

УДК 629.113

UDC 629.113

## ДО РОЗРОБКИ АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ НАПІВПРИЧЕПОМ СІДЕЛЬНОГО АВТОПОЇЗДА

Сахно В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Поляков В.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Босенко В.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна

Гуменюк П.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна

## TO DEFINITION OF ALGORITHM OF THE SEMITRAILERS MANAGEMENT

Sakhno V.P., Dh.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Poliakov V.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Bosenko V.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Gymenyuk P.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine

## К РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛУПРИЦЕПОМ СЕДЕЛЬНОГО АВТОПОЕЗДА

Сахно В.П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Поляков В.М., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Босенко В.М., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Гуменюк П.О., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Постановка проблеми.

У відповідності до Директиви європейського союзу DIRECTIVE 2002/7/EC [1], виходячи із нормативних значень показників маневреності (внутрішній габаритний радіус  $R_{вг}=5,3$  м, зовнішній габаритний радіус  $R_{зг}=12,5$  м, габаритна смуга руху  $B_{ан}=7,2$  м), максимально допустима довжина одиночного автомобіля не повинна перевищувати 12 м, сідельного автопоїзда – 16,5 м, причіпного автопоїзда – 18,35 м за некерованих причіпних ланок. За керованих причіпних ланок довжина автопоїзда може бути суттєво збільшена при виконанні вищенаведених показників маневреності.

Покращення маневрених властивостей автопоїздів досягається за рахунок вибору відповідної системи управління колесами (осями) причіпних ланок.

Управління колесами причіпних ланок можна забезпечити [2]:

1) в залежності від кута повороту напівпричепа відносно автомобіля-тягача, або попередньої причіпної ланки;

2) в залежності від кута повороту напівпричепа відносно рами його возика;

3) слідкуючим приводом, що повертає колеса напівпричепа в залежності від кута повороту керованих коліс тягача, але із запізнюванням на час проходження напівприцепом шляху від його керованих коліс до коліс тягача;

4) додатковим водієм для управління колесами напівпричепа.

Аналіз публікацій останніх років [3.4.5.6] показує, що перші два способи отримали найбільше розповсюдження і виконані у конструкціях з механічним, гідростатичним, гідромеханічним і електромеханічним приводом на керовані колеса напівпричепа. Співставляючи між собою наведені приводи управління за конструктивним виконанням, надійністю у роботі, вартості виготовлення, зручності в експлуатації і ремонті, із усіх розглянутих приводів перевагу належить віддати механічному приводу, який і знайшов найбільше розповсюдження в конструкціях напівприцепів і причепів. Проте такий привід управління не може забезпечити слідування напівпричепа по траєкторії автомобіля-тягача, причому зі збільшенням бази напівпричепа відхилення його траєкторії від траєкторії автомобіля-тягача прогресивно збільшується.

Третій привод управління застосовується для багатовісних напівпричепів і відрізняється від попередніх двох наявністю слідкуючої і підсилюючої систем [7]. Задаючим параметром у цій системі, як правило, є кут повороту керованих коліс тягача, а колеса напівпричепа повертаються на такий же кут, але із запізненням на час проходження напівпричепом відстані від коліс напівпричепа до коліс тягача.

Четвертий спосіб застосовують [8] для напівпричепів і причепів особливо великої вантажопідйомності. Очевидно, що використання другого члена екіпажу для управління напівпричепом або причепом збільшить експлуатаційні витрати. Крім того, як показує досвід експлуатації таких автопоїздів, другий член екіпажу працює в надто складних умовах, що може призвести до помилок в управлінні напівпричепом. Тому цей спосіб сьогодні не використовують.

Таким чином, при створенні систем управління напівпричепом необхідно орієнтуватись на перші три способи управління, причому при незначних базах напівпричепа (база напівпричепа не перевищує двох баз автомобіля-тягача) слід орієнтуватись на перші два способи, при більших базах напівпричепа – на третій спосіб управління. Пояснюється це тим, що перші два способи управління виконуються, як правило, з постійними передаточними відношеннями приводу управління.

Метою роботи є розробка алгоритму управління напівпричепом, який забезпечив би мінімальні відхилення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача.

Результати дослідження.

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 відхилень траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача: на вході в поворот – у сторону протилежну напрямку повороту, а на виході з повороту – у сторону до центру повороту для систем прямого управління (кут повороту керованих коліс напівпричепа є функцією першого кута складання – кута між поздовжніми осями тягача і напівпричепа) і навпаки – для систем зворотнього управління (кут повороту керованих коліс напівпричепа є функцією другого кута складання – кута між поздовжніми осями напівпричепа і його візка). Для подвійного приводу управління [4], що об'єднує в собі прямий і зворотній керуючий зв'язок, мають місце ті ж зміщення, що і для окремо взятого приводу, проте ці зміщення значно менші у порівнянні то чи з прямим приводом управління, чи то зворотнім, рис. 1.

Система управління колесами напівпричепа з постійними значеннями передаточних відношень приводу управління у забезпечує лінійну залежність  $\theta=f(\varphi)$ . За нелінійної залежності  $\theta=f(\varphi)$ , що характерно для кривих графіку, рис. 2, величина  $u$  виражається тангенсом кута нахилу дотичної, що проведена через любую точку кривої до осі  $\theta$ .

Із наведених графіків слідує, що існує певна залежність зміни передаточного відношення приводу управління  $u$  в залежності від кута складання автопоїзда: для усіх видів повороту величина  $u$  повинна змінюватися в межах від  $\infty$  до 0 з різною інтенсивністю в залежності від режимного коефіцієнту повороту. При цьому  $u=\infty$  відповідає початку входу в поворот, виходу з повороту, переходу з одного повороту на другий, а значення  $u=0$  відповідає кінцям входу в поворот, виходу з повороту, переходу з одного повороту на другий.

Створення такої оптимальної системи управління для напівпричепів представляє певні труднощі у зв'язку з тим, що поворот коліс напівпричепа повинен здійснюватися в залежності від поступальної швидкості руху автопоїзда і кутової швидкості повороту керованих коліс тягача і її конструктивне виконання буде занадто складним. разом з тим, експериментальні дослідження маневреності автопоїздів показали, що навіть для систем механічного управління, що реалізують подвійний керуючий зв'язок (кут повороту керованих коліс напівпричепа є функцією як першого, та і другого кута складання), можна досягти мінімальних відхилень траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача. Подвійний привід управління забезпечує зменшення відхилень траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача як на вході в поворот, так і на виході з повороту. Пояснюється це особливістю системи подвійного управління, яка полягає в наступному, рис. 2. При вході автопоїзда в поворот а самому початку від прямолінійної траєкторії відхиляється тягач. Це

призводить до появи кута складання  $\varphi$  (у цей момент кут між поздовжніми осями напівпричепа і його возика  $\gamma_k$  ще дорівнює 0).

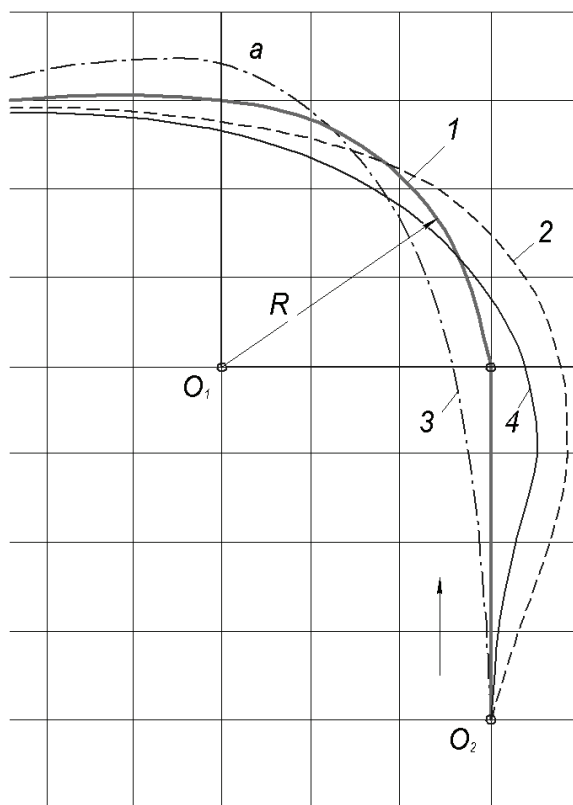


Рисунок 1 – Траєкторії руху тягача (1) і напівпричепа з системами прямого (2), зворотнього (3) і подвійного (4) управліннь на повороті

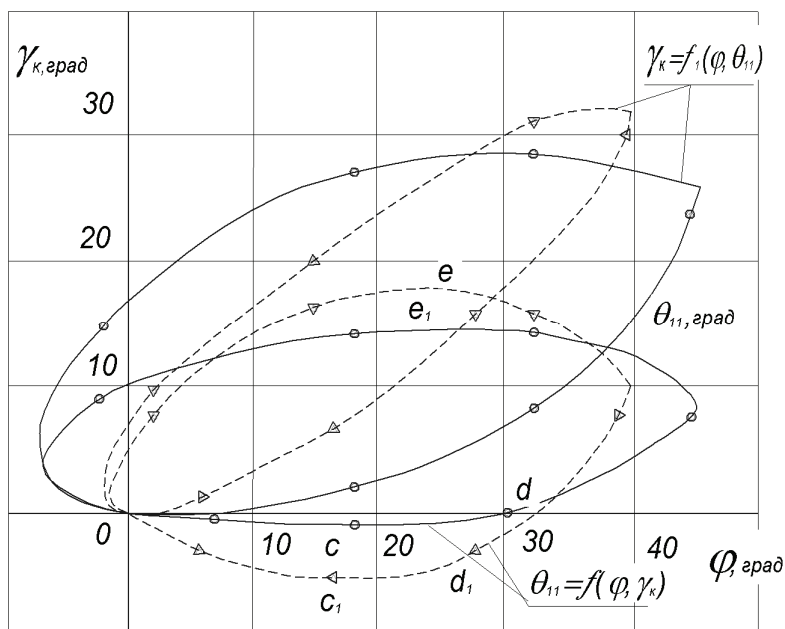


Рисунок 2 – Співвідношення у кутах складання між ланками автопоїзда на неусталеному повороті

З появою кута складання  $\varphi$  почнеться поворот керованої осі напівпричепа на кут  $\theta_{11}$ , величина якого визначиться з виразу

$$-\theta_{11} = \frac{\varphi}{u_1 u_2}, \quad (1)$$

де  $u_1$  і  $u_2$  – відповідно передаточні відношення першої і другої ступені приводу управління.

Співставляючи залежності кутів повороту керованої осі (коліс) напівпричепа і першого кута складання автопоїзда за «оптимального» і подвійного приводу управління, можна відмітити подібність закономірностей їх зміни, що свідчить про змінний характер передаточного відношення подвійного приводу управління і зближення траєкторій тягача і напівпричепа за різних видів повороту, рис.2.

Однак, за використання подвійного приводу управління значно ускладнюється управління напівприцепом при русі автопоїзда заднім ходом. Тому розглянемо можливість застосування прямого приводу управління керованими колесами (осями) напівпричепа за допомогою методики визначення координат характерної точки напівпричепа (точки, яка знаходиться посередині керованої осі напівпричепа).

Нехай задані координати характерної точки автомобіля-тягача  $O_i (u_i, v_i)$ . Необхідно визначити координати управляючої точки 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. 3.

В 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:

$$y'_i = \frac{\frac{v_i - v_{i-1}}{u_i - u_{i-1}}(u_{i+1} - u_i) + \frac{v_{i+1} - v_i}{u_{i+1} - u_i}(u_i - u_{i-1})}{(u_{i+1} - u_{i-1})} \quad (2)$$

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

$$k_{2i} = \frac{v_{i-1} - y_{i-1}}{u_{i-1} - x_{i-1}} \quad (3)$$

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

$$\alpha = \arctg \frac{k_{1i} - y'_i}{1 + k_{1i} y'_i} \quad (4)$$

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

$$\beta_i = \alpha = \arctg \frac{k_{2i} - k_{1i}}{1 + k_{1i} k_{2i}} \quad (5)$$

Кут повороту керованої осі (середній кут повороту керованих коліс) напівпричепа за прямого керуючого зв'язку визначиться як

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

Повернемо промені  $A_{i-1}O_i$  і  $A_{i-1}O_{i-1}$  на один і той же кут проти годинникової стрілки. При цьому «повернуті» промені пересічуть коло радіуса  $L$  з центром у точці  $O_i (u_i, v_i)$ , на якому повинна знаходитися керуюча точка напівпричепа після переміщення тягача в точку  $O_i$ , в точках  $A'_i$  і  $A''_i$ .

Позначимо кути:

$$\angle A_{i-1}O_i A_i' = \delta, \quad (7)$$

$$\angle A_{i-1}O_i A_i'' = \varphi \quad (8)$$

Знайдемо довжину відрізка  $A_{i-1}O_i$ , позначеного через  $d_i$ . Отримаємо:

$$d_i = \sqrt{(u_i - x_{i-1})^2 + (v_i - y_{i-1})^2} \quad (9)$$

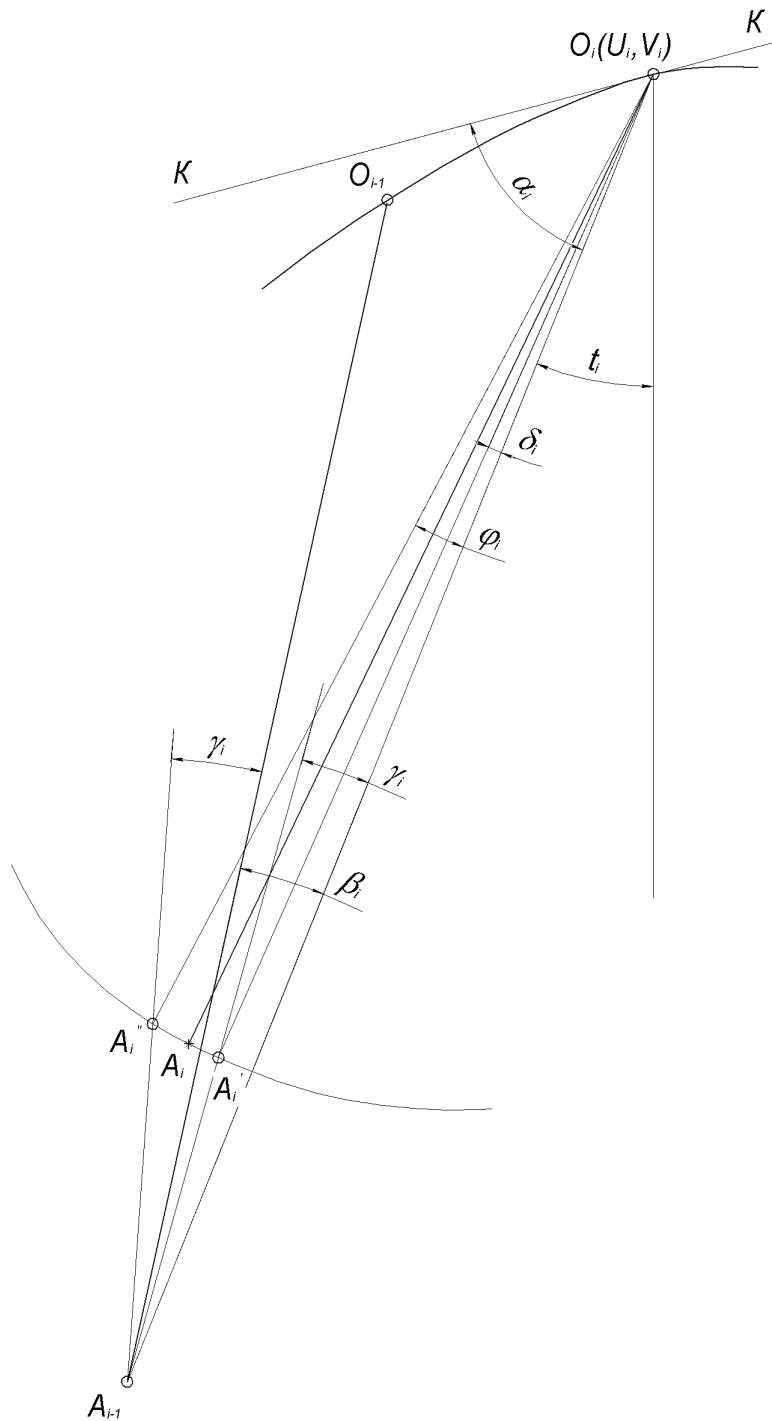


Рисунок 3 – До визначення координат траєкторії керованої осі напівпричепа

Із трикутника  $\Delta A_{i-1}OA_i'$  за теоремою синусів отримаємо

$$\frac{\sin(180^\circ - \gamma_i - \delta_i)}{d_i} = \frac{\sin \gamma_i}{L} \quad (10)$$

або

$$\sin(\gamma_i + \delta_i) = \frac{d_i}{L} \sin \gamma_i \quad (11)$$

звідки

$$\delta_i = \arcsin\left(\frac{d_i}{L} \sin \gamma_i\right) - \gamma_i \quad (12)$$

Аналогічно з  $\Delta A_{i-1}OA_i''$  отримаємо

$$\varphi = \arcsin\left[\frac{d_i}{L} \sin(\beta_i + \gamma_i)\right] - (\beta_i + \gamma_i) \quad (13)$$

Визначимо положення точки  $A_i$ , як середнє між точками  $A_i'$  і  $A_i''$ . При цьому кут  $\angle A_i O_i A_{i-1}$  визначиться як

$$\angle A_i O_i A_{i-1} = \frac{\varphi_i - \delta_i}{2} + \delta_i = \frac{\varphi_i + \delta_i}{2} = \Delta_i \quad (14)$$

Положення будь-якої точки на колі радіуса  $L$  з центром у точці  $O_i$  визначиться за виразами:

$$\begin{cases} x_i = u_i - L \sin \beta_i, \\ y_i = v_i L \cos \beta_i, \end{cases} \quad (15)$$

де  $\beta_i$  – кут, що відраховується від осі  $u$ .

Зокрема, для променя  $A_{i-1}O_i$

$$\beta_i = \arctg \frac{l}{k_{li}}, \text{ або } \beta_i = \text{arcctg} k_{li}, \text{ або } \beta_i = \arcsin \frac{u_{i-1} - x_{i-1}}{d_i} \quad (16)$$

Для променя  $A_i O_i$  цей параметр збільшується на величину  $\frac{\varphi_i + \delta_i}{2}$ . Приймаючи у (15)

$\beta_i' = \beta_i + \frac{\varphi_i + \delta_i}{2}$ , отримаємо координати точки  $A_i$ .

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. За знайденими координатами будувалася траєкторія характерної точки напівпричепа, що порівнювалися з траєкторією характерної точки тягача. Максимальні відхилення за абсолютним значенням на усіх кривих (рух по колу, повороти на  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  і S-подібному не перевищували 8,2% за режимного коефіцієнта повороту  $K_{\Pi} = \infty$  (тобто поворот керованих коліс на

місці до моменту початку руху автомобіля-тягача) і 5,6% - за режимного коефіцієнта повороту  $K_{\Pi}=0,005$ , що свідчить про задовільну роботу запропонованого алгоритму управління напівприцепом.

Висновки.

Розроблено алгоритм управління напівприцепом сідельного автопоїзда, за якого забезпечуються мінімальні відхилення напівпричепа щодо траєкторії тягача як при русі вперед, так і при русі заднім ходом.

Подальший розвиток.

Розроблений алгоритм управління потребує експериментальної перевірки на макеті або моделі автопоїзда.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. DIRECTIVE 2002/7/EC of European parliament and of the council of 18 February 2002 amending Council Directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic. // Official Journal of the European Communities, 2002. – No L67 / 47 – 49.

2. Конструкция и расчет автомобильных поездов / Я. Х. Закин, М. М. Щукин, С. Я. Марголис и др. Под ред. Я. Х. Закина. – Л. : Машиностроение, 1968. – 331 с.

3. Закин Я. Х. Маневренность автомобиля и автопоезда / Я. Х. Закин – М. Транспорт, 1986. – 137 с.

4. Енглезі О.А. Вибір та обґрунтування типу приводу керування напівприцепом триланкового сідельно-причіпного автопоїзда // Вісник Національного транспортного університету.–К., НТУ, 2007.- Вип. 15. – С. 149-154.

5. Сахно В.П. До вибору закону управління задньою керованою віссю напівпричепа автопоїзда-контейнеровоза /В.П.Сахно, М.М.Горбаха, В.М.Придюк, В.П.Онищук // Автошляховик України. Вісник ЦНЦ ТАУ. –2010. Окремий випуск №13. С.72-75.

6. Тимков А. Н. Обзор конструкций современных прицепов и полуприцепов / А. Н. Тимков // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: Науковий журнал. Вип. 15. – К. : НТУ, ТАУ, 2002. – С. 223–225.

7. Управление длиннобазных АТС и электроника /С.К.Богданов, В.И.Соловьев, Г.Д.Цейтлин и др. // Автомобильная промышленность. - 1986, №12. - С. 22-23.

8. Автоматизированные системы управления АТС особо большой грузоподъемности / В. И. Соболев, Г. Д. Цейтлин, Н. М. Вырыпаев, А. Г. Юзефович. – Автомобильная промышленность, 1996, № 4, – С. 18–20.

#### REFERENCES

1. DIRECTIVE 2002/7/EC of European parliament and of the council of 18 February 2002 amending Council Directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic. // Official Journal of the European Communities, 2002. – No L67 / 47 – 49 (Eng).

2. Zakin Y. H., Schukin M.M., Margolis S. Y and other. Under Wording of . Zakin Y. H Construction and calculation of motor-car trains / L. : Engineering, 1968. – 331 p(Rus).

3. Zakin Y. H. Maneuverability of the car and the road train – M.Transport, 1986. – 137 pages.

4 Englezi O.A. Choice that justifications to type to the drive steering nap\_vprichepy trilankovy s\_delno-prich\_pny road train//Visnik of Nathion transport university. – To. NTU, 2007. - Release. 15 . – Page 149-154 (Ukr).

5 . Sakhno V.P., Gorbakh M.M., V.M.Pridyuk Onishchuk V.P. To a vibor to the law steering of a rear rotary axle semi-trailer road train container carrier //Avtoshlyakhovik Ukraine. Visnik CNC TAU. –2010 . separate release No. 13. Page 72-75(Ukr).

6 . Timkov A. N. Review of designs of modern trailers and semi-trailers / System methods of management, technology and organization of production, repair and operation of cars: Scientific magazine. Release. 15 . – To. : NTU, TAU, 2002. – С. 223–225(Ukr) .

7 . Bogdanov S.K., Solovyev V.I., Ceytlin G.D., etc/ Management of dlinnobazny automatic telephone exchanges and electronics//Automotive industry. - 1986, No. 12. - Page 22-23(Rus).

8 . Sobolev V.I., Tseytlin G. D., Vyrypayev N. M., Yuzefovich A.G. /Automated control systems of automatic telephone exchange of especially big loading capacity/ – Automotive industry, 1996, No. 4, – С. 18–20 (Rus).

#### РЕФЕРАТ

Сахно В.П. До розробки алгоритму управління напівприцепом сідельного автопоїзда / В.П.Сахно, В.М. Поляков. В.М.Босенко, П.О.Гуменюк // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Вип. 28.

У статті запропоновано підхід до розробки алгоритму управління напівприцепом сідельного автопоїзда.

Об'єкт дослідження – система управління напівприцепом сідельного автопоїзда.

Мета роботи – розробка алгоритму управління напівприцепом, який забезпечив би мінімальні відхилення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача.

Метод дослідження – аналітичний.

Покращення маневрених властивостей автопоїздів досягається за рахунок вибору відповідної системи управління колесами (осями) причіпних ланок.

Для забезпечення слідування траєкторією тягача передаточне відношення системи управління напівприцепом повинно змінюватися в межах від  $\infty$  до 0 з різною інтенсивністю в залежності від режимного коефіцієнту повороту. Створення такої оптимальної системи управління для напівприцепів представляє певні труднощі у зв'язку з тим, що поворот коліс напівпричепа повинен здійснюватися в залежності від поступальної швидкості руху автопоїзда і кутової швидкості повороту керованих коліс тягача і її конструктивне виконання буде занадто складним. Разом з тим, експериментальні дослідження маневреності автопоїздів показали, що навіть для систем механічного управління, що реалізують подвійний керуючий зв'язок можна досягти мінімальних відхилень траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача.

Однак, за використання подвійного приводу управління значно ускладнюється управління напівприцепом при русі автопоїзда заднім ходом. У зв'язку з цим розглянута можливість застосування прямого приводу управління керованими колесами (осями) напівпричепа для забезпечення необхідних показників маневреності як при русі вперед, так і заднім ходом. Для цього розроблено алгоритм управління напівприцепом, в основу якого покладена залежність між кутами повороту керованих коліс (осі) напівпричепа у функції кута складання автопоїзда при співпадінні на кривій характерних точок тягача і напівпричепа.

Результати статті можуть бути впроваджені в системах управління напівприцепами довгобазових автопоїздів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АВТОПОЇЗД, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, КЕРУЮЧИЙ ЗВ'ЯЗОК, ПЕРЕДАТОЧНЕ ВІДНОШЕННЯ, АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ, НАПІВПРИЧІП.

#### ABSTRACT

Sakhno V.P., Poliakov V.M., Bosenko V.M., Gumenyuk P.O. To development of algorithm of steering by the semi-trailer of saddle road train. Visnyk National Transport University. – Kyiv. National Transport University. 2013. – Vol. 28.

In article approach to development of algorithm of steering by the semi-trailer of the saddle road train is offered.

Object of probe – a control system of the semi-trailer of the saddle road train.

The work purpose – development of algorithm of steering by the semi-trailer which would provide the minimum deviations of a trajectory of the semi-trailer concerning a tractor trajectory.

Probe method – analytical.

Improvement of maneuverable properties of road trains is reached at the expense of a choice of the corresponding control system by wheels (shafts) of hook-on links.



For ensuring following with a tractor trajectory the transmission ratio of a control system of the semi-trailer has to change ranging from  $\infty$  to 0 with different intensity depending on regime coefficient of turning movement. Creation of such optimum control system for semi-trailers presents certain difficulties because turning movement of wheels of the semi-trailer has to be carried out depending on the forward speed of movement of the road train and angular speed of turning movement of steered wheels of the tractor and its design will be too difficult.

At the same time, pilot studies of maneuverability of road trains showed, what even for systems of a mechanical control which realize double steering communication, it is possible to reach the minimum deviations of a trajectory of the semi-trailer concerning a tractor trajectory. However, use of a double occasion of steering considerably becomes complicated steering of the semi-trailer at road train movement by back run. In this regard possibility of application of a direct drive gear of steering by steered wheels (shafts) of the semi-trailer for providing necessary indicators of maneuverability as is considered at advance, and back run. The algorithm of steering is for this purpose developed by the semi-trailer in which basis dependence between angles of rotation of steered wheels (shaft) of the semi-trailer as a corner of folding of the road train is put at coincidence on a curve of characteristic points of the tractor and the semi-trailer.

Results of article can be introduced in control systems of semi-trailers of long-wheelbase road trains.

KEYWORDS: THE ROAD TRAIN, THE CONTROL SYSTEM, STEERING COMMUNICATION, TRANSMISSION RATIO, ALGORITHM OF STEERING, THE SEMI-TRAILER.

#### РЕФЕРАТ

Сахно В.П. К разработке алгоритма управления полуприцепом седельного автопоезда /В.П.Сахно, В.М. Поляков, В.М.Босенко, П.О.Гуменюк // Вестник Национального транспортного университета. – К. : НТУ, 2013. – Вып. 28.

В статье предложен подход к разработке алгоритма управления полуприцепом седельного автопоезда.

Объект исследования – система управления полуприцепом седельного автопоезда.

Цель работы – разработка алгоритма управления полуприцепом, который обеспечил бы минимальные отклонения траектории полуприцепа относительно траектории тягача.

Метод исследования – аналитический.

Улучшение маневренных свойств автопоездов достигается за счет выбора соответствующей системы управления колесами (осями) прицепных звеньев.

Для обеспечения следования траекторией тягача передаточное отношение системы управления полуприцепом должно изменяться в пределах от  $\infty$  до 0 с разной интенсивностью в зависимости от режимного коэффициента поворота. Создание такой оптимальной системы управления для полуприцепов представляет определенные трудности в связи с тем, что поворот колес полуприцепа должен осуществляться в зависимости от поступательной скорости движения автопоезда и угловой скорости поворота управляемых колес тягача и ее конструктивное исполнение будет слишком сложным. Вместе с тем, экспериментальные исследования маневренности автопоездов показали, что даже для систем механического управления, которые реализуют двойную управляющую связь, можно достичь минимальных отклонений траектории полуприцепа относительно траектории тягача.

Однако, использование двойного повода управления значительно осложняется управление полуприцепом при движении автопоезда задним ходом. В связи с этим рассмотрена возможность применения прямого привода управления управляемыми колесами (осями) полуприцепа для обеспечения необходимых показателей маневренности как при движении вперед, так и задним ходом. Для этого разработан алгоритм управления полуприцепом, в основу которого положена зависимость между углами поворота управляемых колес (оси) полуприцепа в функции угла складывания автопоезда при совпадении на кривой характерных точек тягача и полуприцепа.

Результаты статьи могут быть внедрены в системах управления полуприцепами длиннобазных автопоездов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОПОЕЗД, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, УПРАВЛЯЮЩАЯ СВЯЗЬ, ПЕРЕДАТОЧНОЕ ОТНОШЕНИЕ, АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ, ПОЛУПРИЦЕП.

**АВТОРИ:**

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Автомобілі», завідувач кафедри «Автомобілі», тел.280-42-52, Україна 01010, м.Київ, вул. Суворова 1, к.301.

Поляков В.М., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри «Автомобілі», тел.280-42-52, Україна 01010, м.Київ, вул. Суворова 1, к.306.

Босенко Володимир Миколайович, аспірант кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету, тел. 280-42-52, Україна 01010, м.Київ, вул. Суворова 1, к.306.

Гуменюк Павло Олександрович, аспірант кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету, тел.. 280-42-52, Україна 01010, м.Київ, вул. Суворова 1, к.306.

**AUTHOR:**

Sakhno Vladimir Prokhorovich, Doctor of Engineering, professor, National transport university, professor of Avtomobili chair, head of the department «Avtomobili», ph. 280-42-52, Ukraine 01010, Kiev, Suvorova St. 1, к.301.

Poliakov Victor.Mihaylovich., candidate of technical sciences, associate professor, National transport university, professor of Avtomobili chair, ph. 280-42-52, Ukraine 01010, Kiev, Suvorova St. 1, к.306.

Bosenko Vladimir Nikolaevich, graduate student of Avtomobili chair of National transport university, bodies. 280-42-52, Ukraine 01010, Kiev, Suvorova St. 1, к.306.

Gumenyuk Pavel Aleksandrovich, graduate student of Avtomobili chair of National transport university, bodies. 280-42-52, Ukraine 01010, Kiev, Suvorova St. 1, к.306.

**АВТОРЫ:**

Сахно Владимир Прохорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Автомобили», заведующий кафедрой «Автомобили», тел.280-42-52, Украина 01010, г.Киев, ул. Суворова 1, к.301.

Поляков В.М., кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Автомобили», тел.280-42-52, Украина 01010, г.Киев, ул. Суворова 1, к.306.

Босенко Владимир Николаевич, аспирант кафедры «Автомобили» Национального транспортного университета, тел. 280-42-52, Украина 01010, г.Киев, ул. Суворова 1, к.306.

Гуменюк Павел Александрович, аспирант кафедры «Автомобили» Национального транспортного университета, тел. 280-42-52, Украина 01010, г.Киев, ул. Суворова 1, к.306.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, завідувач кафедри автоніки та управління на транспорті, Луганськ, Україна

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедрою двигуни і теплотехніка, Київ, Україна

**REVIEWER:**

Kravchenko O.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, head department of autonics and transport management, Lugansk, Ukraine.

Gutarevych Y.F., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head department of engines and heating engineering, Kyiv, Ukraine.