримують все більший розвиток нові конструкції з іншими компоновальними схемами і системами управління поворотом: автомобілі і автопоїзди з усіма керованими колесами, багатовісні автомобілі з різним числом і розташуванням керованих коліс, машини з неповоротними колесами, зчленовані колісні машини тощо. Тим часом продуктивність, особливо автопоїздів, істотно залежить від їх рухливості. Підвищення рухливості досягається вдосконаленням якості криволінійного руху автопоїзда, яке крім основної своєї оцінки - маневреності характеризується рядом інших додаткових властивостей, а саме керованістю, стійкістю руху і повороткістю.

Для поліпшення маневреності довгобазових автопоїздів потрібно управляти напівпричепами, причому синтез закону управління представляє складну задачу. Чим більш досконала система управління поворотом, тим менше відхилення траєкторії возика напівпричепа від траєкторії тягача при русі автопоїзда. У зв'язку з цим є актуальним вибір закону управління веденими ланками автопоїздів, а також пошук шляхів і можливостей поліпшення показників їх стійкості і маневреності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до НДР “Дослідження механіки та енергетики автомобілів і автопоїздів” № держреєстрації 0104U003346 та “Теоретичні основи та практичні методи комплексного вирішення проблеми раціонального вибору дво- та триланкових автопоїздів для міжміських та міжнародних перевезень вантажів” № РК 0104U003341, що виконуються кафедрою “Автомобілі” Національного транспортного університету у співдружності з кафедрою «Автомобілів і транспортних технологій» Луцького національного технічного університету

Метою роботи є підвищення показників маневреності і стійкості сидельних автопоїздів шляхом оптимізації їх конструктивних параметрів, а також раціонального вибору закону управління колесами (осями) напівпричепів як при русі вперед, так і заднім ходом. Відповідно до цього **задачі дослідження** визначені таким чином:

- провести аналіз систем управління причіпними ланками сидельних автопоїздів;
- розробити алгоритм управління керованою віссю напівпричепа, за якого траєкторія його характерної точки співпадає з траєкторією характерної точки автомобіля-тягача;
- визначити показники маневреності автопоїзда із різними системами управління напівпричепом;
- розробити математичну модель для визначення стійкості руху автопоїздів із різними системами управління напівпричепами та виконати комп'ютерне моделювання руху автопоїзда із різними системами управління напівпричепом;
- розробити масштабну модель автопоїзда, експериментально перевірити адекватність розробленої математичної моделі для визначення показників маневреності і стійкості автопоїздів з керованим напівпричепом.

- розробити рекомендації щодо поліпшення показників маневреності і стійкості автопоїзда з керованим напівпричепом.

Наукову новизну роботи складають:

- закон управління керованими колесами напівпричепа, за якого забезпечується співпадіння характерних точок автомобіля-тягача і напівпричепа;

- алгоритм управління керованими колесами напівпричепа при русі автопоїзда заднім ходом, за якого відсутнє складання його ланок;

- порівняльна оцінка показників стійкості, а саме критичної швидкості і порогової швидкості початку коливальної нестійкості, яка дозволяє підбирати та оптимізувати параметри системи управління напівпричепом та автопоїздом в цілому, завдяки чому забезпечується стійкість його руху в межах експлуатаційних навантажень та швидкостей.

Достовірність результатів дослідження забезпечена коректним використанням існуючих математичних методів і основних положень теоретичної механіки і теорії автомобіля, застосуванням сучасної контрольно-виміральної апаратури і засобів математичного опрацювання результатів експериментальних досліджень моделі автопоїзда і підтверджується задовільним збігом результатів аналітичних і експериментальних досліджень.

Практичне значення результатів роботи складає розроблений закон управління колесами напівпричепа, який дозволяє за заданими конструктивними параметрами прогнозувати маневреність і стійкість автопоїзда на стадії проектування, скорочуючи при цьому час і витрати на створення нових і модернізацію існуючих автопоїздів.

Розроблена математична модель керованого руху автопоїзда, методика і програма розрахунку оціночних показників і характеристик маневреності цього автопоїзда, а також результати розрахунково-теоретичних досліджень можуть бути використані заводами і проектними організаціями автомобільної промисловості при створенні нових зчленованих транспортних засобів як на стадії проектування, так і при їх доводці. Застосування запропонованої системи управління колесами напівпричепа дозволяє зменшити габаритну смугу руху автопоїзда в середньому на 25 % і забезпечити його рух заднім ходом без складання ланок.

Реалізація роботи Матеріали дисертаційної роботи прийняті для впровадження в ДП «ДержавтотрансНДІпроект» для визначення показників маневреності і стійкості автопоїздів з керованим напівпричепом і ТОВ «ВЕЛТЕСТ» при порівняльних випробуваннях та аналізі показників маневреності та стійкості руху автопоїздів з керованими і некерованими напівпричепами.

Особистий внесок здобувача. Основні розв'язки, результати, висновки та рекомендації, що наведені у дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. Роботи [2, 31] написані самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві, здобувачу належать: [1] – проаналізовано фактори, що впливають на коефіцієнт опору відведення шин коліс автопоїзда; [3] – проведено вибір приладів апаратного забезпечення систем моніторингу автомобільних перевезень; [4] – проаналізовані складові системи ESP; [5] – проаналізовано вплив системи управління напівпричепом триланкового автопоїзда на показники маневреності; [6] – аналіз приводів управління; [7] – вибір приладів та обладнання для експериментального

дослідження маневреності автомобільного поїзда; [8] – аналіз методів визначення моменту інерції автомобіля; [9] – вибір вихідних даних для розрахунку параметрів руху автопоїзда заднім ходом; [10] – порівняльна оцінка приводів управління напівприцепом; [11] – визначення показників маневреності автопоїзда-контейнеровоза; [12] – порівняльна оцінка маневреності автопоїздів з керованим і некерованим напівприцепом; [13] – оснащення автомобільного поїзда приладами і засобами для оцінки маневреності; [14] – аналіз факторів, що впливають на критичну швидкість автопоїзда; [15] – аналіз показників маневреності автопоїзда-контейнеровоза; [16] – визначення показників маневреності автопоїзда з керованим напівприцепом; [17] – розроблено алгоритм управління напівприцепом, в основу якого покладена залежність між кутами повороту керованих коліс (осі) напівпричепа у функції кута складання автопоїзда; [18] – встановлена залежність складової бічного прискорення від бази автомобіля-тягача, яка може слугувати одним із основних критеріїв стійкості автопоїзда; [20] – визначення показників маневреності автопоїзда з керованим напівприцепом; [21] – програма і методика випробувань автопоїзда з керованим напівприцепом; [23] – аналіз засобів моделювання електронних систем автомобіля; [24] – розробка програмного забезпечення для керування фізичною моделлю автопоїзда; [26] – аналіз характеристик бічного відведення осей транспортного засобу з різним навантаженням; [27] – запропоновано механізм забезпечення стійкого руху автопоїзда заднім ходом; [28] – аналіз систем управління поворотом; [29] – визначені параметри стійкості автопоїзда з керованим напівприцепом.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях професорсько-викладацького складу і студентів Національного транспортного університету (Київ НТУ 2011 [22], 2012 [23], 2013 [25] рр.); на VI Міжнародній науково-практичній конференції “Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти” (Донецьк, ДААТ, 2011р. [5]); на VI Міжнародній науково-практичній конференції “Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту”, жовтень 2013 р., Вінниця [19], на Міжнародній науково-практичній конференції “Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей”, травень 2014 р., Луцьк [26]; на XX Научно-технической конференции с международно участие «Транспорт, экология – устойчиво развитие», май 2014, Варна [28]; на VIII Международной научно-технической конференции «Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств» - Пенза 2014 [30].

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень відображені у 21 друкованій роботі, 1 патенті на корисну модель та 1 авторському свідоцтві на програмне забезпечення.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків і додатків. Повний обсяг дисертації складає 175 сторінок тексту, у тому числі 155 сторінок основного тексту, 66 рисунків, 4 таблиці та 2 додатки. Список використаних джерел містить 116 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертації обґрунтовано актуальність вибраної теми, сформульовано мету та задачі дослідження, наукову новизну результатів та їх

практичне значення, надані відомості про апробацію та публікацію основних положень дисертаційної роботи.

У **першому** розділі виконано аналіз задач розрахунків маневрених властивостей автопоїздів та підходів до вивчення питання їх керованості. Розглянуто математичні моделі динаміки прямолінійного та криволінійного руху автопоїзда. Показано, що правильний вибір технічних параметрів і використання систем активної безпеки дозволяють уникнути нестійкості і знизять ймовірність складання автопоїзда. Також розглянуто засоби моделювання, які дозволяють з високою точністю копіювати поведінку системи для відтворення і аналізу динамічної поведінки транспортних засобів.

На підставі проведеного аналізу сформульована мета та завдання дослідження.

У **другому** розділі показано, що покращення маневрених властивостей автопоїздів досягається за рахунок вибору відповідної системи управління колесами (осями) причіпних ланок. При цьому постійні значення передаточних відношень приводу управління забезпечують рух напівпричепа по траєкторії тягача тільки на колових траєкторіях постійного радіуса. Практично такі повороти зустрічаються крайнє рідко. Часто автопоїзд здійснює повороти по вхідним і вихідним перехідним траєкторіям, на яких постійне передаточне відношення приводу управління приводить до зміщень траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача. В інтенсивному транспортному потоці автомобілів і автопоїздів такі зміщення траєкторій не бажані, бо вони можуть стати причиною дорожньо-транспортних пригод. Тому доцільним є створення таких систем управління, які забезпечили б рух усіх ланок автопоїзда по одному сліду. Назвемо таку систему оптимальною і розглянемо теоретично необхідний закон зміни передаточного відношення приводу управління для різних видів повороту.

Нехай задані координати характерної точки автомобіля-тягача $O_i (u_i, v_i)$. Необхідно визначити координати управляючої точки напівпричепа (точки, яка знаходиться посередині керованої осі напівпричепа), що знаходиться на відстані L (відстань від точки зчипки тягача з напівприцепом до задньої керованої осі напівпричепа), тобто точки $A_i (x_i, y_i)$, рис. 1.

У початковий момент руху координати характерної точки автомобіля-тягача $O_0 (0,0)$, координати характерної точки напівпричепа $A_0 (0, -L)$.

Нехай автомобіль-тягач перемістився із положення O_{i-1} в положення O_i . Нахил дотичної до траєкторії автомобіля-тягача у точці O_i визначиться залежністю:

$$y'_i = \frac{\frac{v_i - v_{i-1}}{u_i - u_{i-1}}(u_{i+1} - u_i) + \frac{v_{i+1} - v_i}{u_{i+1} - u_i}(u_i - u_{i-1})}{(u_{i+1} - u_{i-1})} \quad (1)$$

Тангенс кута нахилу променя або кутовий коефіцієнт прямої $A_{i-1}O_i$ відповідно

$$k_{2i} = \frac{v_{i-1} - y_{i-1}}{u_{i-1} - x_{i-1}} \quad (2)$$

Кут між променем $A_{i-1}O_i$ і дотичною до траєкторії автомобіля-тягача визначиться як

$$\alpha = \arctg \frac{k_{1i} - y_i'}{1 + k_{1i} y_i'} \quad (3)$$

Кут між променем $A_{i-1}O_i$ і $A_{i-1}O_{i-1}$, позначений через β , визначиться як

$$\beta_i = \alpha = \arctg \frac{k_{2i} - k_{1i}}{1 + k_{1i} k_{2i}} \quad (4)$$

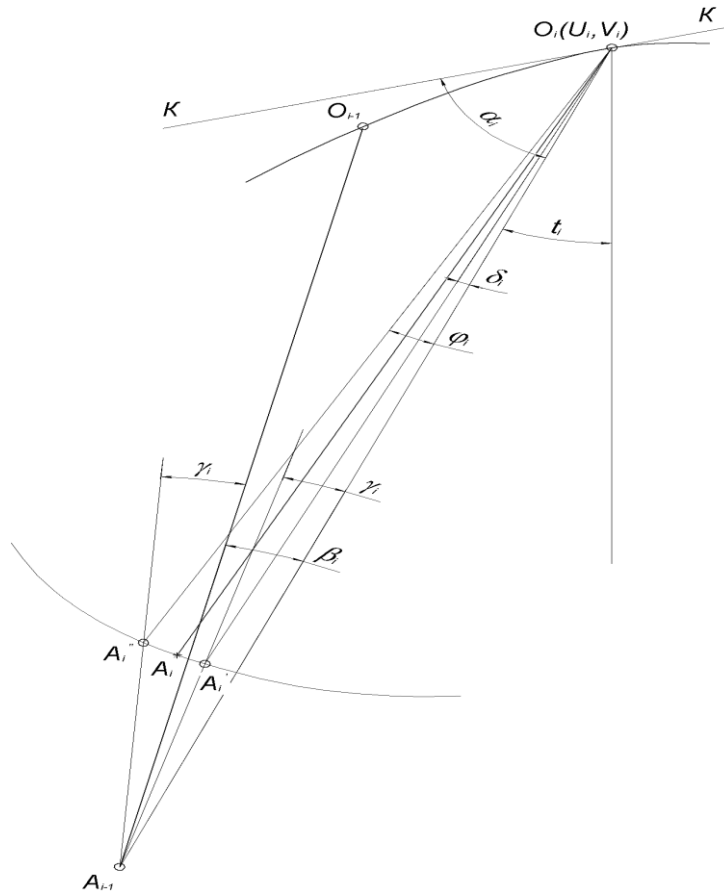


Рисунок 1 – До визначення координат траєкторії керованої осі напівпричепа

Кут повороту керованої осі (середній кут повороту керованих коліс) напівпричепа визначиться як

$$\gamma = \frac{\alpha}{u_{i0}} \quad (5)$$

або передаточне відношення приводу у цій точці

$$u_{i0} = \frac{\alpha}{\gamma} \quad (6)$$

Аналогічно знаходиться кут повороту керованої осі напівпричепа і для інших стадій повороту автопоїзда.

У розглянутому алгоритмі допущена неточність, обумовлена тією обставиною, що значення кута складання α_i на кожному кроці визначається дотичною до траєкторії тягача і променем $A_{i-1}O_i$, а не променем A_iO_i , положення якого в момент

визначення координат точки A_i залишається невідомим. Це може призвести до певної похибки при побудові траєкторії руху напівпричепа, яку можна оцінити тільки у процесі виконання розрахунків.

Даний алгоритм був реалізований у програмі розрахунків на персональному комп'ютері (ПК) координат точок A_i і B_i , що визначають положення керованої осі напівпричепа на будь-якій кривій, якою рухається тягач, і передаточного відношення приводу управління у кожній точці.

Розрахунки виконані для автопоїзда у складі автомобіля-тягача КамАЗ 6460 з базою 3020 мм і відстанню між задніми осями 1430 мм і напівпричепа Schmitz Cargobull AG 24/LZG, колісна база якого 8075 мм, відстань від першої до другої осі 1310 мм, від другої до третьої – 1810 мм, колія 2425 мм.

На рис. 2 наведена залежність передаточного відношення приводу управління керованою віссю напівпричепа від кута повороту керованих коліс тягача за різних значень режимного повороту K_p .

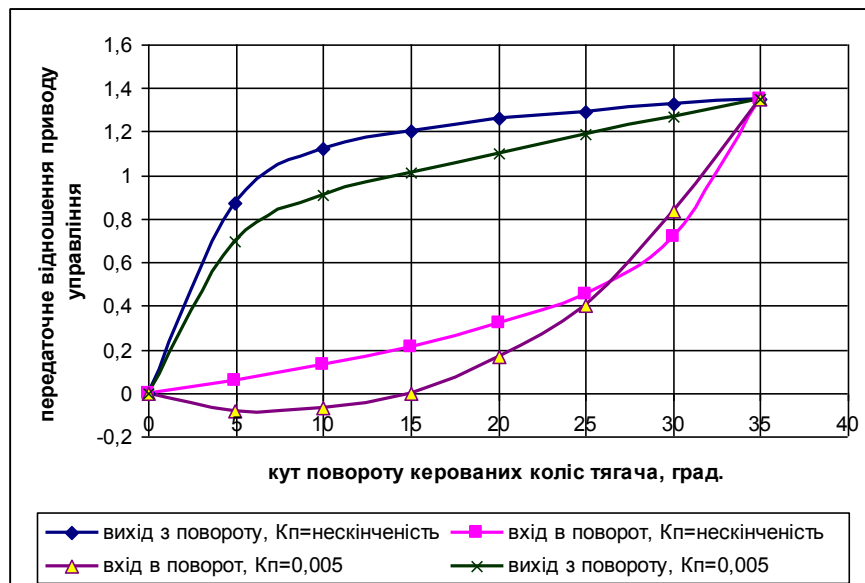


Рисунок 2 – Залежність передаточного відношення приводу управління керованою віссю напівпричепа від кута повороту керованих коліс тягача

Аналіз траєкторій руху напівпричепа при русі автопоїзда перехідними кривими показав, що кут складання автопоїзда у момент виходу напівпричепа на перехідну траєкторію (з прямолінійної) не перевищує $2,8^{\circ}$, а зміщення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача у цій точці – 0,19 м.

З точки зору кінематики повороту, розроблений закон управління керованими колесами (віссю) напівпричепа справедливий як при русі автопоїзда вперед, так і заднім ходом, проте потребує уточнення з урахування сил і моментів, що діють на ланки автопоїзда, як при русі вперед, так і заднім ходом.

У третьому розділі уточнена математична модель автопоїзда з урахуванням закону управління керованою віссю напівпричепа.

Автопоїзд, що розглядається, рис.3, складається із автомобіля-тягача і напівпричепа з керованою задньою віссю. В автомобілі-тягачі передня вісь має керовані колеса, кути повороту яких θ_1 і θ_1' , причому $\theta_1 > \theta_1'$. Дві задні осі тягача

неповоротні, і розташовані позаду центра мас тягача. Візок напівпричепа - тривісний (загальний випадок) із задніми керованими колесами (віссю). Кут повороту цієї осі позначений через θ_4 .

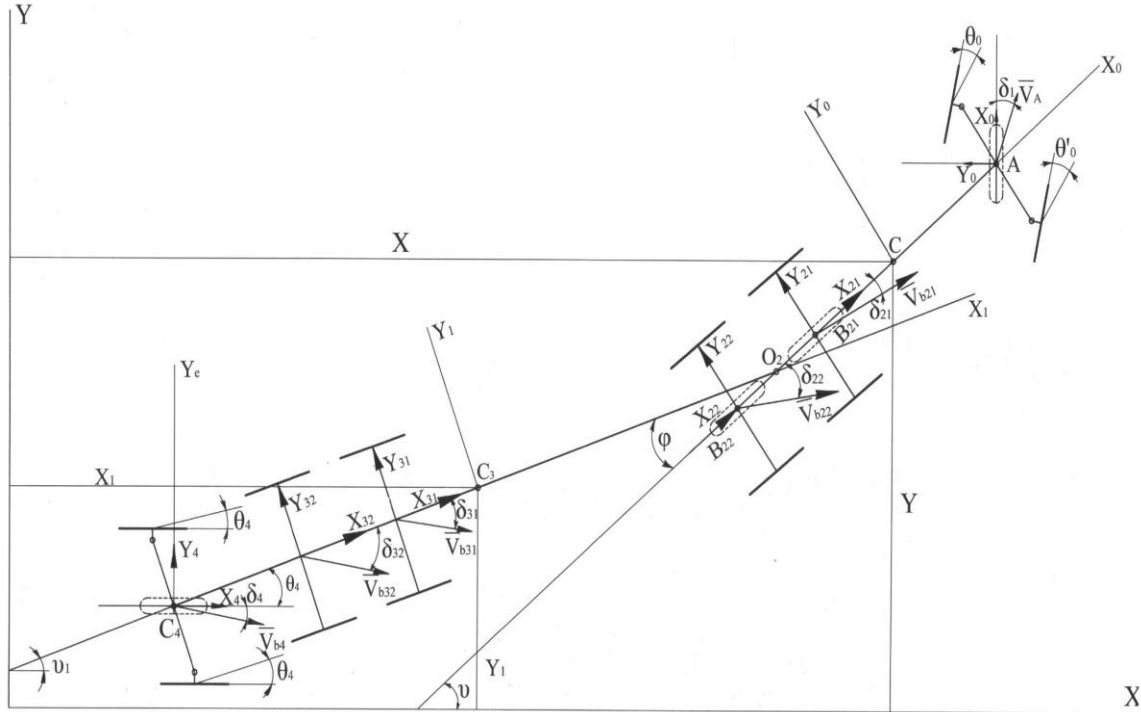


Рисунок 3 – Розрахункова схема автопоїзда на неусталеному повороті

Відома система рівнянь плоскопаралельного руху автопоїзда з некерованим напівприцепом була доповнена рівнянням для керованої осі напівпричепа:

$$\begin{aligned}
 & m_2 d_2 \sin \varphi \dot{V} + m_2 d_2 \cos \varphi U - [I_2 + m_2 d_2 (c \cos \varphi + d_2 + l_1)] \dot{\omega} + [I_2 + m_2 d_2^2 (d_2 + l_1)] \ddot{\varphi} + \\
 & + [V \cos \varphi - (U - \omega c) \sin \varphi] m_2 d_2 \omega = \\
 & + \sum \{ -H_2 (X_{2j} + X'_{2j}) + (d_2 + b_{2j}) \times [(X_{23} + X'_{23}) \times \sin \theta_4 + (Y_{23} + Y'_{23}) \cos \theta_4 + M_2] \},
 \end{aligned} \quad (7)$$

де m_2, I_2 – маса і момент інерції керованої осі напівпричепа;

V, U – поздовжня і бокова проекції швидкості точки C , тобто проекції швидкості точки C на осі рухомої системи координат, безпосередньо пов'язаної з автомобілем-тягачем;

φ – кут складання кінематично незалежних ланок автопоїзда;

$M_2 = f(\varphi_k, \dot{\varphi}_k)$ – момент опору повороту ланок автопоїзда;

$X_{2j}, X'_{2j}, Y_{2j}, Y'_{2j}$ - відповідно поздовжні і поперечні сили на правому і лівому колесах возика напівпричепа ($j=1,2$);

$X_{23}, X'_{23}, Y_{23}, Y'_{23}$ - відповідно поздовжні і поперечні сили на правому і лівому колесах керованої осі возика напівпричепа;

c, l_2, d_2 - геометричні параметри напівпричепа.

Система рівнянь, що описує автопоїзд з керованою віссю напівпричепа, була проінтегрована із залученням програмного забезпечення Maple 12 для автопоїзда у

складі автомобіля-тягача Кама-6460 і напівпричепи Schmitz Cargobull AG 24/LZG з керованою задньою віссю з такими параметрами:

$a=2,120$ м; $b_{21}=0,9$; $b_{11}=1,43$ м; $c=1,25$ м; $b_b=4,8$ м; $d_4=1,41$ м; $b_{31}=2,10$ м; $b_{32}=3,4$ м; $b_{33}=4,70$ м; $L=8,2$ м; $l=1,3$ м; $m=17000$ кг; $J=65760$ кг \times м 2 ; $m_1=20700$ кг; $J_1=66468,1$ кг \times м 2 ; $m_2=300$ кг; $J_2=876$ кг \times м 2 ; $k_{yoe_{1m}}=160000$ Н/рад; $k_{yoe_{2,3m}}=220000$ Н/рад; $k_{yoe_m}=240000$ Н/рад;

передаточне відношення приводу управління напівпричепом:

- для входу в поворот

$$u_{np} = 4,956\theta^2 - 1,622\theta + 0,248 \quad (8)$$

- для виходу з повороту

$$u_{np} = -3,897\theta^2 + 4,325\theta + 0,146 \quad (9)$$

Початкові умови для інтегрування рівнянь руху автопоїзда: $K_n=0,05$ м $^{-1}$; $v=5,0$ м/с; $\theta_1=0$; $\theta_4=0$, $\varphi=0$; $u=0$; $\omega=0$; $\dot{\theta}=0$; $\dot{\theta}_4=0$; $\dot{\varphi}=0$; $\dot{u}=0$; $\dot{\omega}=0$.

За наведеними вихідними даними розраховувалися величини зсуву траєкторії возика напівпричепи щодо траєкторії автомобіля-тягача при коловому русі автопоїзда, а також при виконанні поворотів на 90° і 180° . При цьому розглядався автопоїзд з некерованим напівпричепом (автопоїзд №1) і автопоїзд з керованим напівпричепом за розробленим законом управління (автопоїзд №2).

Встановлено, що на вході в поворот на 90° і 180° зміщення траєкторії напівпричепи щодо траєкторії тягача не перевищують 1,654 і 1,687 м – для автопоїзда №1; 0,021 і 0,027 м - автопоїзда №2. На виході з повороту ці зміщення для обох автопоїздів збільшуються. Аналіз наведених даних показує, що привід управління за розробленим законом управління забезпечує прийнятну вписуваність автопоїзда в найбільше типових умовах руху - поворотах на 90° і 180° . При коловому русі розроблений привід управління забезпечує більш точне відслідковування траєкторії автомобіля-тягача возиком напівпричепи. При цьому результати розрахунків для автопоїзда з некерованим напівпричепом порівнювалися з результатами експерименту. Максимальні відхилення не перевищували 7,6%.

Про стійкий характер руху при вході автопоїзда в поворот $R=35$ м за швидкості 10 м/с свідчить загасаючий характер коливань кутової і бічної швидкості напівпричепів і їх возиків. Проте слід відзначити, що абсолютні значення швидкості ривка для напівпричепи з керованою віссю може призвести до порушення стійкості при збільшенні швидкості руху автопоїзда.

Окрім маневру „поворот” розглядалися також і маневри „ривок рульового колеса” і „переставка” за швидкості автопоїзда 10 м/с. Характерним є те, що при виконанні маневру „ривок рульового колеса” найбільша швидкість ривка притаманна керованому напівпричепу з керованою задньою віссю, а при виконанні маневру „переставка” – автомобілю-тягачу, проте величина цієї швидкості на 30%

менша у порівнянні з керованим напівприцепом, тобто обмежуючим фактором при виконанні цих маневрів є керований напівпричіп.

При цьому прискорення, що діють у центрі мас автомобіля-тягача, керованого і некерованого напівпричепа майже однакові, на відміну від маневру „переставка”, де найбільші прискорення мають місце для автомобіля-тягача. Проте ці прискорення значно менші у порівнянні з маневром „ривок рульового колеса”, тобто про стійкість автопоїзда при виконанні цих маневрів слід судити по величині бічних прискорень, що діють у центрі мас усіх ланок автопоїзда, при виконанні маневру „ривок рульового колеса”, рис. 4.

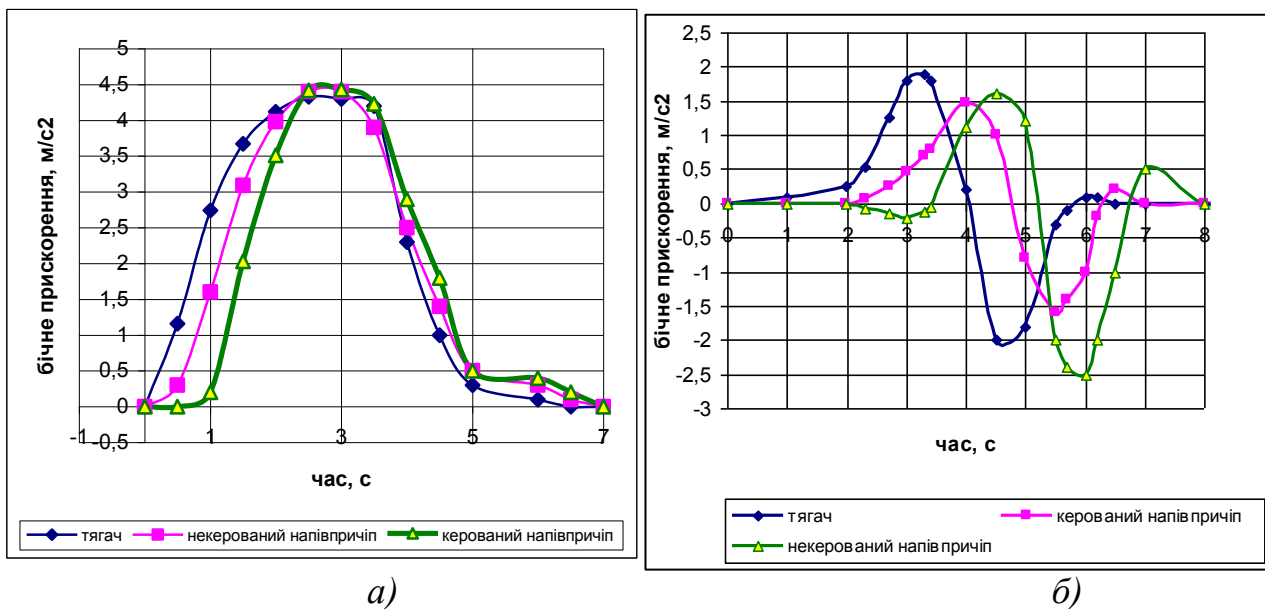


Рисунок 4 – Бічне прискорення ланок автопоїзда при виконанні маневру „ривок рульового колеса” (а) і „переставка” (б) у часі перехідного процесу

Для автопоїзда з некерованим напівприцепом швидкість рискання і бічне прискорення, що діють у центрах мас окремих ланок на 3...5% менші, ніж для цього ж автопоїзда з керованим напівприцепом. Крім того, було встановлено, що для тривісних напівпричепів з некерованими осями при виконанні указаних маневрів навіть при швидкості 1 м/с (коли поперечні складові сили інерції близькі до нуля) кути відведення всіх коліс автопоїзда відмінні від нуля. Зі збільшенням кута повороту коліс керованої осі напівпричепа навіть при швидкості 1 м/с кути відведення коліс всіх осей зростають.

За отриманими кутами відведення коліс напівпричепа і автомобіля-тягача, а також кутів повороту керованих коліс тягача і осі напівпричепа визначався радіус повороту автопоїзда. При малій швидкості руху радіуси повороту автопоїзда для всіх розрахункових параметрів майже однакові, проте зі збільшенням швидкості руху їх величина зменшується.

Рівняння руху напівпричепа при русі автопоїзда заднім ходом у загальному випадку (точка зчипки рухається по круговій траєкторії заданого радіусу R) мають вигляд:

$$(I_1 + m_1 L_1^2) \dot{\varphi} = (-m_1 d_1 \omega v \cos \varphi + L_1 Y_3 - c_p \varphi - k_p \dot{\varphi});$$

$$Y_3 = \frac{k_3 \delta_3}{\sqrt{1 + \frac{k_3 \delta_3}{(\varphi_3 Z_3)^2}}};$$

$$\delta_3 = \theta_1 + \arctan \frac{v \sin \varphi - (\omega + \dot{\varphi}) L_1}{v_1};$$

$$v_1 = v \cos \varphi$$
(10)

де c_p - коефіцієнт крутильної жорсткості, k_p – коефіцієнт демпфування, Y_3 – сила бічного відведення, δ_3 – приведений кут відведення коліс напівпричепа, v – лінійна швидкість точки зчіпки, ω – кутова швидкість радіуса-вектора точки зчіпки, θ_1 – кут повороту приведенного колеса напівпричепа, φ – кут складання, d_1 -відстань від центра мас напівпричепа до точки зчіпки з тягачем, L_1 -база напівпричепа, m_1 , J_1 - маса й центральний момент інерції напівпричепа, k_3 – коефіцієнт опору відведення коліс напівпричепа, φ_3 - коефіцієнт зчеплення при визначенні бічних сил відведення

Відмітимо, що наявність ненульового параметра c_p - є необхідною умовою стійкості прямолінійного руху напівпричепа заднім ходом, що слідує із виду відповідного характеристичного рівняння:

$$\lambda^2 v I_1 + \lambda^2 v m_1 d_1^2 + \lambda L_1^2 k_3 + \lambda k v - v L_1 k_3 + v c_p = 0$$
(11)

За умови додатності вільного члена отримаємо достатню умову стійкості нульового рішення рівняння лінійного наближення:

$$c_p > L_1 \times k_3.$$
(12)

Аналіз стійкості незбурених колових режимів руху системи (10) проведемо шляхом чисельного визначення власних значень рівняння у варіаціях для такого набору значень конструктивних параметрів:

$m_1=20700$; $b_1=4,8$; $d_1=3,2$; $L_1=b_1+d_1$; $k_3=240000$; $\varphi_3=0.8$; $Z_3=m_1*9.81$; $c_p=2,07 \times 10^5$; $k=0$; $r=0.6$; $v=2.5$; $\omega=v/R$; $I_1=m_1*r^2/2$.

Кут повороту приведенного колеса напівпричепа на вхідній перехідній траєкторії визначався за виразом (8), а на вихідній – за виразом (9). Якщо кут повороту керованих коліс тягача рівний 0 , то отримуємо нульовий кут відведення, що забезпечує відсутність збурюючого моменту щодо точки зчіпки при малих швидкостях руху, тобто

$$\theta_1 = \arctan(u \times L_1 / R).$$
(13)

Нижче приведені відповідні характеристичні рівняння і їх корені, що отримані за допомогою програмного забезпечення Maple:

- вхід в поворот: $\lambda^2 + 1.334687053\lambda + 20.12704995 = 0$;
 $\lambda(1,2) = -0.667 - 4.436i, -0.667 + 4.436i$;
- вихід з повороту: $\lambda^2 + 0.312253395\lambda + 21.13341186 = 0$;
 $\lambda(1,2) = -0.156 - 4.594i, -0.156 + 4.594i$;

Дані режими руху – стійкі, на що вказують від’ємні дійсні частини коренів характеристичних рівнянь.

Далі для моделі автопоїзда (тягач-напівпричіп) отримані умови дивергентної втрати стійкості при прямолінійному русі заднім ходом, аналіз останніх допоможе при виборі раціональних значень конструктивних параметрів, що забезпечують стійкість системи при русі по кривим.

Система лінеаризованих рівнянь, що визначає стаціонарні кругові режими достатньо великого радіусу має вигляд:

$$\begin{aligned}
 (m+m_1)\omega v - Y_1 - Y_2 - Y_3 &= 0; \\
 -m_1 c v \omega + c_p \varphi - a Y_1 + b Y_2 + c Y_3 &; \\
 m_1 d_1 v \omega + c_p \varphi - L_1 Y_3 &= 0; \\
 \delta_1 = \theta + \frac{(-u + \omega a)}{v}; \quad \delta_2 = -\frac{u + \omega b}{v}; \quad \delta_3 = \theta_1 + \frac{[v \varphi - \omega(L_1 + c) - u]}{v}; \\
 Y_1 = k_1 \delta_1; \quad Y_2 = k_2 \delta_2; \quad Y_3 = k_3 \delta_3.
 \end{aligned} \tag{14}$$

Нижче приведені значення кутів складання як функцій часу за різних радіусів повороту, рис. 5.

Аналіз даних, рис. 5, показує на стійкість руху автопоїзда заднім ходом за обраних конструктивних параметрів за швидкості 2,5 м/с. Якщо будь-який із представлених параметрів вийде за окреслені межі, автопоїзд втратить стійкість. У цьому випадку у нагоді може стати запропонований пристрій для руху автопоїзда заднім ходом або використання системи ESP.

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням, метою яких була перевірка адекватності розробленої математичної моделі і вихідних положень, покладених в основу розрахунку показників маневреності і стійкості автопоїзда-контейнеровоза. Випробування на моделі прийняті в якості основного методу експериментальних досліджень автопоїзда. Задача експериментальних досліджень полягала у визначенні показників маневреності і стійкості автопоїзда при виконанні різних маневрів і при русі заднім ходом.

φ , рад

φ , рад

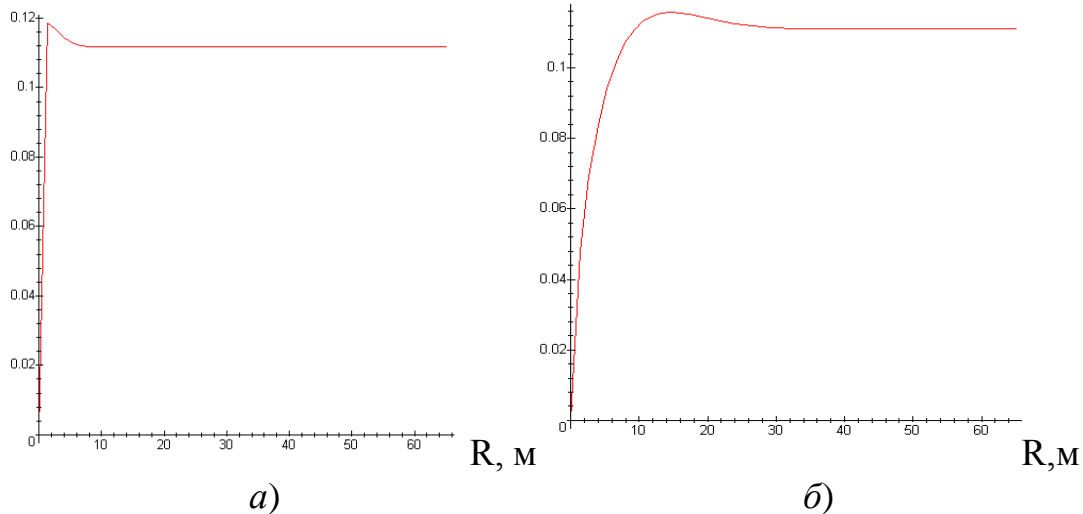


Рисунок 5 – Залежність кутів складання від радіусу повороту автопоїзда: а) $R=26$; $\phi=0.1117$ рад; б) $R=10$; $\phi=0.1111$ рад

При розрахунку подібності використана π -теорема, згідно з якою для побудови моделі необхідно і достатньо $p=n-k$ безрозмірних величин, де n – кількість фізичних змінних, які описуються за допомогою k фундаментальних фізичних величин. З π -теорему випливає, що якщо дві динамічні системи описані однаковими диференціальними рівняннями, то рішення диференціальних рівнянь буде масштабно незмінним при тих самих π групах. Щоб модель була динамічно подібна до оригіналу, величини цих π груп повинні бути однакові для обох систем. Базуючись на цій ідеї, були підібрані параметри моделі, відповідні реальним.

Модель автопоїзда була оснащена необхідною контрольно-вимірювальною апаратурою, створеною на платформі Arduino Uno, на якій встановлено декілька пристроїв для забезпечення зв'язку з комп'ютером, іншими пристроями Arduino або мікроконтролерами.

У фізичній моделі для повороту керованих коліс використовується сервопривід Mini Servo SG-90.

Програмою експериментальних досліджень передбачалося виконання маневрів рух по колу, повороту на 90° , розвороту і переставки, ISO для руху вперед та маневри кола, повороту на 90° , розвороту для руху заднім ходом. Характерними точками обрано точки посередині між задніми осями тягача і двома передніми осями напівпричепа.

Для кожного заїзду було зроблено від 10 до 12 повторностей. Розбіжності між розрахунковими і експериментальними значеннями зміщення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача під час руху при виконанні усіх маневрів, рис. 6, не перевищують 6,9%.

Аналогічні маневри було проведено для руху моделі заднім ходом, рис. 7.

Під час руху заднім ходом прослідковується тенденція автопоїзда до складання, що ускладнює маневреність, особливо зі зростанням швидкості. Зростає різниця усереднених траєкторій руху характерних точок тягача і напівпричепа, що особливо видно при виконанні повороту на 90° і в повороті. Розбіжності між розрахунковими і експериментальними значеннями зміщення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача у всіх випадках не перевищують 9,3%, тому можна вважати, що

поведінка масштабованої моделі автопоїзда відповідає оригіналу, адекватно відтворює реальний рух і придатна для реалізації в конструкції напівпричепа сідельного автопоїзда:

- при русі вперед і виконанні різних маневрів відхилення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача не перевищують 6,9%.

- при русі заднім ходом відхилення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача не перевищують 9,3% за швидкості 1 м/с. При збільшенні швидкості руху до 5 м/с відхилення також зростають, але автопоїзд залишається у межах допустимої смуги руху.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

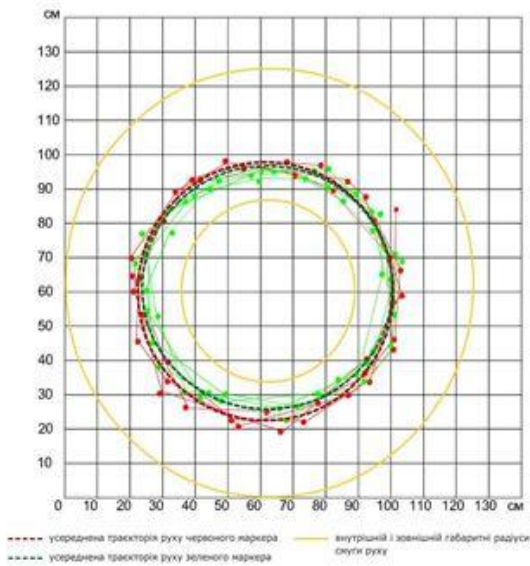
1. У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача підвищення показників маневреності і стійкості руху сідельного автопоїзда за рахунок вибору закону управління керованими колесами напівпричепа та раціональних компоновальних і масових параметрів окремих ланок.

2. Проведеними дослідженнями кінематики повороту автопоїзда з некерованим напівприцепом на жорстких у бічному напрямку колесах встановлено, що у разі коли база напівпричепа яких перевищує 7,25 м не можна забезпечити нормовані значення габаритної смуги руху. Разом з тим, при управлінні колесами напівпричепа за розробленого закону управління автопоїзд задовольняє нормативним вимогам. При цьому при русі автопоїзда перехідними кривими кут складання його ланок у момент виходу напівпричепа на перехідну траєкторію (з прямолінійної) не перевищує $2,8^{\circ}$, а зміщення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача у цій точці – 0,19 м.

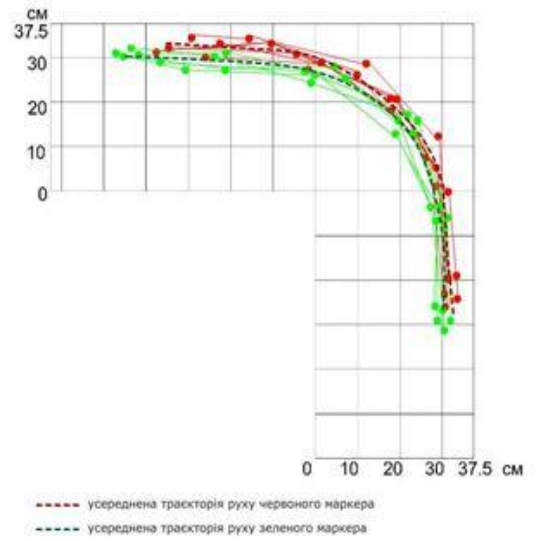
3. Розроблена методика визначення кута складання і повороту керованих коліс (осі) напівпричепа за умови співпадіння траєкторій характерних точок автомобіля-тягача і напівпричепа. Ця методика реалізована в законі управління керованими колесами (віссю) напівпричепа за кінематикою повороту автопоїзда як при русі вперед, так і заднім ходом.

4. Встановлено, що привід управління за розробленим законом управління забезпечує прийнятну вписуваність сідельно-причіпного автопоїзда в найбільше типових умовах руху - поворотах на 90° і 180° , русі «змійкою» і «переставкою». Максимальні відхилення у розглянутих випадках не перевищували 0,08...0,10 м. Ефективність запропонованого закону управління можна оцінити відносною різницею у відсотках значень радіусу повороту автопоїзда з некерованим і керованим напівприцепом. Ця різниця знаходиться в межах від 25% до 33%, зменшуючи в середньому радіус повороту на 29%.

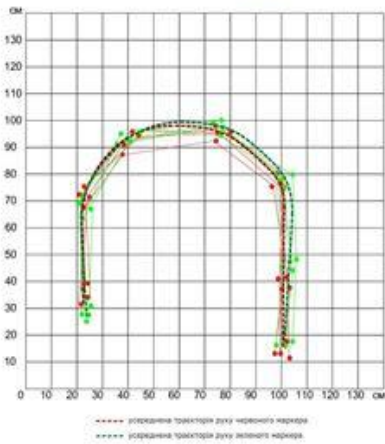
5. Визначена критична швидкість і швидкість появи коливальної нестійкості автопоїзда. Показано, що за швидкості 12,0 м/с і кута повороту керованих коліс тягача $\theta_0=0,1$ рад забезпечується стійкий рух автопоїзда як з некерованими колесами напівпричепа, так і з керованими колесами напівпричепа за розробленим законом управління, незважаючи на коливальний характер усіх параметрів.



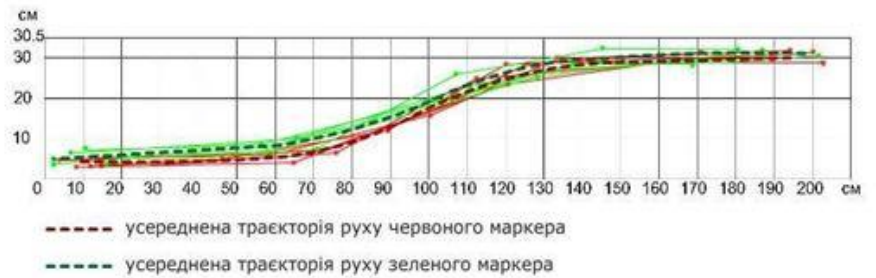
а)



б)

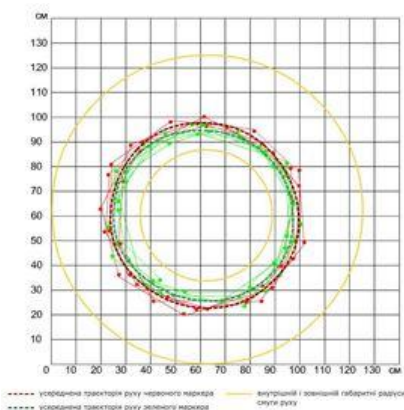


в)

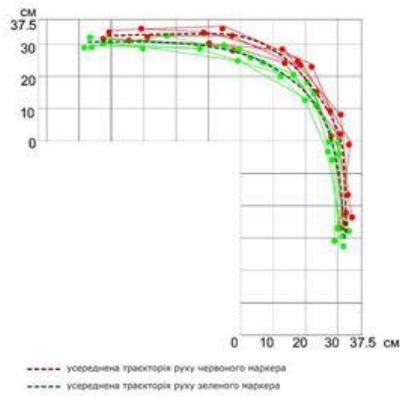


г)

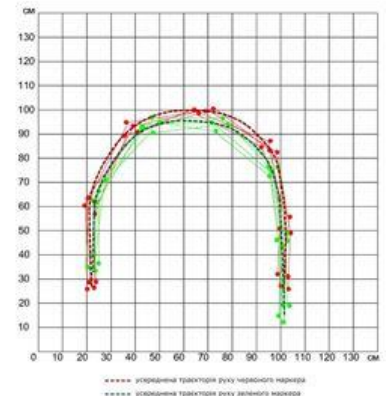
Рисунок 6 – Траекторії руху моделі вперед: маневри кола (а), повороту (б), розвороту (в) та переставки (г)



а)



б)



в)

Рисунок 7 – Результати заїздів при русі по колу (а), повороті (б) та розвороті (в) заднім ходом

6. Встановлено, що за швидкості 10 м/с при виконанні маневру „ривок рульового колеса”, „вхід в поворот”, „переставка” найбільша швидкість рискання притаманна керованому напівпричепу. При цьому прискорення, що діють у центрі ланок автопоїзда, за інших сталих умов, найбільші при виконанні маневру „ривок рульового колеса”, тобто про стійкість автопоїзда при виконанні різних маневрів слід судити по величині бічних прискорень при виконанні саме маневру „ривок рульового колеса”.

7. Показано, що стійкість руху автопоїзда заднім ходом може бути забезпечена при обраних конструктивних параметрів за швидкості 2,5 м/с. Якщо будь-який із обраних параметрів вийде за окреслені межі, автопоїзд втратить стійкість. У цьому випадку у нагоді може стати запропонований пристрій для руху автопоїзда заднім ходом (ПАТЕНТ на корисну модель №83368 «Механізм забезпечення заданого напрямку руху автопоїзда заднім ходом» від 10.09.2013).

8. Розроблена самохідна масштабна модель автомобільного поїзда, що відтворює автопоїзд у складі автомобіля-тягача КамАЗ-6460 і тривісного напівпричепа Schmitz Cargobull AG 24/LZG з керованою задньою віссю. Доведено, що розроблений закон управління задньою віссю напівпричепа і математична модель автопоїзда адекватно відтворюють реальний рух автопоїзда:

- при русі вперед і виконанні різних маневрів як-то рух по колу, поворот на 90^0 , зміна смуги руху відхилення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача не перевищують 6,9%.

- при русі заднім ходом і виконанні маневрів рух по колу, поворот на 90^0 , зміна смуги руху відхилення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача не перевищують 9,3% за швидкості 1 м/с. При збільшенні швидкості руху до 2,5 м/с відхилення також зростають, але автопоїзд залишається у межах допустимої смуги руху.

9. Вибір типу приводу управління напівпричепом сидельного автопоїзда на основі розробленої математичної моделі прийняті до використання відділом конструкторських розробок та науково-технічних експертиз ДП «ДержавтотрансНДІпроект» при виборі конструктивних параметрів причіпного складу. Рекомендації, що отримані за результатами даного дослідження, прийняті до практичного впровадження в ТОВ «ВЕЛТЕСТ» при порівняльних випробуваннях та аналізі показників маневреності та стійкості руху автопоїздів з керованими і некерованими напівпричепами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гуменюк П.О. До визначення кутів відведення осей ланок автопоїзда-контейнеровоза /П.О.Гуменюк, Р.М.Марчук, В.П.Онищук, В.І.Придюк //Вісник Національного транспортного університету.–К.:НТУ,2010. – Випуск 21. – С.132-137.

2.Гуменюк П.О. Розробка масштабованої моделі сидельного тягача //Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія Машиноприладобудування та транспорт. Випуск 134/2012.–С. 143-144.

3. Гуменюк П.О. Апаратне забезпечення системи моніторингу автоперевезень /П.О.Гуменюк, В.В.Лотиш //Луцький національний технічний університет: Наукові нотатки. – Луцьк. – 2010. – С. 169-171.

4. Сахно В.П. Покращення курсової стійкості автомобіля з використанням системи ESP/ В.П.Сахно, В.В.Лотиш, П.О.Гуменюк //Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип. 8. – К.: НТУ, 2011. – С. 171-175.

5. Сахно В.П. Маневреність та безпека руху триланкових автопоїздів різних компоновальних схем / В.П.Сахно, П.О.Гуменюк, Р.М.Марчук, В.П.Онищук, В.М.Придюк //Матеріали УІ Міжнародної науково-практичної конференції «Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти» (м. Донецьк, 17-18 листопада 2011 року): Збірник наукових праць/Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Донецька академія автомобільного транспорту. – Донецьк : ЛАНДОН-ХХІ, 2011. – с.216-220.

6. Сахно В.П. До вибору приводу управління напівпричепом довгобазового автопоїзда-контейнеровоза /В.П.Сахно, Р.М.Марчук, В.М. Сондак, П.О.Гуменюк // Автошляховик України. Вісник центрального наукового центру транспортної академії України. - №14, 2011.– с.87-90.

7.Сахно В.П. Експериментальне дослідження маневреності автопоїзда-контейнеровоза / В.П.Сахно, П.О.Гуменюк, Р.М.Марчук, В.М.Придюк //Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2011. – Випуск 24. – С.124-127.

8. Сахно В.П. До визначення моменту інерції автомобіля /В.П.Сахно, Д.М.Ященко, П.О.Гуменюк, Р.М.Марчук // Вісник Національного транспортного університету.–К., НТУ, 2012.- Вип. 25. – С.181-185.

9. Сахно В.П. До визначення стійкості автопоїзда при русі заднім ходом /В.П.Сахно, В.Г.Вербицький, П.О.Гуменюк // Вісник Національного транспортного університету.–К., НТУ, 2011.- Вип. 24. – С.127-132.

10. Сахно В.П. Визначення максимально припустимої бази універсального напівпричепа-контейнеровоза при управлінні напівпричепом шляхом гальмування коліс одного борту /В.П.Сахно, П.О.Гуменюк, Р.М.Марчук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). – Вип. 36 (травень 2012). – Луцьк. – 2012. С. 250-256.

11. Сахно В.П. До визначення максимально припустимої бази тривісного універсального напівпричепа-контейнеровоза /В.П.Сахно, Р.М.Марчук, П.О.Гуменюк//Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія Машиноприладобудування та транспорт. Випуск 134/2012.–С. 7-10.

12. Сахно В.П. Порівняльна оцінка маневреності триланкових автопоїздів /В.П.Сахно, В.М.Поляков, Р.М.Марчук, П.О.Гуменюк//Вісник Житомирського державного технологічного університету. - №2(53) – 2012. -С. 127-134.

13. Гуменюк П.О. Маневреність автопоїзда з універсальним напівпричепом-контейнеровозом /П.О.Гуменюк, В.М.Босенко, Р.М.Марчук // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч. 1 – К.: НТУ, 2012. – Випуск 26 – С. 181-186.

14. Сахно В.П. До визначення стійкості автопоїзда з універсальним напівпричепом-контейнеровозом /В.П.Сахно, В.М.Босенко, П.О.Гуменюк, Р.М.Марчук //Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія Машиноприладобудування та транспорт. Випуск 142/2013. – С. 15-18.

15. Сахно В.П. Маневреність автопоїзда з керованим напівпричепом /В.П.Сахно, В.М.Поляков, Р.М.Кузнецов, П.О.Гуменюк // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). – Вип. 36 (травень 2014). – Луцьк. – 2014. – С. 470–474.

16. Сахно В.П. До розробки алгоритму управління напівпричепом сидельного автопоїзда /В.П.Сахно, В.М.Поляков, В.М.Босенко, П.О.Гуменюк // Вісник Національного транспортного університету:–К.:НТУ,2013. – Випуск 28. – С.424-430.

17. Сахно В.П. До попередньої оцінки стійкості руху автопоїзда з керованим напівпричепом /В.П.Сахно, В.М.Поляков, В.М.Босенко, П.О.Гуменюк // Вісник Національного транспортного університету:–К.:НТУ,2014. – Випуск 29. – С.370-378.

18. Сахно В.П. До визначення параметрів закону управління напівпричепом сидельного автопоїзда /В.П.Сахно, В.І.Сирота, В.М.Поляков, В.М.Босенко, П.О.Гуменюк //Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип. 12. – К.: НТУ, 2013. – С. 170-179.

19. Гуменюк П.О. Перевірка адекватності моделі автопоїзда / П.О. Гуменюк // VI Міжнародна науково-практична конференція "Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту", Вінниця, 21-23 жовтня, 2013 – С. 500–507.

20. Сахно В.П. Експериментальні дослідження автопоїзда з керованим напівпричепом /В.П.Сахно, О.М.Тімков, Д.М.Мойся, М.І.Файчук, Р.М.Кузнецов, П.О.Гуменюк //Сучасні технології в машинобудуванні і транспорті. – Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – №2. – С.129-137.

21. Гуменюк П.О. Щодо розробки системи управління рухомим об'єктом з використанням програмно-апаратного комплексу dSpace /П.О.Гуменюк, В.В.Токарчук, О.О.Смолянкін, Р.І.Лисенко //Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Міжвузівський збірник. Випуск 3/2011. – С. 121 - 124.

22. Гуменюк П.О. Поліпшення курсової стійкості автопоїзда використанням системи динамічної стабілізації руху (ESP) /П.О.Гуменюк //LXVII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ.: НТУ. - 2011. - С.42.

23. Лотиш В.В. Методологія застосування модельно-базового дизайну для розробки системи ESP /В.В.Лотиш, П.О.Гуменюк //LXVIII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ.: НТУ. - 2012. - С.46.

24. Гуменюк П.О. Розробка комп'ютерної моделі автопоїзда / П.О. Гуменюк, Н.О. Козак // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. Електронне наукове фахове видання. №4. - Харків. – 2013 – С. 23.

25. Гуменюк П.О. Система управління автомобільного поїзда /П.О.Гуменюк //LXIX Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів,

студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ. НТУ. 2013. – С.44.

26. Сахно В.П. Вплив конструкційних параметрів легкового автомобіля малого класу на бокове відведення шин у неусталеному криволінійному русі /В.П.Сахно, Р.М.Кузнєцов, В.І.Павлюк, П.О.Гуменюк // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань “Машинобудування та металообробка”, “Інженерна механіка”, “Металургія та матеріалознавство”). – Вип. 46 (травень 2014). – Луцьк, 2014 – С.470-474.

27. Сахно В.П. Механізм забезпечення заданого напрямку руху автопоїзда заднім ходом /В.П.Сахно, В.М.Поляков, Г.О.Ковальчук, П.О.Гуменюк, Р.М.Марчук// Патент на корисну модель №83368. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.09.2013.

28. Сахно В.П. К определению закона управления полуприцепом седельного автопоезда / В.П.Сахно, В.М.Поляков, В.Н.Босенко, П.А.Гуменюк // XX Научно-техническа конференция с международно участие "Транспорт, екология - устойчиво развитие", Варна, 15-17 май, 2014 – С. 239-243.

29. Сахно В.П. К оценке устойчивости автопоезда с управляемым полуприцепом /В.П.Сахно, В.М.Поляков, В.Н.Босенко, П.А.Гуменюк //Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: материалы VIII междунар. науч.-техн. конф. 21-23 мая 2014 г., Пенза /редкол.: Э.Р.Домке (отв. ред. и др.). – Пенза: ПГУАС, 2014. – С. 379 - 383.

30. Гуменюк П.О. Комп'ютерна програма «Програма управління масштабованою моделлю сідельного тягача» // Гуменюк П.О. // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 56331. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України 05.09.2014.

31. Gumenyuk Pavlo. Automatische Steuerung des rückwärtigen Fahrzeuges / Pavlo Gumenyuk // Informatyka Automatyka Pomiarzy w Gospodarce i Ochronie Środowiska. – Lublin. – 2015. - № 2. С. 72-80.

АНОТАЦІЯ

Гуменюк П.О. «Поліпшення маневреності і стійкості автопоїзда з керованим напівприцепом». – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – Автомобілі та трактори. – Національний університет «Львівська політехніка». - Львів, 2015.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню показників маневреності і стійкості руху автопоїзда з керованим напівприцепом за рахунок вибору раціональних компоновальних і масових параметрів окремих ланок і їх систем управління.

Розроблена методика визначення кута складання і повороту керованих коліс (осі) напівпричепа за умови співпадіння траєкторій характерних точок автомобіля-тягача і напівпричепа. Ця методика реалізована в законі управління керованими

колесами (віссю) напівпричепа за кінематикою повороту автопоїзда як при русі вперед, так і заднім ходом.

Встановлено, що привід управління за розробленим законом управління забезпечує прийнятну вписуваність сідельно-причіпного автопоїзда в найбільше типових умовах руху - поворотах на 90° і 180° , русі «змієюю» і «переставкою».

Показано, що стійкість руху автопоїзда заднім ходом може бути забезпечена при обраних конструктивних параметрах за швидкості 2,5 м/с. Якщо будь-який із обраних параметрів вийде за окреслені межі, автопоїзд втратить стійкість. У цьому випадку у нагоді може стати запропонований пристрій для руху автопоїзда заднім ходом (ПАТЕНТ на корисну модель №83368 «Механізм забезпечення заданого напрямку руху автопоїзда заднім ходом» від 10.09.2013).

Проведеними експериментальними дослідженнями автопоїзда-контейнеровоза підтверджена адекватність розроблених математичних моделей як для визначення маневреності, так і стійкості його руху.

Ключові слова: автопоїзд, маневреність, стійкість, бічне відведення, привід керування, кут складання, математична модель.

АННОТАЦИЯ

Гуменюк П.А. «Улучшение маневренности и устойчивости автопоезда с управляемым полуприцепом». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 – Автомобили и тракторы. – Национальный университет «Львовская политехника». - Львов, 2015.

Диссертационная работа посвящена повышению показателей маневренности и устойчивости движения автопоезда с управляемым полуприцепом за счет выбора рациональных компоновочных и массовых параметров отдельных звеньев и их систем управления.

Разработана методика определения угла складывания и поворота управляемых колес (оси) полуприцепа при условии совпадения траекторий характерных точек автомобиля-тягача и полуприцепа. Эта методика реализована в законе управления управляемыми колесами (осью) полуприцепа как при движении вперед, так и задним ходом.

Установлено, что разработанный привод управления обеспечивает приемлемую вписываемость седельно-прицепного автопоезда в типичных условиях движения - поворотах на 90° и 180° , движении «змейкой» и «переставкой». Максимальные отклонения в рассмотренных случаях не превышали 0,08...0,10 м.

Показано, что при скорости 15 м/с и выполнении маневра „рывок рулевого колеса”, „вход в поворот”, „переставка” наибольшая скорость рыскания присуща управляемому полуприцепу. При этом ускорения, действующие в центре масс звеньев автопоезда, наибольшие при выполнении маневра „рывок рулевого колеса”, то есть об устойчивости автопоезда при выполнении разных маневров следует судить по величине боковых ускорений при выполнении именно маневра „рывок рулевого колеса”.

Установлено, что устойчивость движения рассматриваемого автопоезда задним ходом может быть обеспечена до скорости 2,5 м/с. При увеличении скорости движения автопоезд теряет устойчивость. Устойчивость в этом случае может быть обеспечена предложенным устройством для движения автопоезда задним ходом (ПАТЕНТ на корисну модель №83368 «Механізм забезпечення заданого напрямку руху автопоїзда заднім ходом» от 10.09.2013).

Экспериментальные исследования автопоезда-контейнеровоза подтвердили адекватность разработанных математических моделей как для определения маневренности, так и устойчивости его движения.

Ключевые слова: автопоезд, маневренность, устойчивость, боковой увод, привод управления, угол складывания, математическая модель.

ANNOTATION

Gumeniuk P.O. "Improving maneuverability and stability of a road train with controlled semitrailer". - Manuscript.

The thesis for submitting the degree of Candidate of Technical sciences, speciality 05.22.02 - Automobiles and tractors. - National University "Lviv Polytechnic". - Lviv, 2015.

The thesis is devoted to the improvement of maneuverability and stability of a road train with controlled semitrailer by selecting rational layout and mass parameters of individual units and their control systems.

It is elaborated that the method of preparation and determination of the assembly angle of the steering wheels (axle) trailer assuming the coincidence of trajectories of characteristic points of the tractor and the trailer. This method is implemented in control law of steered wheels (axle) for semitrailer kinematics as when driving forward and reverse.

It is established that drive management according to the developed control law provides affordable incorporating of saddle-trailing train in the most typical driving conditions - turns at 90° and 180°, movement "snake" and "overtaking."

It is shown that the stability of movement backwards can be provided at selected structural parameters at speed of 2.5 m/s. If any of the selected parameters outlined go beyond the limit, road train loses its stability. In this case, a proposed device can be useful for train movement in reverse (patent for utility model №83368 «mechanism providing a fixed direction for road train movement backwards" from 09.10.2013).

Conducting experimental researches of the container carrier road train have confirmed (shown) the adequacy of the developed mathematical models for determining the maneuverability and stability of its movement.

Keywords: Tractor, maneuverability, stability, lateral diversion, drive control, assembly angle, mathematical model.