

УДК 629.113

*МОЙСЯ Д.Л., ст.викл.,
Донецька академія автомобільного транспорту*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МАНЕВРНОСТІ МАКЕТА ТРИЛАНКОВОГО АВТОПОЇЗДА

Описані методи проведення досліджень масштабної моделі триланкового автопоїзда, що дають можливість за кінематичними характеристиками усталеного руху у сукупності з рівняннями рівноваги визначити значення сил відведення та коефіцієнтів опору відведення.

***Ключові слова:** триланковий автопоїзд, маневреність, коефіцієнти опору відведення, сили відведення*

Вступ

Математична модель для дослідження маневреності триланкового автопоїзда має деякі припущення та спрощення. Для перевірки адекватності отриманих залежностей дуже важливо провести експериментальні дослідження.

Відомі з багатьох літературних джерел підходи до визначення характеристик потребують достатньо складної лабораторно-технічної бази. Відносно простий шлях вирішення цієї проблеми полягає у використанні стенда карусельного типу. У даній роботі методика визначення сил відведення, що притаманна стенду карусельного типу, переноситься на випадок довільного носія, що забезпечує усталений рух ведених ланок.

Мета статті

Метою роботи є визначення методики, обладнання, приладів та пристроїв для вимірювання необхідних параметрів під час експериментального дослідження маневреності сидельного автопоїзда та визначення коефіцієнтів опору відведення, необхідних для встановлення адекватності запропонованої математичної моделі автопоїзда.

Основний розділ

В експерименті проводилось дослідження триланкового автопоїзда, зображення якого представлено на мал.1.

Макет автопоїзда створювався з електромобіля та двох саморобних напівпричепів.

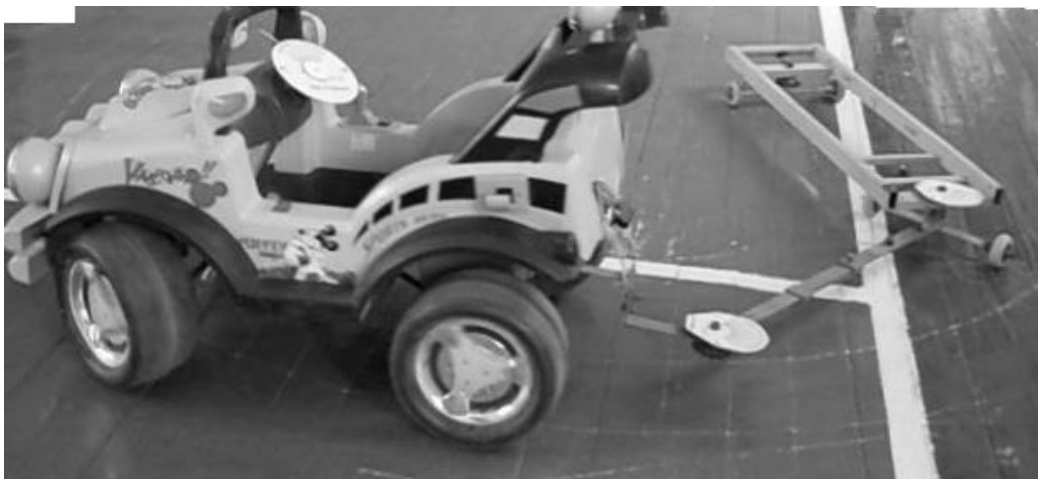


Рис. 1. Загальний вигляд макета автопоїзда

Колеса напівпричепів було виготовлено так, щоб вони мали якість пружного пневматика. Загальну конструкцію колеса відображено на рис. 2.



Рис. 2. Загальний вид колеса напівпричепа

Тиск у колесі має можливість регулюватися за рахунок затяжки гайки, що знаходиться на рисунку ліворуч.

У ході проведення експерименту фіксувалися різноманітні параметри: переміщення характерних точок макета автопоїзда, кутова швидкість, кути складання між ланками.

Траєкторії характерних точок макета автопоїзда фіксувалися за допомогою траєкторієвідмітчиків, що були встановлені на тягачу (2 шт.) та напівпричепях (по 1 шт. на кожному).

На рис. 3 зафіксовано процес відображення траєкторії середини передньої вісі тягача. Траєкторієвідмітчик – це шарнірно закріплена зогнута металева трубка в якій фіксувалася крейда.



Рис. 3. Траєкторієвідмітчик, встановлений на тягачі.

Кут повороту керованих коліс тягача встановлювався до проведення експерименту. На рульовому колесі тягача було встановлено транспортер, що фіксував кут повороту. Також кут перевірявся транспортером (рис. 4).

Кути складання напівпричепів вимірювалися за допомогою транспортерів, встановлених в точках з'єднання ланок макета автопоїзда (рис. 5).

План проведення експерименту. Перед проведенням кожного етапу експерименту на тягачі фіксувався кут керованих коліс, далі автопоїзд розпочинав рух. На першому колі автопоїзд входив в усталений рух, далі автопоїзд робив ще два-три кола для перевірки збігу траєкторій руху траєкторієвідмітчиків (якщо траєкторії збігаються – стан вважався усталеним). За допомогою траєкторій, позначених траєкторієвідмітчиками, та за допомогою геометричних побудов

визначався центр повороту автопоїзда. Центр повороту визначався методом засічок, будувалися дві хорди, що проходять через центр кола.

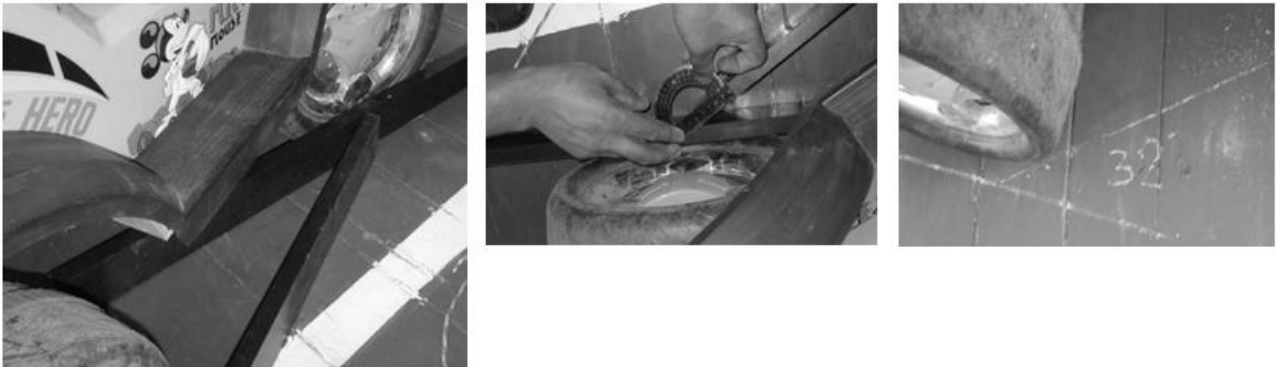


Рис. 4. Вимірювання кута повороту керованих колес за допомогою транспортира.

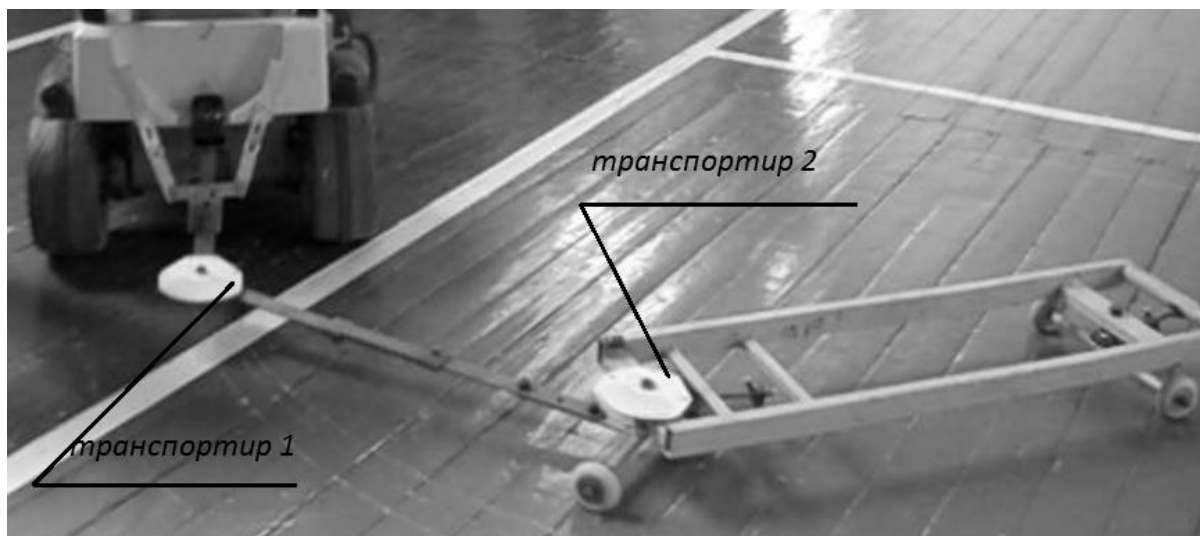


Рис. 5. Розміщення транспортирів в точках з'єднання ланок.

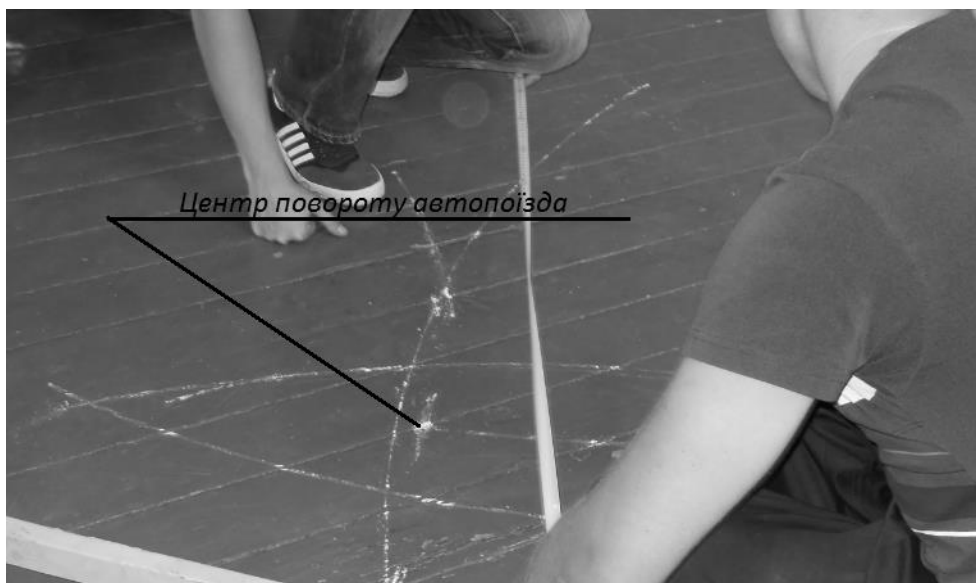


Рис. 6. Визначення центру повороту автопоїзда

Після визначення центру повороту автопоїзда проводилось вимірювання радіусів руху характерних точок:

– Радіуси руху траєкторієвідмітчиків тягача (R_1 , R_2);

- Радіуси руху точок зчеплення ланок (R_{O1} , R_{O2});
- Радіус руху центра вісі заднього напівпричепа (R_{O3}).

Під час руху автопоїзда по колу в усталеному стані робився відлік часу проходження одного кола, що дозволило опосередковано оцінювати швидкість руху. Відлік часу фіксувався секундоміром, а також відеознімальним пристроєм, що встановлювався на тягачу.

На нерухомому автопоїзді фіксувалися кути складання напівпричепів.

Обробка даних, отриманих в експерименті. Маючи радіуси руху характерних точок автопоїзда та геометричні розміри його ланок, за допомогою геометричних побудов можливо відтворити конфігурацію автопоїзда і перевірити кути складання, а надалі – кути відведення.

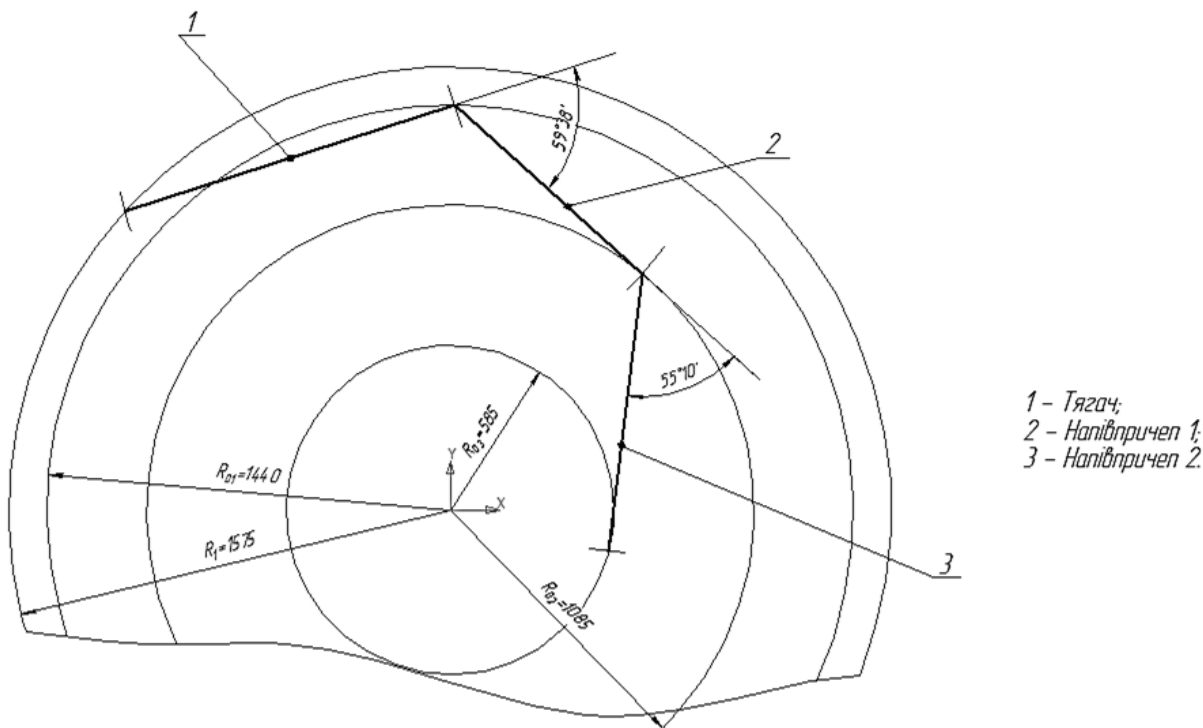


Рис. 7. Конфігурація автопоїзда, побудована графічно

На рисунку 7 відображено конфігурацію автопоїзда в усталеному русі при куті повороту керованих коліс тягача $\theta=32^\circ$. Графічно отримані кути складання $\varphi_1=59^\circ$, $\varphi_2=55^\circ$, що збігається з результатами експерименту (рис.8).

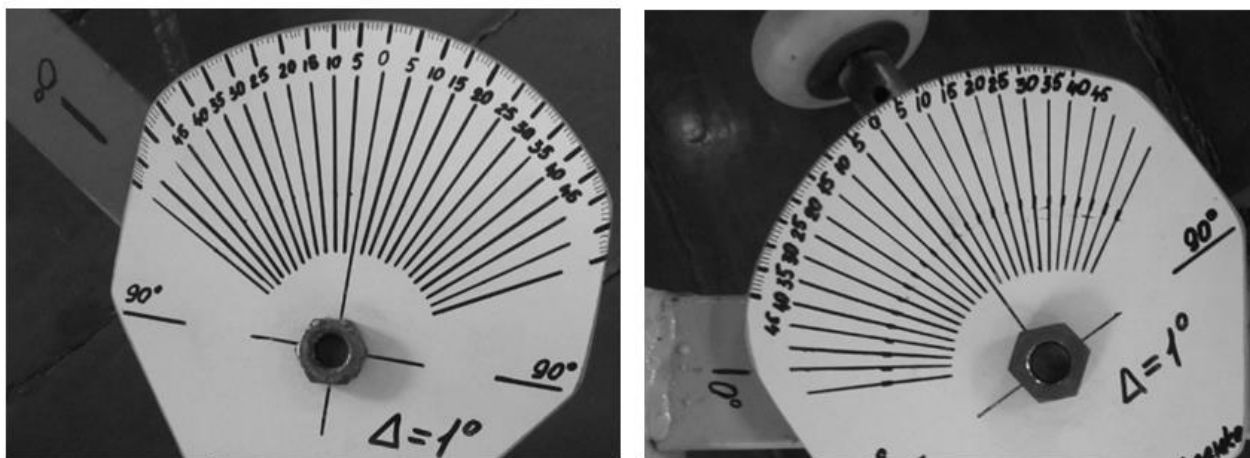


Рис. 8. Значення кута складання першого та другого напівпричепа.

Визначення сил бічного відведення за кінематичними характеристиками встановленого руху. Параметри системи: v_{o1} – поздовжня складова швидкості точки з'єднання тягача й напі-

впричепа 1; ω – кутова швидкість автопоїзда; ϕ_1', ϕ_2 – кути складання напівпричепів; m_1, m_2 – маси напівпричепів; d_1, d_2 – відстань від центра мас напівпричепа до точки зчипки; b_1, b_2 – відстань від центра мас напівпричепа до задньої осі.

Як вказувалось раніше, далі буде розглядатись рух лише ведених ланок, тягач потрібен для того, щоб забезпечити усталений рух ведених ланок.

Рівняння усталеного руху ведених ланок мають вид:

$$-Y_3 \cdot l_1 - Y_4 \cdot l_1 \cdot \cos \phi_2 + (m_1 \cdot d_1 + m_2 \cdot l_1) \cdot \omega \cdot v_{o_1} \cdot \cos \phi_1' - m_2 \cdot d_2 \cdot l_1 \cdot \omega^2 \cdot \sin \phi_2 = 0 \quad (1)$$

$$-Y_4 \cdot l_2 + m_2 \cdot d_2 \cdot l_1 \cdot \omega^2 \cdot \sin \phi_2 + m_2 \cdot d_2 \cdot \omega \cdot v_{o_1} \cdot \cos(\phi_1' + \phi_2) = 0 \quad (2)$$

де $l_1 = d_1 + c_1$; $l_2 = d_2 + c_2$ – бази напівпричепів;

Y_3, Y_4 – сили бічного відведення напівпричепів.

Фізичний смисл рівнянь рівноваги:

– рівняння (1) – сума моментів сил бічного відведення та сил інерції, діючих на обидва напівпричепа, дорівнює нулю.

– рівняння (2) – сума моментів сил бічного відведення та сил інерції, діючих на другий напівпричеп, дорівнює нулю.

Розв'язавши рівняння (1) та (2) відносно Y_3 та Y_4 , можливо отримати аналітичні залежності сил бічного відведення:

$$Y_3 = -\frac{1}{l_1 \cdot l_2} \left[\omega \cdot (l_1^2 \cdot m_2 \cdot d_2 \cdot \sin \phi_2 \cdot \cos \phi_2) + v_{o_1} \cdot l_1 \cdot m_2 \cdot d_2 \cdot \cos(\phi_1 + \phi_2) \cdot \cos \phi_2 \right] -$$

$$-\frac{1}{l_1 \cdot l_2} \left[-v_{o_1} \cdot l_2 \cdot m_1 \cdot d_1 \cdot \cos \phi_1 - v_{o_1} \cdot l_2 \cdot m_2 \cdot l_1 \cdot \cos \phi_1 + \omega \cdot l_2 \cdot l_1 \cdot m_2 \cdot d_2 \cdot \sin \phi_2 \right];$$

$$Y_4 = \frac{m_2 \cdot d_2 \cdot \omega \cdot (\omega \cdot l_1 \cdot \sin \phi_2 + v_{o_1} \cdot \cos(\phi_1' + \phi_2))}{l_2}.$$

Визначення параметрів системи при встановленому куті керованих коліс тягача $\theta = 15^\circ$:

– кутова швидкість:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot 3,141}{38} = 0,165 \text{ рад} / \text{с};$$

де $T = 38 \text{с}$ – час, за який система описує повне коло.

– поздовжня складова швидкості точки з'єднання тягача й напівпричепа:

$$v_{o_1} = \omega \cdot R_{O_1} = 0,165 \cdot 2,56 = 0,421 \text{ м} / \text{с};$$

– відносний кут складання напівпричепа 1 (визначено графічно) $\phi_1 = 19,67^\circ$ (див. рис. 9);

– кут складання напівпричепа 2 (визначено графічно) $\phi_2 = 20,85^\circ$ (див. рис. 9).

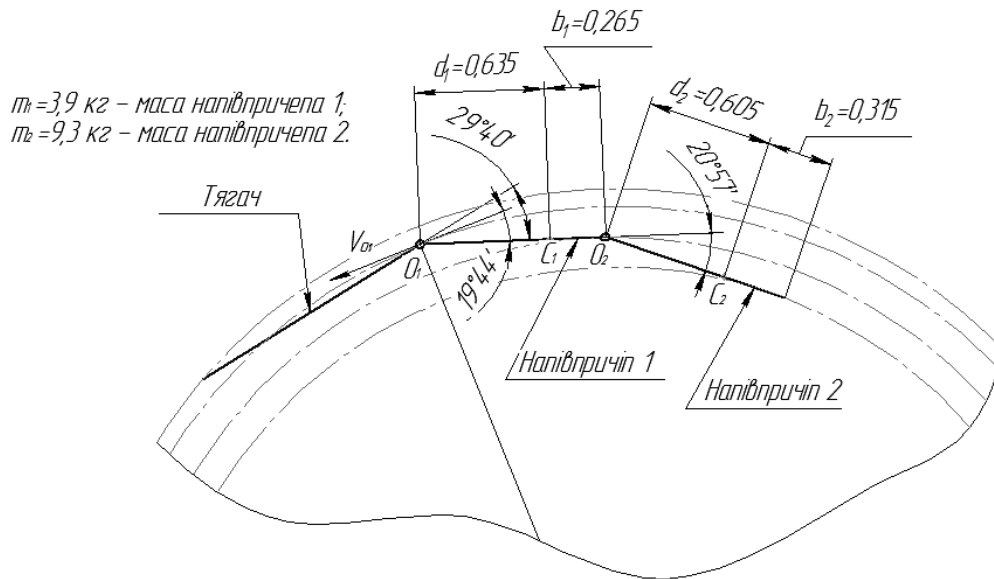


Рис. 9. Графічне визначення кутів складання.

– Значення кутів складання напівприцепів, отримані в ході експерименту, становлять $\varphi_1 \approx 27^\circ$ (див. рис. 10); $\varphi_2 \approx 22^\circ$ (див. рис. 10).

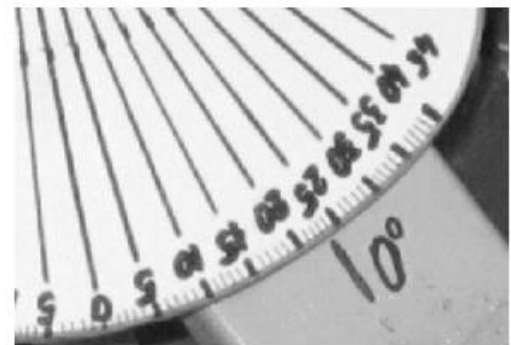
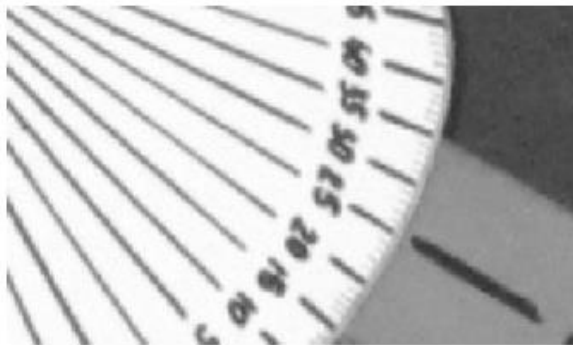


Рис.10. Значення кута складання першого та другого напівпричепа при $\theta = 15^\circ$.

Так, даному набору параметрів відповідають значення сил бічного відведення $Y_3 = 0,59 \text{ Н}$ та $Y_4 = 0,27 \text{ Н}$.

Визначення кутів бічного відведення. Кути бічного відведення можливо визначити за кінематичними параметрами напівприцепів, а також геометрично.

Аналітичні залежності кутів бічного відведення мають вид:

$$\delta_3 = \arctan \frac{(-u_2 + \omega \cdot b_1)}{v_2};$$

$$\delta_4 = \arctan \frac{(-u_3 + \omega \cdot b_2)}{v_3}.$$

де v_2, v_3, u_2, u_3 – повздовжня та поперечна швидкості напівприцепів (параметри зв'язані з v_{o1}).

Набору раніше наведених параметрів відповідають значення кутів бічного відведення $\delta_3 = 0,85^\circ$, $\delta_4 = 2,36^\circ$.

Значення кутів бічного відведення, побудованих геометрично, див. рис. 11.

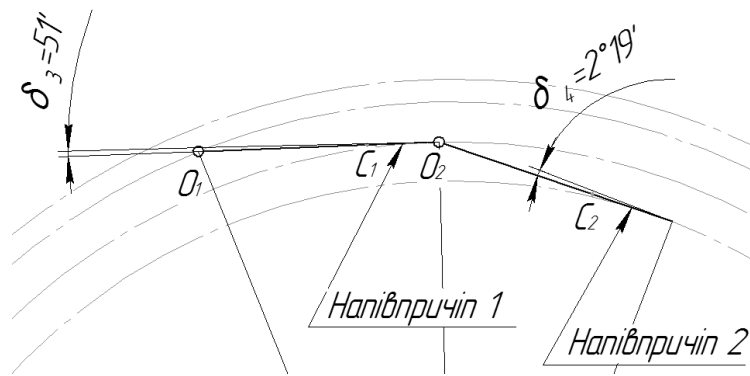


Рис. 11. Геометричне визначення кутів бічного відведення.

Кути бічного відведення, отримані різними методами, практично співпадають.

Висновок

Проведення експериментального дослідження із використанням означених транспортних засобів, обладнання та приладів дозволить отримати значення показників маневреності руху автопоїзда.

Список літератури

1. Рокар И. Неустойчивость в механике. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959. – 288 с.
2. Лобас Л.Г., Вербицкий В.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин. – Киев: Наук. думка, 1990. – 232 с.
3. Эллис Д.Р. Управляемость автомобиля. – М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.
4. Вербицкий В. Г., Загороднов М. И. Определение и анализ устойчивости круговых стационарных режимов движения модели седельного автопоезда // Віс. Донецьк. ін-ту автомоб. трансп.: Сб. наук. пр. – 2007. – Вып. 1-2. – С.10 – 19.
5. Лобас Л.Г., Вербицкий В.Г. Бифуркации и устойчивость стационарных состояний связки катящихся упруго деформируемых тел. // Известия Академии наук СССР. – Москва. – 1991.

Мойся Д.Л. Экспериментальное определение маневренности макета трехзвенного автопоезда

Аннотация. Описанные методы проведения исследований масштабной модели трехзвенного автопоезда дают возможность по кинематическим характеристикам установившегося движения в совокупности с уравнениями равновесия определить значение сил отвода и коэффициентов сопротивления отвода

Ключевые слова: трехзвенный автопоезд, маневренность, коэффициенты сопротивления отвода, силы отвода

Moisia D.L. Experimental determination of manoeuvrability of layout of three-unit lorry convoy

Abstract. The methods of study of three-tier train scale model are described, which give opportunity according to kinematic characteristics of steady motion to define value of withdrawal force and withdrawal resistance factor.

Keywords: three-tier train, manoeuvrability, withdrawal resistance factor, withdrawal force

Стаття надійшла до редакції 25.10.2015 р.