

УДК 629.113  
UDC 629.113

### ДО ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ МАНЕВРЕНОСТІ ГІБРИДНИХ АВТОПОЇЗДІВ ЗА РІЗНИХ СХЕМ УПРАВЛІННЯ НАПІВПРИЧЕПОМ

Сахно В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Поляков В.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Ященко Д.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Босенко В.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Лисенко О.О. Національний транспортний університет, Київ, Україна

### COMPARATIVE EVALUATION OF MANEUVERABILITY TO HYBRID ROAD-TRAIN FOR DIFFERENT CONTROL SCHEMES SEMITRAILER

Sakhno V.P., Doctor of Science in Technology, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Poliakov V.M., Ph.D in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Yaschenko D.M., Ph.D in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Bosenko V.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Lysenko O.O. National Transport University, Kyiv, Ukraine

### К СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ МАНЕВРЕННОСТИ ГИБРИДНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПО РАЗЛИЧНЫМ СХЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛУПРИЦЕПА

Сахно В.П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Поляков В.М., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Ященко Д.М., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Босенко В.Н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Лысенко А.А. Национальный транспортный университет, Киев, Украина

**Постановка проблеми.** 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. Очевидно, що новим транспортним машинам притаманні свої характерні особливості і поява їх диктує необхідність придання цим машинам певних якостей взагалі і, зокрема, відповідних властивостей по поворотливості зокрема, які при звичайних конструктивних схемах і системах управління поворотом отримати неможливо. Аналіз показує, що застосування тієї або іншої компоновальної схеми або системи управління поворотом на деяких автомобілях і автопоїздах (наприклад, всеколісне управління) не завжди виправдане, що можна пояснити недостатністю теоретичних досліджень питань криволінійного руху і, отже, рухливості машини, зокрема довгобазових автопоїздів. Збільшення довжини автопоїздів обумовлено, перш за все, розвитком перевезень вантажів у контейнерах, що змусило ці довжини погоджувати з розмірами універсальних контейнерів ISO [1]. Поміж з іншим, контейнерні перевезення – один із найбільш зручних і економічних видів доставки вантажів. Зважаючи на те, що вантажні перевезення контейнерів вирізняються високим рівнем безпеки і простотою митного оформлення, вони широко розповсюджені у всьому світі і об'єми їх перевезень зростають із року в рік. Перевезення усіх контейнерів здійснюється, як правило, автомобільними поїздами контейнеровозами. Ці автопоїзди складаються з автомобіля-тягача (сідельного або з універсальним кузовом) і напівпричепа (причепа). Більш економічним є перевезення контейнерів сідельними автопоїздами у складі автомобіля-тягача і спеціалізованого напівпричепа, конструкція якого є у модельному ряду провідних автомобілебудівних компаній світу, таких як Krone, Schmitz Cargobull AG, Fliegl, Rolfo тощо. Зокрема, компанією Fliegl випускається універсальний напівпричіп-контейнеровоз з розсувною рамою, який дозволяє перевозити контейнери загальною довжиною від 20 до 45 футів. При цьому загальна довжина автопоїзда досягає 20 м.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що найбільша ефективність перевезень буде досягтися у тому випадку, коли у повній мірі буде використовуватися уся довжина автопоїзда (22 м) і його вантажопідйомність. Проте, як показали проведені раніше дослідження [2-6] напівпричіп такого автопоїзда повинен бути керованим, вибір та обґрунтування приводу управління яким представляє не до кінця вирішену задачу.

Поворот напівпричепа може здійснюватися чотирма основними способами [7]:

- кінематичний спосіб управління поворотом коліс, осей тощо;
- кінематичний спосіб управління поворотом ланок шарнірно зчленованих АТЗ;
- динамічний спосіб управління АТЗ шляхом регулювання співвідношень кутових швидкостей коліс;
- комбіновані способи управління.

Кінематичний спосіб управління поворотом напівпричепа за допомогою коліс, осей, опор може бути здійснений або однією керованою віссю, або двома. При кінематичному способі управління поворотом напівпричепа можна підвищити маневреність автопоїзда, оскільки при цьому зменшується зміщення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача.

Динамічний спосіб управління, що виконується регулюванням співвідношень кутових швидкостей коліс, відомий давно [7]. Він ґрунтується на використанні еластичності шин, що дозволяє створювати машини з неповоротними колесами і різним ступенем обертальності. Цей спосіб створює передумови істотного поліпшення маневреності колісних машин з невеликою відносною базою  $L/B$ , що характерне для візків напівпричепів.

**Невирішені раніше частини загальної проблеми.** Прагнення поліпшити характеристики керованості і маневреності машини привело до застосування комбінованих способів управління. Комбінований спосіб управління (з основним динамічним) у поєднанні із зчленованими ланками використовується на багатоланкових автопоїздах Летурно. Безступінчате регулювання кутових швидкостей коліс у поєднанні з шарнірним з'єднанням ланок забезпечує високі показники прохідності і маневреності. Проте такий спосіб управління для автопоїздів з довгобазовими напівпричепами не розглядався.

Із розглянутих способів повороту напівпричепів найбільшого розповсюдження отримав кінематичний спосіб, проте з розвитком конструкцій гібридних автопоїздів з активним приводом коліс причіпних ланок перспективним стає і динамічний спосіб повороту напівпричепом, а також комбінований спосіб управління автопоїздом.

**Мета роботи** полягає у порівняльній оцінці маневреності автопоїздів за кінематичного і динамічного способу поворотом напівпричепа.

**Виклад основного матеріалу.** Визначення показників маневреності автопоїздів за різних систем управління поворотом здійснюється шляхом розв'язку системи диференціальних рівнянь, що описує плоскопаралельний рух автопоїзда, рис. 1,2.

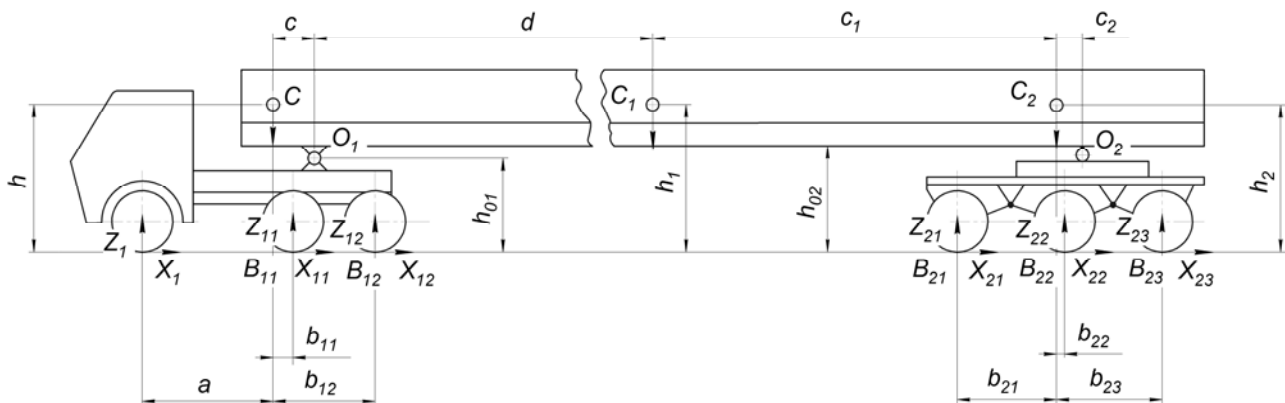


Рисунок 1 – До визначення основних компоувальних параметрів автопоїзда

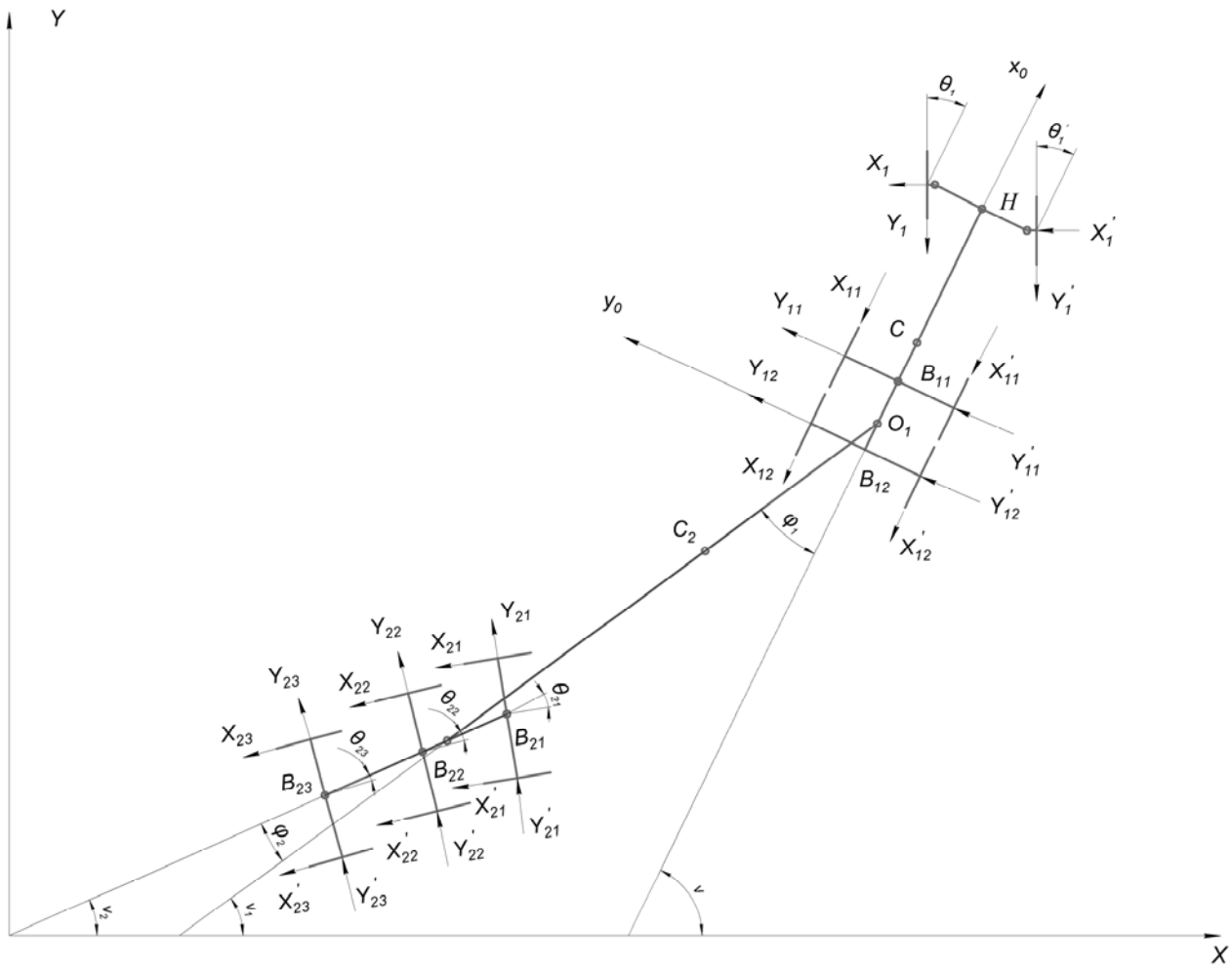


Рисунок 2 – Розрахункова схема автопоїзда на неусталеному повороті

Ця система отримана у роботі [8] і записана у вигляді:

$$(m + m_1 + m_2)V - [m_1 d_1 + m_2 l_1] \sin \varphi_1 + m_2 d_2 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \omega + (m_1 d_1 + m_2 l_1) \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \varphi_1 + m_2 d_2 \times \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \varphi_1 + m_2 d_2 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \varphi_2 + m \omega U + (m_1 + m_2) \omega (U + \omega x) + (m_1 d_1 + m_2 l_1) \times \times \omega_1^2 \cos \varphi_1 - m_2 d_2 \omega_2^2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2)] = Y_1 \sin \theta_1 - X_1 \cos \theta_1 + Y'_1 \sin \theta'_1 - X'_1 \cos \theta'_1 - \sum (X_{1i} + X'_{1i}) + + \sum [(Y_{2j} + Y'_{2j}) \sin(\theta_{2j} + \varphi_2) - (X_{2j} + X'_{2j}) \cos(\theta_{2j} + \varphi_2)] - \sum X_{2j\ddot{a}\ddot{e}} \cos(\theta_{2j} + \varphi_2)$$

$$(m + m_1 + m_2)U - [c(m_1 + m_2) + (m_1 d_1 + m_2 l_1) \cos \varphi_1 + m_2 d_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \omega + (m_1 d_1 + m_2 l_1) \times \times \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \varphi_1 + m_2 d_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \varphi_2 + (m + m_1 + m_2) \omega V - (m_1 d_1 + m_2 l_1) \omega_1^2 \sin \varphi_1 - - m_2 d_2 \omega_2^2 \sin(\varphi_1 + \varphi_2)] = Y_1 \cos \theta_1 - X_1 \sin \theta_1 + Y'_1 \cos \theta'_1 - X'_1 \sin \theta'_1 + \sum (Y_{1i} + Y'_{1i}) + + \sum [(Y_{2j} + Y'_{2j}) \cos(\theta_{2j} + \varphi_2) - (X_{2j} + X'_{2j}) \sin(\theta_{2j} + \varphi_2)] - \sum X_{2j\ddot{z}\ddot{a}} \sin(\theta_{2j} + \varphi_2) - c(m_1 + m_2)U + \{I + c^2(m_1 + m_2) + c[(m_1 d_1 + m_2 l_1) \cos \varphi_1 + m_2 d_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2)]\} \varphi_1 - - cm_2 d_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \varphi_2 - c(m_1 + m_2) \omega V + c[(m_1 d_1 + m_2 l_1) \omega_1^2 \sin \varphi_1 + m_2 d_2 \omega_2^2 \sin(\varphi_1 + \varphi_2)] = = (X_1 \sin \theta_1 - Y_1 \cos \theta_1)(\varepsilon \sin \theta_1 + a) + (Y'_1 \cos \theta'_1 - X'_1 \sin \theta'_1)(a + \varepsilon \sin \theta'_1) + (Y_1 \sin \theta_1 + X_1 \cos \theta_1) \times \times (H + \varepsilon \cos \theta_1) - (Y'_1 \sin \theta'_1 + X'_1 \cos \theta'_1)(H + \varepsilon \cos \theta'_1) - c \sum [(Y_{2j} + Y'_{2j}) b_{2j} - c \sum [(Y_{2j} + Y'_{2j}) \times \times \cos(\theta_{2j} + \varphi_2) - (X_{2j} + X'_{2j}) \sin(\theta_{2j} + \varphi_2)] - \sum X_{2j\ddot{z}\ddot{a}} \sin(\theta_{2j} + \varphi_2) \times B / 2;$$

$$\begin{aligned}
 & (m_1 d_1 + m_2 l_1) \sin \varphi_1 V + (m_1 d_1 + m_2 l_1) \cos \varphi_1 U - [I_1 + m_1 d_1 (c \cos \varphi_1 + d_1) - m_2 l_1 (l_1 + c \cos \varphi_1 + \\
 & + d_2 \cos \varphi_2)] \omega + [I_1 + m_1 d_1^2 + m_2 l_1 (d_2 \cos \varphi_2 + l_1)] \dot{\varphi}_1 + I_1 m_2 d_2 \cos \varphi_2 \times \dot{\varphi}_2 + [V \cos \varphi_1 - \\
 & - (U - \omega c) \sin \varphi_1] (m_1 d_1 + m_2 d_2) - m_2 d_2 l_1 \omega_2^2 \sin \varphi_1 = \sum l_1 [(X_{2j} + X'_{2j}) \sin(\theta_{2j} + \varphi_2) + \\
 & + (Y_{2j} + Y'_{2j}) \cos(\theta_{2j} + \varphi_2)] + M_1 - M_{\text{зан}}; \\
 & [m_2 d_2 \sin(\varphi_1 + \varphi_2)] V + [(m_2 d_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) U - (I_2 + m_2 d_2 [c \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + d_2 + l_1 \cos \varphi_2]) \omega \\
 & + [I_2 + m_2 d_2^2 (d_2 + l_1 \cos \varphi_2)] \dot{\varphi}_1 + (I_2 + m_2 d_2^2) \dot{\varphi}_2 + [V \cos \varphi_1 - (U - \omega c) \sin \varphi_1] m_2 d_2 \omega + \\
 & + m_2 d_2 l_1 \omega_2^2 \sin \varphi_2 = \sum \{ -H_2 (X_{2j} + X'_{2j}) + (d_2 + b_{2j}) \times [(X_{2j} + X'_{2j}) \times \sin \theta_{2j} + \\
 & + (Y_{2j} + Y'_{2j}) \cos \theta_{2j}] \} + M_{\text{зан}}. \tag{1}
 \end{aligned}$$

У системі рівнянь (1) прийняті наступні спрощення та припущення [8]:

- гіроскопічні моменти та невірноважені моменти частин, які обертаються, не враховуються;
- в шарнірах рульового приводу відсутні люфти;
- автомобіль рухається по рівній горизонтальній поверхні;
- розглядається плоска «велосипедна» схема автомобіля;
- кути повороту зовнішнього і внутрішнього коліс рівні між собою, тобто

$$\theta_3 = \theta_6 = \theta \quad i \quad \theta_{23} = \theta_{26} = \theta_2 \tag{2}$$

- основною траєкторією є траєкторія центра мас;
- взаємодія коліс з опорною поверхнею в бічному напрямку описується через реакцію полотна дороги як функція кута відведення нелінійною гіпотезою [9]:

$$Y = k_1 \delta^1 - k_2 \delta^3 + k_3 \delta^5 - \dots ; \tag{3}$$

- стабілізуючі моменти шин також описуються як нелінійна залежність від кута відведення

$$M_1 = \sigma_1 \delta^1 - \sigma_2 \delta^3 + \sigma_3 \delta^5 - \dots , \tag{4}$$

де  $k_1, k_2, k_3, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – приведені характеристики шин коліс осі ККМ;

$m, I$  – маса і центральний момент інерції тягача відносно вертикальної осі;

$m_2, I_2$  – те ж саме для напівпричепи;

$\vartheta, \vartheta_1$  – курсові кути тягача і напівпричепи;

$\varphi_1$  – кут складання між тягачем і напівпричепом;

$v, u, v_2, u_2$  – поздовжня та бокова проекції швидкості центра мас тягача і напівпричепи на осі рухомої системи координат, що постійно пов'язані з ними;

$\omega$  – кутова швидкість тягача;

$M_{\text{гал}} = f(\varphi_k, \varphi_k)$  – гальмівний момент на колесі осі причепа, що використовується для корекції траєкторії руху автопоїзда;

$X_{i,j}, Y_{i,j}, X'_{i,j}, Y'_{i,j}$  – поздовжні та бокові реакції полотна дороги на колеса лівого і правого борту тягача і напівпричепи.

Якщо позначити коефіцієнт опору бічному відведенню у випадку відсутності поздовжніх сил на колесі через  $k_o$ , то величина  $k$ , визначиться за формулою [9]:

$$k = k_o \frac{\sqrt{1 - (X / (\varphi G))^2}}{1 + 0,375 X / G}, \tag{5}$$

де  $G$  – вертикальне навантаження на колесо;  $X$  – величина поздовжньої сили, що задається співвідношенням

$$X = \begin{cases} M_{\Gamma} / r, \text{ якщо } M / r < \varphi G \\ \varphi G, \text{ якщо } M / r \geq \varphi G \end{cases}, \tag{6}$$

де  $M_{\Gamma}$  – гальмівний момент, що прикладений до колеса причепа.

Кути відведення керованої осі тягача записані у вигляді [8]:

$$\delta_1 = \theta_1 - \arctg \frac{U + \omega(a - \varepsilon \sin \theta_1) - \theta_1 \varepsilon \sin \theta_1}{V - \omega(H + \varepsilon \cos \theta_1) - \theta_1 \varepsilon \cos \theta_1} \quad (7)$$

$$\delta_1' = \theta_1' - \arctg \frac{U + \omega(a - \varepsilon \sin \theta_1') - \theta_1' \varepsilon \sin \theta_1'}{V - \omega(H + \varepsilon \cos \theta_1') - \theta_1' \varepsilon \cos \theta_1'} \quad (8)$$

Кути відведення задніх осей тягача з неповоротними колесами записані у вигляді [8]:

$$\delta_{1i} = \arctg \frac{-U + b_i \omega}{V - \omega H}, \quad \delta_{1i}' = \arctg \frac{-U + b_i \omega}{V + \omega H} \quad (i=1,2) \quad (9)$$

Кути відведення коліс осей напівпричепа [8]:

$$\delta_{2j} = -\theta_{2j} - \arctg \frac{(U_2 - \omega_2 b_2) + H(\omega_2 - \theta_{2j}) \sin \theta_{2j}}{V_2 - H(\omega_2 - \theta_{2j}) \cos \theta_{2j}}, \quad (10)$$

$$\delta_{2j}' = -\theta_{2j}' - \arctg \frac{(U_2 - \omega_2 b_2) - H(\omega_2 - \theta_{2j}') \sin \theta_{2j}'}{V_2 + H(\omega_2 - \theta_{2j}') \cos \theta_{2j}'} \quad (11)$$

Величини  $V$ ,  $U$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$  знаходяться із динамічних рівнянь автопоїзда.

Швидкості центра мас і курсовий кут ланок автопоїзда визначаються за допомогою кінематичних рівнянь [8]:

$$\dot{x} = V \cos \theta - U \sin \theta, \quad \dot{y} = V \sin \theta + U \cos \theta, \quad \dot{\theta} = \omega \quad (12)$$

Геометричні параметри автопоїзда, рис.1.2:

$$a=CA, \quad b_{1i}=CB_{1i} \quad (i=1,2), \quad c=CO_1; \quad d_1=O_1C_1, \quad c_1=C_1O_2, \quad l_1=d_1+c_1, \quad d_2=O_2C_2, \quad b_{2j}=C_2B_{2j} \quad (j=1,2,3), \quad l_2=b_{21}+b_{23} \quad (13)$$

Для автопоїзда з керованим напівприцепом габаритні радіуси повороту і ГСР можна визначити за умови, що визначено кут складання автопоїзда.

Диференціальне рівняння кута складання автопоїзда з керованим напівприцепом за жорстких у бічному напрямку колес записується у вигляді [10]:

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_0 \left[ 1 - \frac{L \sin \left( \frac{\varphi_1}{i_1} - \alpha_0 \right)}{L_2 \operatorname{tg} \theta \cos \alpha_0 \cos \left( \frac{\varphi_1}{i_1} - \varphi_1 \right)} \right], \quad (14)$$

де  $\omega_0 = \frac{v \operatorname{tg} \theta}{L}$  - кутова швидкість повороту тягача;

$L$  - база тягача;

$\theta$  - середній кут повороту керованих коліс тягача;

$L_2$  - база напівпричепа;

$c_0$  - відстань від характерної точки тягача до точки зчипки з напівприцепом;

$R = \frac{L}{\operatorname{tg} \theta}$  - миттєвий центр повороту тягача;

$\alpha_0 = \arctg \frac{c_0}{R}$  - кут, що визначає положення точки зчипки тягача і напівпричепа;

$i_1$  - передаточне відношення приводу управління колесами напівпричепа, яке лежить в межах 0,3...0,5 [10]; для автопоїзда, що розглядається, прийнято рівним 0,5 [10].

Розв'язок рівняння (14) можливий лише за умови його лінеаризації, яку можливо виконати, якщо прийняти, що швидкість і кутова швидкість повороту тягача і напівпричепа величини стали і визначена фаза повороту автопоїзда.

Автопоїзд на повороті може знаходитися в одній із чотирьох фаз руху [10]:

1. Вхідна перехідна траєкторія – рівномірний поворот керованих коліс тягача  $\theta = \theta \times t$ . При цьому поворот керованих коліс продовжується до того часу, поки зовнішня габаритна точка тягача не почне рухатися по дузі кола радіусом 12,5 м. Для першої фази повороту кут складання  $\varphi_1$  визначається як

$$\varphi_1 = \frac{(L_2 + c) i_1}{L} \times \left\{ \theta - L_2 i_1 k_1 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\theta}{L_2 i_1 k_1}\right) \right] \right\}, \quad (15)$$

де  $k_1$  – режимний коефіцієнт при вході автопоїзда в поворот.

Розв’язок рівняння (15) для автопоїзда загальною довжиною 20,0 м, базою тягача 3,5 м і базою напівпричепа 9,0 м на вході в поворот виконаємо з використанням програмного забезпечення Maple 12.

На рис. 3 наведені результати розрахунку кута складання автопоїзда при вході в поворот. Цей рух продовжується до тих пір поки сумарний кут повороту автопоїзда  $\gamma$ , що визначається від початку повороту, не стане рівним  $\gamma_2 = \beta - \psi$  ( $\beta$  – заданий кут повороту автопоїзда;  $\psi$  – кут повороту автопоїзда в кінці першої фази).

Як слідує з рис. 3, етап входу в поворот закінчується за кута повороту керованих коліс тягача в межах 0,50...0,55 рад.

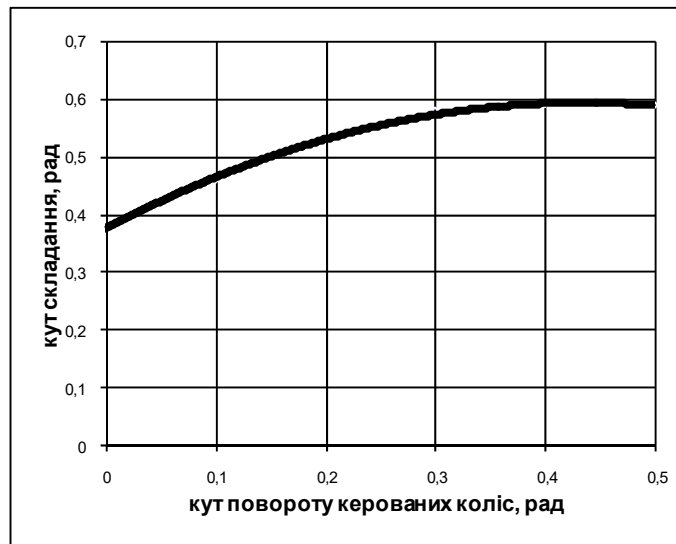


Рисунок 3 – Залежність кута складання автопоїзда від кута повороту керованих коліс тягача на вході в поворот

2. Рух автопоїзда по колу за умови, що  $\theta = const$  і  $R = const$ . Цей рух продовжується до тих пір, поки сумарний кут повороту автопоїзда  $\psi$ , що визначається від початку повороту, не стане рівним  $\psi_2 = \alpha - \psi_1$  ( $\alpha$  – заданий кут повороту автопоїзда;  $\psi_1$  – кут повороту тягача в кінці першого фази). Кут складання автопоїзда визначиться як

$$\varphi_1 = \varphi_1(\tau_1) \exp\left(-\frac{R \times \varphi_1}{L_2 i_1}\right) + \frac{(L_2 + c) i_1}{L} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{R \varphi_1}{L_2 i_1}\right) - \varphi_0 \right\} \quad (16)$$

Розв’язок рівняння (16) для автопоїзда, що розглядається, за колового руху при різних значеннях кута повороту керованих коліс тягача виконаємо з використанням програмного забезпечення Maple 12.

На рис. 4 наведені результати розрахунку кута складання автопоїзда за колового руху. Помітимо, що розрахунки кута складання автопоїзда починаються за кута повороту керованих коліс тягача досягнутого в кінці першої фази повороту.

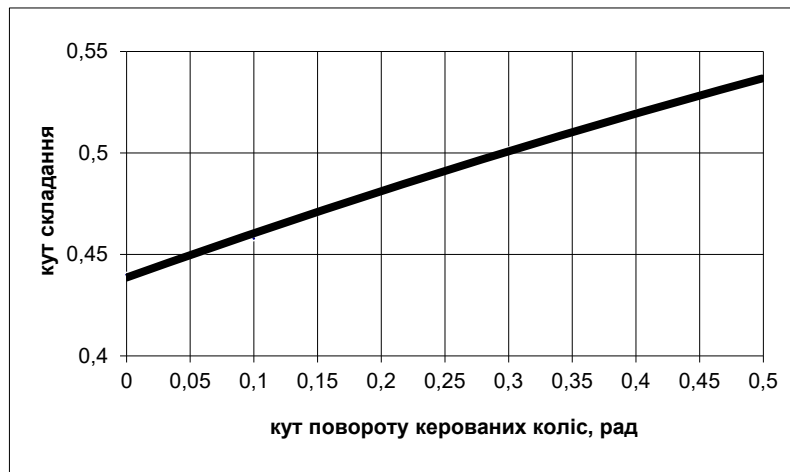


Рисунок 4 – Залежність кута складання автопоїзда від кута повороту керованих коліс тягача за колового руху

3. На початку виходу автопоїзда з кругової траєкторії поворот керованих коліс продовжується до моменту, поки  $\theta = \theta' - \theta \times t = 0$  ( $\theta$  – кут повороту керованих коліс на круговій траєкторії), тобто кут повороту керованих коліс автомобіля-тягача не стане рівним нулю. Кут складання у цій фазі визначиться як

$$\varphi_1 = \varphi_1(\tau_2) \exp\left(-\frac{\theta' - \theta}{L_1 i_1 k_2}\right) + \frac{(L_1 + c) i_1}{L_0} \times \left\{ \theta + L_1 i_1 k_2 \times \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\theta' - \theta}{L_1 i_1 k_2}\right) \right] - (\theta' - \theta) \right\}, \quad (17)$$

де  $k_2$  – режимний коефіцієнт при виході автопоїзда з повороту.

На рис. 5 наведені результати розрахунку кута складання автопоїзда на початку виходу з кругової траєкторії.

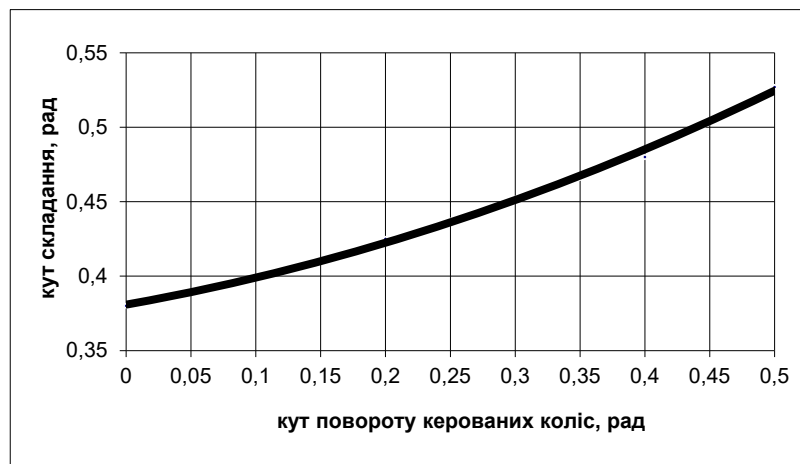


Рисунок 5 – Залежність кута складання автопоїзда від кута повороту керованих коліс тягача на початку виходу з кругової траєкторії

Помітимо, що розрахунки кута складання автопоїзда починаються за кута повороту керованих коліс тягача, досягнутого в кінці другої фази повороту, а саме колового руху автопоїзда.

4. За прямолінійного руху автопоїзда  $\theta = 0$ . Кут складання визначиться як [10]

$$\varphi_1 = \varphi_1(\tau_3) \exp\left(-\frac{S}{L_1 i_1}\right) \quad (18)$$

На рис. 6 наведені результати розрахунку кута складання автопоїзда за прямолінійного руху. Помітимо, що розрахунки кута складання автопоїзда починаються за кута повороту керованих коліс тягача, досягнутого в кінці третьої фази повороту, а саме на початку виходу автопоїзда з кругової траєкторії.

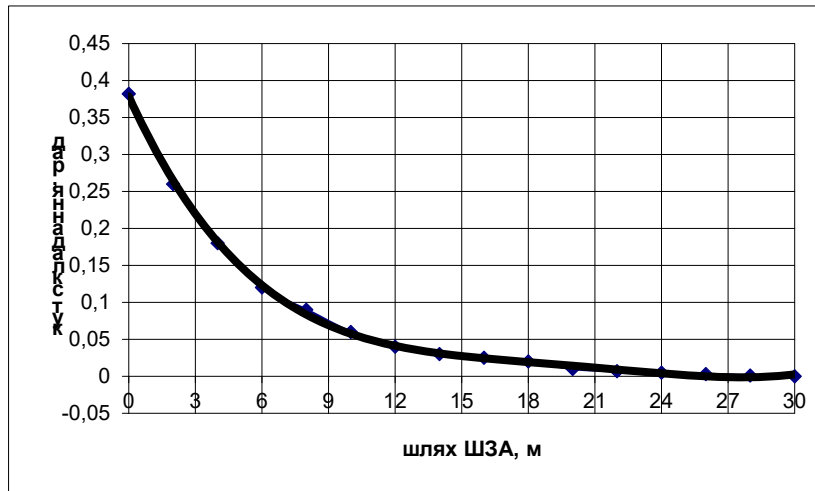


Рисунок 6 – Зміна кута складання автопоїзда за прямолінійного руху

За отриманими рівняннями для кута складання автопоїзда при заданому передаточному відношенні приводу управління осями напівпричепа з використанням програмного забезпечення Maple 12 проінтегровані рівняння (1) і визначені габаритні радіуси автопоїзда за різних схем управління поворотом, а також габаритна смуга руху для різних видів повороту. Помітимо, що різні види повороту автопоїзда визначаються довжиною перехідної траєкторії, яка визначається часом і швидкістю руху автопоїзда, кутом повороту кругової траєкторії і довжиною вихідної траєкторії.

На рис. 7...12 наведені траєкторії руху ланок автопоїзда і габаритна смуга руху при виконанні автопоїздом різних маневрів, а саме – рух по колу, повороти на  $90^{\circ}$  і  $180^{\circ}$ .

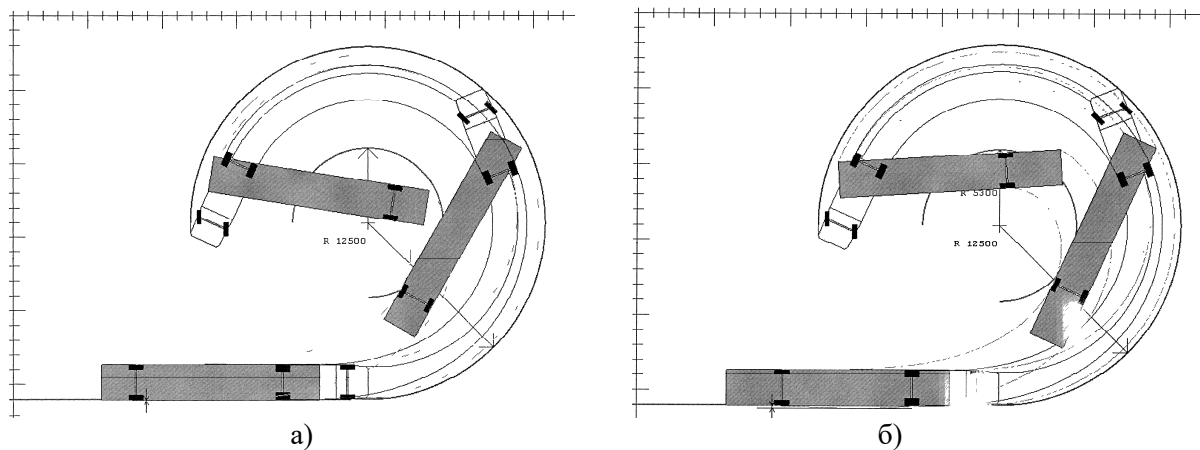


Рисунок 7 – Траєкторії руху ланок і габаритна смуга руху автопоїзда з некеруванним (а) і за динамічного способу повороту напівпричепом (б)

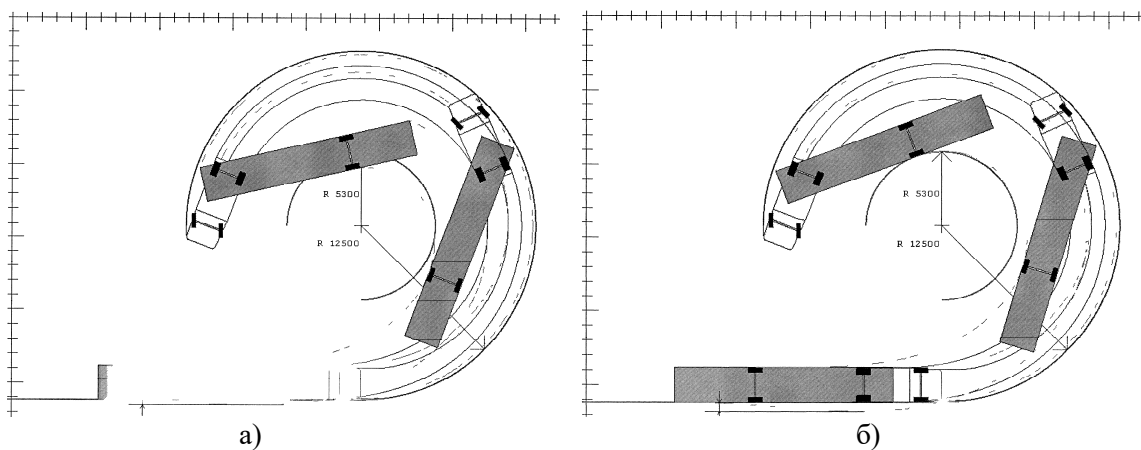


Рисунок 8 – Траєкторії руху ланок і габаритна смуга руху автопоїзда з керуванним за кінематичним (а) і кінематичним + динамічним способом повороту напівпричепом (б)



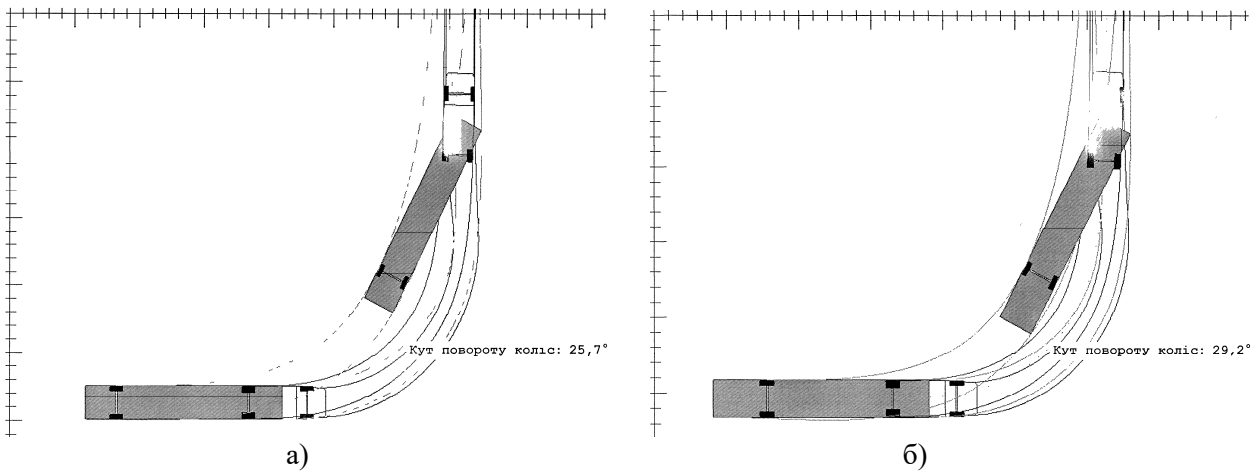


Рисунок 9 – Траєкторії руху ланок і габаритна смуга руху автопоїзда при повороті на 90° з некерованим (а) і за динамічного способу повороту напівпричепом (б)

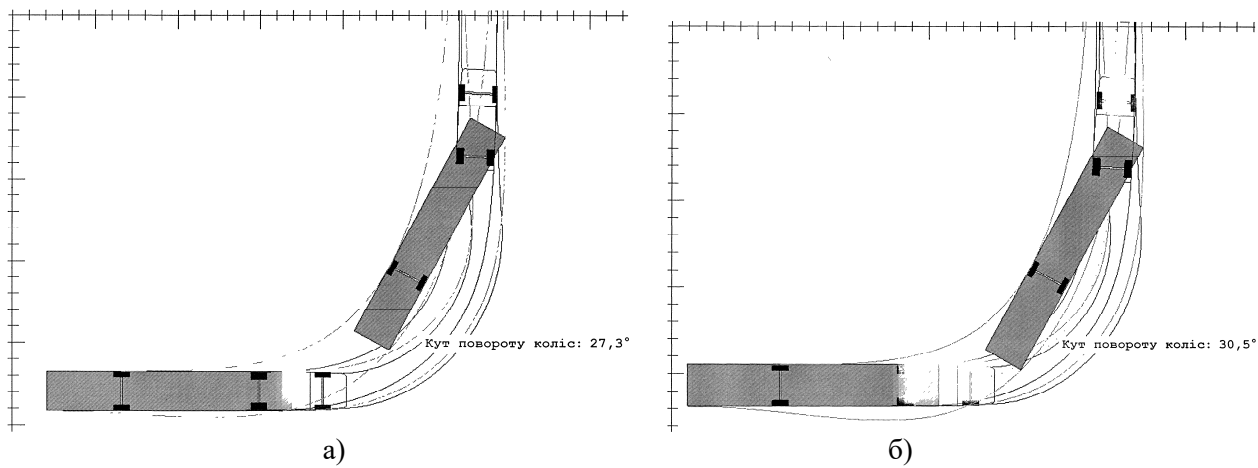


Рисунок 10 – Траєкторії руху ланок і габаритна смуга руху автопоїзда при повороті на 90° з керованим за кінематичним (а) і кінематичним + динамічним способом повороту напівпричепом (б)

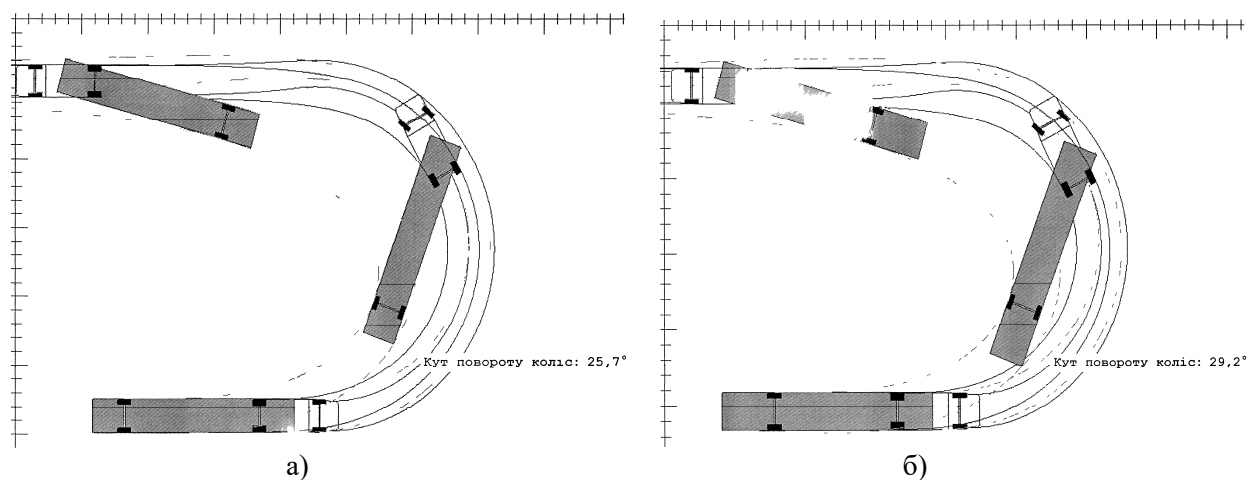


Рисунок 11 – Траєкторії руху ланок і габаритна смуга руху автопоїзда при повороті на 180° з некерованим (а) і за динамічного способу повороту напівпричепом (б)

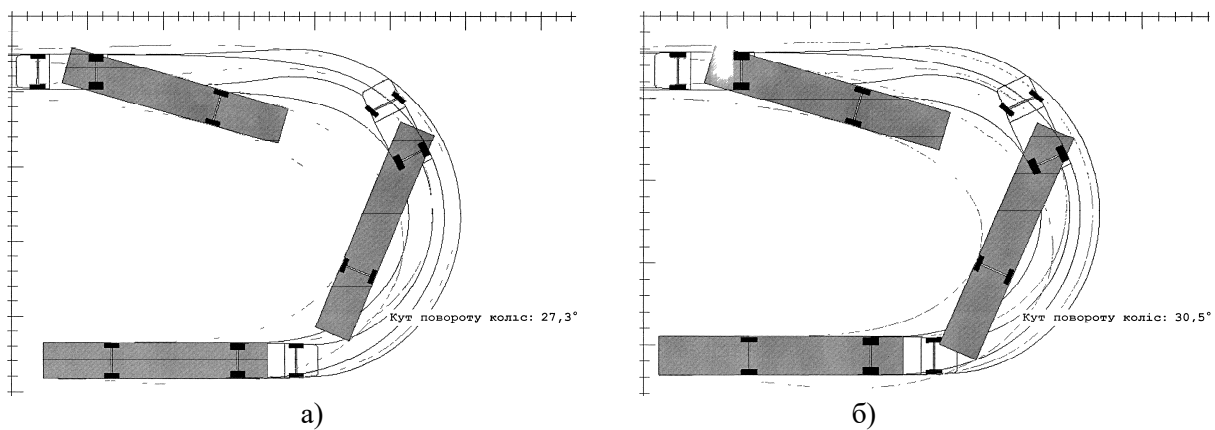


Рисунок 12– Траєкторії руху ланок і габаритна смуга руху автопоїзда при повороті на 180° з керованим за кінематичним (а) і кінематичним + динамічним способом повороту напівпричепом (б)

Аналіз наведених графіків показує, що для автопоїзда з базою напівпричепи 9,0 м і загальною довжиною 20,0 м при виконанні типових поворотів на 90° і 180° застосування динамічного, кінематичного і комбінованого способу повороту зменшує ГСР автопоїзда на повороті у порівнянні з автопоїздом з некерованим напівпричепом відповідно на 10...12%, 13...16%, 20...24%. Проте виконання вимог DIRECTIVE 2002/7/EC (коловий рух автопоїзда) можливе лише за комбінованого способу управління, тобто за кінематичного способу управління колесами осей напівпричепи і гальмуванням коліс одного борту. Ні за кінематичного, ні за динамічного способу повороту виконати вимоги Директиви неможливо, тобто необхідний принципово другий спосіб повороту.

**Висновки.** Поліпшення маневреності довгобазових автопоїздів досягається за рахунок керованих напівпричепів. Розглянуті поширені способи управління напівпричепом, зокрема кінематичний, динамічний і комбінований. Встановлено, що для автопоїзда з базою напівпричепи 9,0 м і загальною довжиною 20,0 м виконання вимог DIRECTIVE 2002/7/EC можливе лише за комбінованого способу управління, тобто за кінематичного способу управління колесами осей напівпричепи і гальмуванням коліс одного борту. Ні за кінематичного, ні за динамічного способу повороту виконати вимоги Директиви неможливо, тобто необхідний принципово другий спосіб повороту.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Транспортные контейнеры // <http://www.con-com.ru/info>.
2. Сахно В.П., Стельмащук В.В., Придюк В.М. До визначення показників маневреності автопоїзда-контейнеровоза // Проблеми автомобільного транспорту: Збірник наукових праць: Випуск 8. – Київ: НТУ, 2011. – С.157-165.
3. Сахно В.П. До визначення показників маневреності автопоїзда-контейнеровоза /В.П.Сахно, Р.М.Кузнецов, В.П.Онищук // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2010.- Випуск № 28. -С. 478-484.
4. Сахно В.П. До вибору типу приводу управління напівпричепом довгобазового автопоїзда-контейнеровоза /В.П.Сахно, П.І.Гуменюк, Р.М.Марчук, В.М.Сондак //Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник ПНЦ ТАУ. – 2011. – Вип. 14. – С.
5. Сахно В.П., Загороднов М.І., Гейко С.В., Кізуб Р.Г., Сондак В.М. Шляхи підвищення маневреності автопоїзда з керованим довгобазним напівпричепом /В.П.Сахно, М.І.Загороднов, С.В.Гейко, Р.Г.Кізуб, В.М.Сондак //Автошляховик України. –2001. - №1. С.19-21.
6. Сахно В.П. До визначення конструктивних і компоновальних параметрів автопоїзда-контейнеровоза / Сахно В.П., Онищук В.П., Придюк В.М. // Вісник НТУ. — К.:НТУ, 2009. —№19.- С.80-83.

7. Бобошко А.А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин /А.А.Бобошко. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2006. – 172 с.
8. Володимир Сахно, Роман Марчук, Микола Файчук. Дослідження маневреності і стійкості автопоїзда-контейнеровоза при криволінійному русі за різних схем управління напівпричепом // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery // Commission of motorization and energetics in agriculture // MOTROL, Vol. 14, No. 4. – Lublin, 2012. – С. 185–191.
9. Автомобили. Устойчивость: Монография /В.Г.Вербицкий, В.П.Сахно, А.П. Кравченко, А.В.Костенко, А.Э.Даниленко.–Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2013.–176 с.:
10. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда /Я.Х.Закин.- М.: Транспорт, 1986.–137 с.
11. 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.

#### REFERENCES

1. Shipping container //http://www.con-com.ru/info. (Rus)
2. Sakhno VP, Stelmashchuk VV, VM Prydyuk By the determination of the mobility-train container truck transport // Problems: Collected Works, Vol. 8 - Kyiv, NTU, 2011. - p.157-165. (Ukr)
3. Sakhno VP By the determination of the mobility-train container /V.P.Sahno, R.M.Kuznyetsov, V.P.Onyschuk // Interuniversity collection "Science notes". Luck, 2010.- № 28. Issue -С. 478-484. (Ukr)
4. Sakhno VP The choice of the type of drive train control vehicle long-base container /V.P.Sahno, P.I.Humenyuk, R.M.Marchuk, V.M.Sondak // Avtoshlyahovyk Ukraine. Installment. Bulletin PNTS Tau. - 2011. - Vol. 14 - p. (Ukr)
5. Sakhno VP Zahorodnov MI, Heiko SV Kizub RG, VN Sondak Ways to increase the flexibility of the train operated vehicle long-base /V.P.Sahno, M.I.Zahorodnov, S.V.Heyko, R.H.Kizub, V.M.Sondak // Avtoshlyahovyk Ukraine. -2001. - №1. p.19-21. (Ukr)
6. Sakhno VP By determining the design and layout options-train container / Sakhno VP Onischuk VP, VM Prydyuk // Vestnik NTU. K : NTU, 2009. №19.- p.80-83. (Ukr)
7. Boboshko AA Non-traditional ways of maneuvering wheeled vehicles /A.A.Boboshko machines. - Kharkov: Publishing House HNADU, 2006. - 172 p. (Ukr)
8. Vladimir Sakhno Roman Marchuk Nikolai Faychuk. Research maneuverability and stability train container with curvilinear motion under different management schemes vehicle // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery // Commission of motorization and energetics in agriculture // MOTROL, Vol. 14, No. 4. - Lublin, 2012. - p. 185-191. (Ukr)
9. Car. Stability: monograph /V.H.Verbytskyy, V.P.Sahno, AP Kravchenko A.V.Kostenko, A.E.Danylenko.-Lugansk: Publishing House "Noulydzh", 2013.-176 pp .: (Ukr)
10. Zakyn Ya.H. Manevrennost car and road-train /Ya.H.Zakyn.- М .:Transport, 1986.-137 with. (Rus)
11. 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)

#### РЕФЕРАТ

Сахно В.П. До порівняльної оцінки маневреності гібридних автопоїздів за різних схем управління напівпричепом/ Сахно В.П., Поляков В.М., Яценко Д.М., Босенко В.М., Лисенко О.О. // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 3 (39).

У статті проведено аналіз способів повороту напівпричепів сідельних автопоїздів та визначені показники їх маневреності при виконанні різних поворотів.

Об’єкт дослідження – способи управління поворотом напівпричепів довгобазових автопоїздів.

Мета роботи – порівняльна оцінка маневреності автопоїздів за кінематичного і динамічного способу поворотом напівпричепа.

Методи дослідження – аналітичний, порівняльний.

Сучасний стан розвитку рухомого складу автомобільного транспорту характеризується різноманітністю 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. Очевидно, що новим транспортним машинам притаманні свої характерні особливості і поява їх диктує необхідність придання цим машинам певних якостей взагалі і, зокрема, відповідних властивостей поворотливості зокрема, які при звичайних конструктивних схемах і системах управління поворотом отримати неможливо. Тому у роботі розглянуті основні способи повороту напівпричепів довгобазових автопоїздів, зокрема кінематичний, коли траєкторія руху напівпричепа визначалася за кутом повороту керованих коліс напівпричепа у функції кута складання автопоїзда, динамічний, коли траєкторія руху напівпричепа корегувалася шляхом гальмування коліс одного борту напівпричепа і комбінований, коли траєкторія руху напівпричепа визначалася як кутом складання автопоїзда, так і гальмівним моментом на колесах одного борту напівпричепа. Визначення показників маневреності автопоїздів за різних способів управління напівпричепом при виконанні різноманітних маневрів здійснено шляхом розв’язку системи диференціальних рівнянь плоскопаралельного руху автопоїзда. При цьому розглянуті основні фази повороту автопоїзда та визначені залежності кута складання автопоїзда від кута повороту керованих коліс тягача, зокрема для вхідної перехідної траєкторії за рівномірного повороту керованих коліс тягача, при русі автопоїзда по колу за умови незмінності кута повороту керованих коліс тягача і радіуса повороту автопоїзда, на початку виходу автопоїзда з кругової траєкторії, коли кут повороту керованих коліс тягача зменшується від кута повороту за колового руху до нуля і за прямолінійного руху автопоїзда.

За отриманими рівняннями для кута складання автопоїзда при заданому передаточному відношенні приводу управління осями напівпричепа з використанням програмного забезпечення Maple 12 проінтегровані рівняння (1) і визначені габаритні радіуси автопоїзда за різних схем управління поворотом, а також габаритна смуга руху для різних видів повороту. Помітимо, що різні види повороту автопоїзда визначаються довжиною перехідної траєкторії, яка визначається часом і швидкістю руху автопоїзда, кутом повороту кругової траєкторії і довжиною вихідної траєкторії.

Поліпшення маневреності довгобазових автопоїздів досягається за рахунок керованих напівпричепів. Встановлено, що для автопоїзда з базою напівпричепа 9,0 м і загальною довжиною 20,0 м виконання вимог DIRECTIVE 2002/7/EC можливе лише за комбінованого способу управління, тобто за кінематичного способу управління колесами осей напівпричепа і гальмуванням коліс одного борту. Ні за кінематичного, ні за динамічного способу повороту виконати вимоги Директиви неможливо, тобто необхідний принципово другий спосіб повороту.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АВТОПОЇЗД, НАПІВПРИЧІП, МАНЕВРЕНІСТЬ, СПОСІБ УПРАВЛІННЯ ПОВОРОТОМ, ГАБАРИТНА СМУГА РУХУ, РІВНЯННЯ РУХУ АВТОПОЇЗДА

#### ABSTRACT

Sakhno V.P., Polyakov V.M., Yaschenko D.M., Bosenko V.M., Lysenko A.A. By comparative assessment of mobility hybrid trains under different management schemes trailers. Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University, 2017. – Issue 3 (39).

The article analyzes ways to turn semi-truck trains and identified indicators of flexibility when performing various maneuvers.

The object of study – how to control the rotation semi long-base trains.

Purpose – comparative assessment of mobility Vehicle for kinematic and dynamic way to turn semitrailer.

Methods – analytical and comparative.

The current state of rolling stock of road transport is characterized by diversity of types and motor vehicles, trailers and semi-trailers. Along with the most common two-axle vehicles with front steered wheels are increasingly developing new designs with other layout schemes and systems management rotation, cars and trains with all the steered wheels, multi-axle vehicles with a different number and arrangement of the steering wheels, machines with rotary wheels, articulated wheel machines and others. Obviously, the new transporter has its own characteristics and appearance of this requires machines are attached to certain qualities in general and, in particular, the properties turns i in particular that under normal design circuits and systems management rotation cannot be obtained. Therefore, the paper discusses the basic methods for turning semi long-base trains, including kinematic when the trajectory of the semitrailer determined by the angle of the steering wheels of the semitrailer as a function of the angle of drafting train, dynamic, when the trajectory of the semi reshuffled by braking the wheels of one side of the semitrailer and combined, when the trajectory defined as the angle semitrailer train assembly and brake torque on one side wheels of the semitrailer. Definition of indicators of agility trains at different ways of managing vehicle while performing various maneuvers performed by the solution of differential equations of planar motion train. Thus the basic phase rotation train and determined depending on the angle of drafting train on the angle of rotation of the steering wheels of the tractor, including incoming transition path for even turn the steering wheels of the tractor, the motion train to stake held constant angle of rotation of the steering wheels of the tractor and the turning radius train, Released in the early train from circular trajectory when the rotation angle of the steering wheels of the tractor decreases the angle of rotation for the circular motion to zero and a rectilinear motion road train and.

According to the equation for the angle folding train Gear ratio for a given control over the semi-axles using software Maple 12 integrated equation (1) and by overall radius train under different management schemes rotation, and overall traffic lanes for different types of rotation. Note that different types of train rotation determined length of the transition path, defined by time and speed train, circular trajectory angle and length of the initial trajectory.

Improved maneuverability long-base trains is achieved by controlled trailers. Established that the train to the base of the semitrailer 9.0 m and a total length of 20.0 meters the requirements of DIRECTIVE 2002/7 / EC is only possible by the combined method of management, the kinematic mode control wheel axle semi-trailer wheels and braking one side. Under no kinematic or dynamic mode by turning impossible to fulfill the requirements of the Directive that is required essentially another way of rotation.

KEY WORDS: ROAD TRAIN, SEMI-TRAILER, MANEUVERABILITY, CONTROL METOD TRUNS, DIMENSIONAL LANE OF MOVEMENT, EQUATIONS OF ROAD TRAIN MOVEMENT.

#### РЕФЕРАТ

Сахно В.П. К сравнительной оценки маневренности гибридных автопоездов при различных схем управления полуприцепом / Сахно В.П., Поляков В.М., Яценко Д.М., Босенко В.Н., Лысенко А.А. // Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2017. – Вып. 3 (39).

В статье проведен анализ способов поворота полуприцепов седельных автопоездов и определены показатели их маневренности при выполнении различных поворотов.

Объект исследования – способы управления поворотом полуприцепов длиннобазовая автопоездов.

Цель работы - сравнительная оценка маневренности автопоездов с кинематической и динамической способа поворотом полуприцепа.

Методы исследования - аналитический, сравнительный.

Современное состояние подвижного состава автомобильного транспорта характеризуется разнообразием типов и видов автомобилей, прицепов и полуприцепов. Наряду с наиболее распространенными двухосных автомобилями с передними управляемыми колесами получают все

большее развитие новые конструкции с другими компоновочных схем и системами управления поворотом: автомобили и автопоезда со всеми управляемыми колесами, многоосные автомобили с различным числом и расположением управляемых колес, машины с невозвратными колесами, сочлененные колесные машины и тому подобное. Очевидно, что новым транспортным машинам присущи свои характерные особенности и появление их диктует необходимость придания этим машинам определенных качеств вообще и, в частности, соответствующих свойств по поворотливости в частности, которые при обычных конструктивных схемах и системах управления поворотом получить невозможно. Поэтому в работе рассмотрены основные способы поворота полуприцепов длиннобазовых автопоездов, в частности кинематическая, когда траектория движения полуприцепа определялась по углу поворота управляемых колес полуприцепа в функции угла составления автопоезда, динамичный, когда траектория движения полуприцепа корректировалась путем торможения колес одного борта полуприцепа и комбинированный, когда траектория движения полуприцепа определялась как углом составления автопоезда, так и тормозным моментом на колесах одного борта полуприцепа. Определение показателей маневренности автопоездов при различных способах управления полуприцепом при выполнении различных маневров осуществлено путем решения системы дифференциальных уравнений плоскопараллельного движения автопоезда. При этом рассмотрены основные фазы поворота автопоезда и определены зависимости угла составления автопоезда от угла поворота управляемых колес тягача, в частности для входящей переходной траектории за равномерного поворота управляемых колес тягача при движении автопоезда по кругу при условии неизменности угла поворота управляемых колес тягача и радиуса поворота автопоезда, в начале выхода автопоезда с круговой траектории, когда угол поворота управляемых колес тягача уменьшается от угла поворота по круговой движения до нуля и за прямолинейного движения автопоезда.

По полученным уравнениям для угла составления автопоезда при заданном передаточном отношении поводу управления осями полуприцепа с использованием программного обеспечения Maple 12 проинтегрирована уравнения (1) и определены габаритные радиусы автопоезда при различных схем управления поворотом, а также габаритная полоса движения для различных видов поворота. Заметим, что различные виды поворота автопоезда определяются длиной переходной траектории, определяемой временем и скоростью движения автопоезда, углом поворота круговой траектории и длиной исходной траектории.

Улучшение маневренности длиннобазовых автопоездов достигается за счет управляемых полуприцепов. Установлено, что для автопоезда с базой полуприцепа 9,0 м и общей длиной 20,0 м требований DIRECTIVE 2002/7 / ЕС возможно лишь при комбинированного способа управления, то есть по кинематической способа управления колесами осей полуприцепа и торможением колес одного борта. Ни при кинематической, ни за динамического способа поворота выполнить требования Директивы невозможно, то есть необходим принципиально другой способ поворота.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** АВТОПОЕЗД, ПОЛУПРИЦЕП, МАНЕВРЕННОСТЬ, СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ, ГАБАРИТНЫЕ ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ, УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОПОЕЗДА.

**АВТОРИ:**

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор, завідувач кафедри «Автомобілі», e-mail: sakhno@i.ua, тел.(044)280-42-52, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к. 301.

Ященко Дмитро Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Автомобілі», тел.280-42-52, Україна 01010, м.Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.306.

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

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

Лисенко Олексій Олександрович, аспірант кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету, тел. 280-42-52, Україна 01010, м.Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.306.

**AUTHORS:**

Sakhno Volodymyr P., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, professor, head of department of automobile, e-mail: sakhno@i.ua, tel. (044)280-42-52, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 301.

Poliakov Viktor M., Ph.D in Technical Science, assistant of professor, National transport university, professor of the department «Avtomobili», ph. 280-42-52, Ukraine 01010, Kiev, Omelianovycha-Pavlenka St. 1, к.306.

Yaschenko Dmytro N., Ph.D in Technical Science, assistant of professor, National transport university, assistant of professor of the department «Avtomobili», ph. 280-42-52, Ukraine 01010, Kiev, Omelianovycha-Pavlenka St. 1, к.306.

Bosenko Volodymyr M., graduate student of Avtomobili chair of National transport university, bodies. 280-42-52, Ukraine 01010, Kiev, Omelianovycha-Pavlenka St. 1, к.306.

Lysenko Oleksii O., graduate student of Avtomobili chair of National transport university, bodies. 280-42-52, Ukraine 01010, Kiev, Omelianovycha-Pavlenka St. 1, к.306.

**АВТОРЫ:**

Сахно Владимир Прохорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили», e-mail: sakhno@i.ua, тел. (044) 280-42-52, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко 1, к. 301.

Ященко Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Автомобили», тел.280-42-52, Украина 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко 1, к.306.

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

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

Лысенко Алексей Александрович, аспирант кафедры «Автомобили» Национального транспортного университета, тел: 280-42-52, Украина 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко 1, к.306.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Біліченко В.В., доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінниця, України.

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний Транспортний Університет, завідувач кафедри двигунів та теплотехніки, Київ, Україна.

**REVIEWER:**

Bilichenko V.V. Doctor of Technical Science, professor, Vinnytsia National Technical University, Head of the Vehicles and Transport Management Department, Vinnitsa, Ukraine.

Gutarevych Iu.F., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, Head of the Engines and Heating Engineering Department, Kyiv, Ukraine.