

Гандзюк М.О., Гандзюк Д.М.
Луцький національний технічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРНОСТІ МОДУЛЬНОГО ТРИЛАНКОВОГО ПРИЧІПНОГО АВТОПОЇЗДА

У роботі запропоновано методику проведення експериментальних досліджень руху модульного триланкового причіпного автопоїзда, що складається з тривісного автомобіля-тягача, двовісного підкатного візка з неповоротними осями (dolly) і тривісного напівпричєпа. Наведено результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: автопоїзд, модульний триланковий причіпний автопоїзд, компоновальна схема, причіпна ланка, причіп, напівпричєп, підкатний візок, габаритна смуга руху, маневреність, теоретичні дослідження, експериментальні дослідження.

Постановка проблеми. Поява сучасних потужних тягачів привела до значного підвищення максимальної швидкості руху автопоїздів. У результаті цього керування автопоїздом, що більш складне, ніж керування одиночним автомобілем, ще більше ускладнюється й вимагає особливої уваги й зусиль водія. Маневреність автопоїзда за аналогією з маневреністю одиночного автомобіля характеризується як здатністю керованого водієм тягача, що працює в складі автопоїзда, а також його причіпних ланок зберігати рух по заданій траєкторії та при мінімальних коректуваннях змінювати її за бажанням водія, використовуючи органи управління тягача, забезпечувати відповідність його габаритної смуги криволінійного руху (ГСП) зовнішнім обмеженням на опорній поверхні. Розглядаючи маневреність автопоїзда з такого погляду, можна стверджувати, що для автопоїзда вона завжди буде гірша, ніж для одиночного автомобіля. Це пояснюється більшою величиною поперечних коливань ланок автопоїзда в порівнянні з одиночним автомобілем, наявністю декількох рухливих елементів, з'єднаних шарнірно, більшими габаритними розмірами і рядом інших особливостей, властивих автопоїзду.

Практика експлуатації автопоїздів і виконані теоретичні дослідження показують, що характер руху автопоїзда може, в ряді випадків, значно змінюватися при зміні деяких конструктивних й експлуатаційних факторів - числа його ланок, розташування вантажу, тиску повітря в шинах, величини зазору в тягово-зчїпному пристрої, швидкості руху, дорожніх умов, а також при порушенні геометричних параметрів ходової частини причіпних ланок автопоїзда.

Дотепер проведено досить багато експериментальних досліджень, на основі яких можна було порівняти їх результати з результатами теоретичних досліджень, одержати певні характеристики, зрівняти маневреність одиночного автомобіля й автопоїзда й досліджувати, як змінюється маневреність автопоїзда при зміні різних його конструктивних параметрів й умов руху. Дослідження проводилися за допомогою натурних експериментів з автопоїздами і на моделях.

Проте експериментальних досліджень модульних триланкових причіпних автопоїздів проводилось дуже мало.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз публікацій показує, що робіт, присвячених дослідженню експлуатаційних властивостей багатоланкових автопоїздів (насамперед, триланкових) порівняно не багато. Так, у роботах [4], [5] розглянуто рух триланкових автопоїздів різних компоновальних схем у різних режимах руху. Дослідженню маневреності та стійкості руху автопоїздів компоновальної схеми «автомобіль-тягач - двовісний підкатний візок - тривісний напівпричєп» присвячені роботи [8], [9].

На сьогодні існує багато конструкцій багатоланкових автопоїздів. На наш погляд компоновальна схема з тривісним напівпричєпом, двовісним підкатним візком (dolly) і тривісним напівпричєпом є найбільш універсальною.

Крім того, завдяки введенню у математичну модель сил взаємодії кожного колеса з дорогою, можливо моделювання різних режимів руху автопоїзда (тягового, вільного та гальмівного), а також можливо враховувати вплив перерозподілу мас по осях та між бортами ланок автопоїзда.

Дослідженню експлуатаційних властивостей автопоїздів присвячені роботи Д.О. Антонова, С.С. Атаєва, В.Г. Вербицького, Я.Х. Закіна, Е.М. Ібрагімова, А.П. Колпакова, М.І. Кришеня, Л.Г. Лобаса, М. Мічке, С.Я. Марголіса, В.П. Сахно, Я.Є. Фаробіна, Д.Р. Елліса, а також інших вітчизняних та закордонних вчених. Аналіз публікацій показує, що достатньо добре вивчені закономірності руху

дволанкових автопоїздів. Робіт, присвячених дослідженню багатоланкових автопоїздів (насамперед, триланкових) порівняно не багато. Ця тематика почала досліджуватися в останні роки.

При наявності у автопоїзда більше трьох ланок суттєво ускладнюється дослідження руху такого багатоланкового АТЗ з причини необхідності врахування впливу значної кількості факторів на характер руху усіх ланок. Взаємодія сусідніх ланок при русі автопоїзда розповсюджується на весь транспортний засіб і призводить до певних відхилень складових автопоїзда від заданого ведучою ланкою (тягачем) напрямку руху. Враховуючи те, що автопоїзд як АТЗ є засобом підвищеної небезпеки, при вирішенні проблем щодо можливості експлуатації багатоланкових автопоїздів у числі перших слід робити кроки у напрямку теоретичних та експериментальних досліджень їх руху, результати яких будуть підґрунтям для відповіді на багато питань технічного, організаційного, юридичного характеру.

На підставі наведеного компоновальну схему автопоїзда з тривісним автомобілем-тягачем, двовісним підкатним візком (dolly) і тривісним напівпричепом (рисунок 1) як універсальну та перспективну (розроблено фірмами «Scania» та «Krone») обрано в якості об'єкта для дослідження його маневреності, що, насамперед, впливає на безпеку руху.

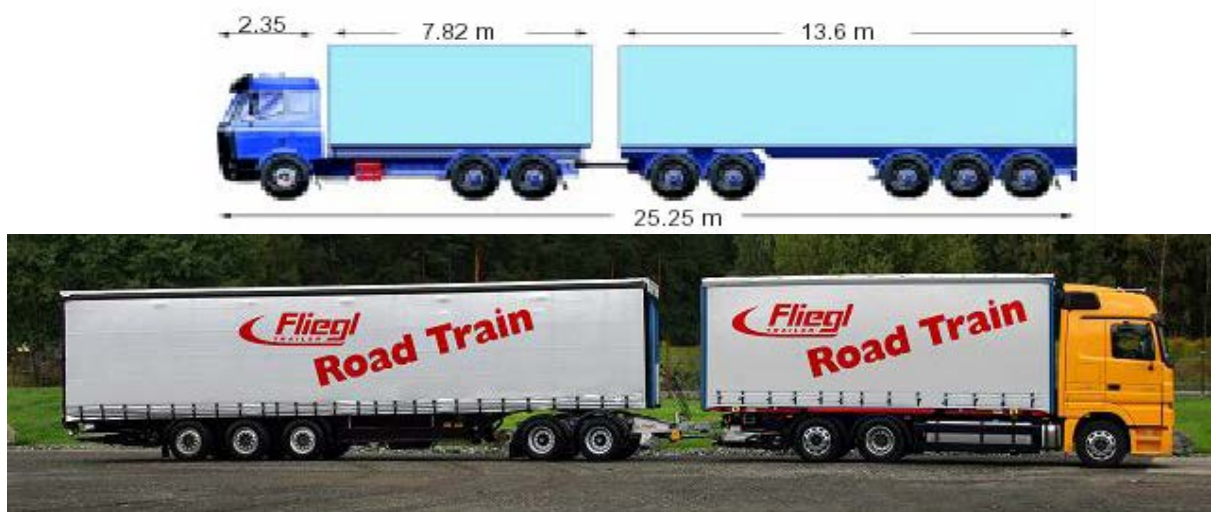


Рисунок 1 – Компоновальна схема триланкового автопоїзда з тривісним автомобілем-тягачем, двовісним підкатним візком (dolly) і тривісним напівпричепом довжиною 25,25м

Плоску математичну модель руху вказаного модульного триланкового причіпного автопоїзда запропоновано у роботі [1]. Вона дозволить у теоретичних дослідженнях визначати вплив компоновальної схеми та режимів руху вказаного автопоїзда на його експлуатаційні властивості.

Мета роботи. Викладене вище дозволяє сформулювати головне завдання виконання роботи, що полягає в тому, щоб на підставі експериментальних досліджень одержати дані, які характеризують показники маневреності причіпного триланкового автопоїзда, що складається з тривісного автомобіля-тягача, двовісного підкатного візка з неповоротними осями (dolly) і тривісного напівпричепа, а саме дотримання габаритної смуги руху (ГСР) при виконанні маневру «Поворот $R_{\Pi}=25$ м» та можливість автопоїзда вписуватися в коло з внутрішнім радіусом 5,3м і зовнішнім радіусом 12,5м, і провести аналіз, що дозволяє оцінити зміну маневрених властивостей автопоїзда залежно від його конструктивних особливостей.

Матеріали та результати досліджень.

В нашому випадку проведення досліджень на натурних зразках пов'язане з більшими матеріальними витратами, а можливості дослідження натурального зразка вказаного модульного триланкового автопоїзда неможливі.

У таких випадках завдання успішно виконується на масштабних і фізично подібних моделях та шляхом комп'ютерного моделювання.

При цьому слід зазначити, що такий метод проведення має істотні недоліки - неможливість моделювання всіх параметрів їхнього руху (зокрема, відведення шин, лінійні й кутові прискорення та інші), які в ряді випадків впливають на характер руху автопоїзда.

З огляду на викладене, для виконання експериментів використана програма комп'ютерного моделювання руху автопоїздів TrailerWIN.

Фінська компанія «TrailerWIN», яка створила цей продукт, заснована в 1982 році і є провідною компанією у галузі, що спеціалізується на створенні програмного забезпечення для різноманітних технічних розрахунків автобусів, вантажних автомобілів і причепів. Саме програмне середовище TrailerWIN складається із семи модулів:

- TrailerWIN;
- CraneWIN;
- FrameWIN;
- CornerWIN;
- DrivelineWIN;
- BusWIN and Seating Plan;
- BrakeWIN.

Метою експериментальних досліджень стала перевірка можливості дотримання габаритної смуги руху (ГСР) при виконанні маневру «Поворот $R_{\Pi}=25$ м» та перевірка можливості автопоїзда вписуватися в коло з внутрішнім радіусом 5,3м і зовнішнім радіусом 12,5м.

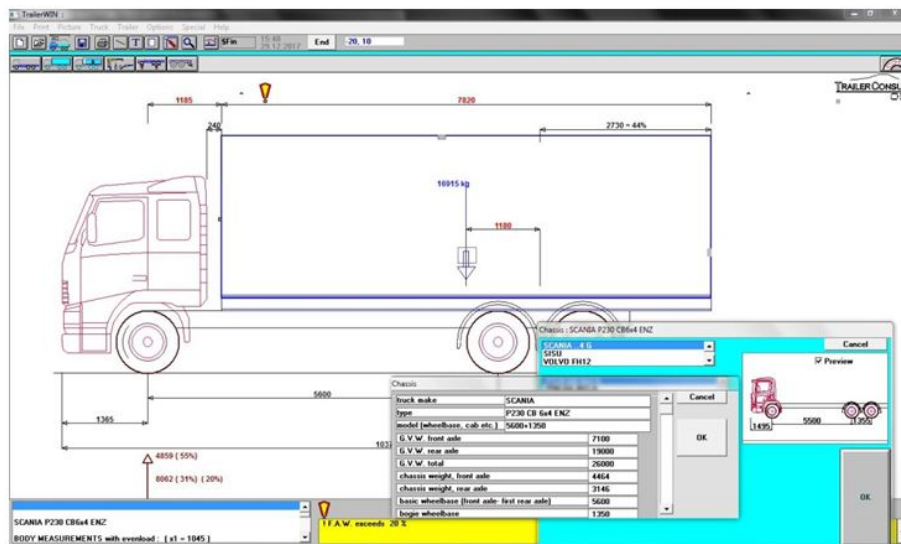
До задач експериментальних досліджень автопоїзда входило визначення показників маневреності, а саме величини габаритної смуги руху (ГСР) при виконанні маневру «Поворот $R_{\Pi}=25$ м» та перевірка можливості автопоїзда вписуватися в коло з внутрішнім радіусом 5,3м і зовнішнім радіусом 12,5м.

Об'єктом експериментальних досліджень є комп'ютерна модель модульного причіпного триланкового автопоїзда, що складається з тривісного автомобіля-тягача, двовісного підкатного візка з неповоротними осями і тривісного напівпричепа.

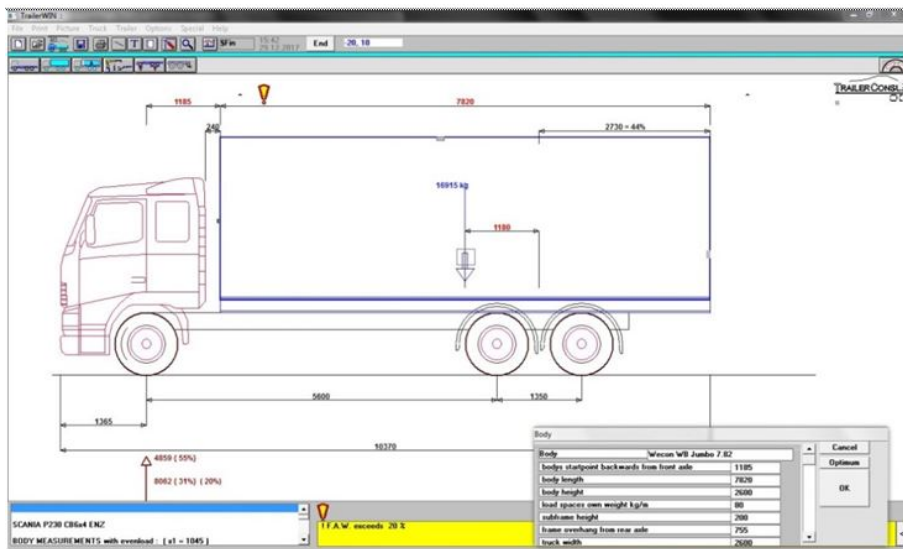
Програма експериментальних досліджень автопоїзда передбачає комп'ютерне моделювання виконання маневру «Поворот $R_{\Pi}=25$ м» триланковим автопоїздом з некерованими колесами напівпричепа та перевірку можливості вказаного автопоїзда вписуватися в коло з внутрішнім радіусом 5,3м і зовнішнім радіусом 12,5м.

Для виконання програми експериментальних досліджень було використано комп'ютерну модель модульного триланкового причіпного автопоїзда, що складається з тривісного автомобіля-тягача, двовісного підкатного візка з неповоротними осями і тривісного напівпричепа, створену у програмному середовищі TrailerWIN.

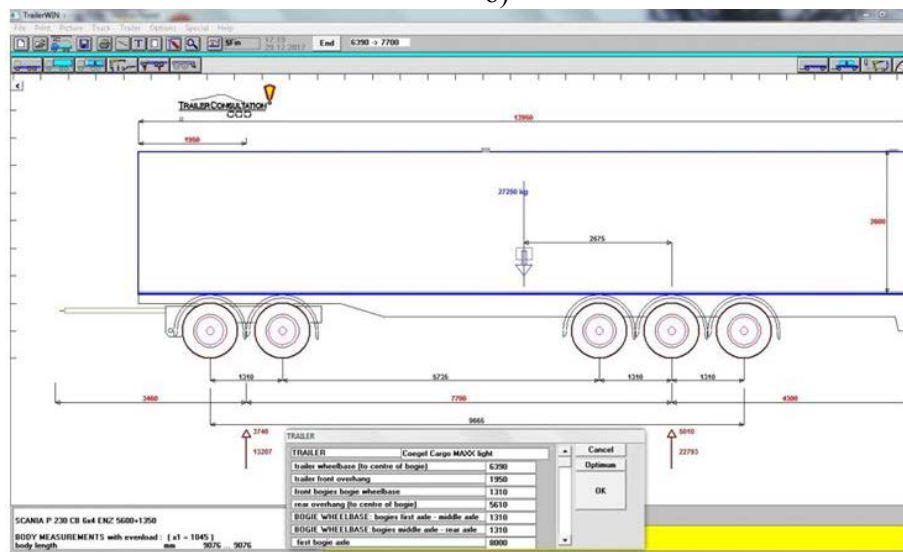
При створенні комп'ютерної моделі автопоїзда (рисунок 2) були використані реальні геометричні параметри кожної ланки автопоїзда.



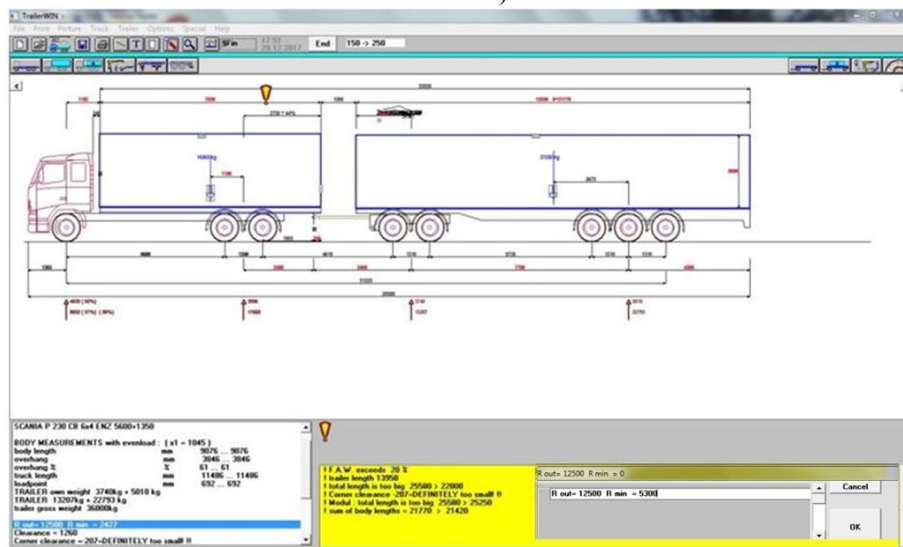
a)



б)



в)



г)

Рисунок 2 – Комп’ютерна модель експериментального автопоїзда
 а, б) автомобіль-тягач Scania P230 CB 6x4 ENZ із знімним кузовом Wecon WB Jumbo 7.82;
 в) напівпричіп Koegel Cargo MAXX light;
 г) експериментальний автопоїзд.

Розмітка ділянок для випробувань «Поворот $R_{\Pi}=25$ м» й «Рух по колу» здійснювалась у відповідності зі схемами, наведеними на рисунку 3 та рисунку 4.

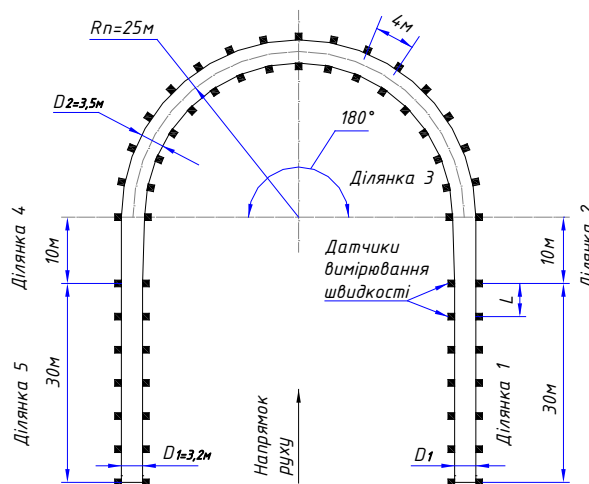


Рисунок 3 – Вигляд ділянки для випробувань «Поворот $R_{\Pi}=25$ м» згідно вимог Directive 96/53/EC при габаритній ширині транспортного засобу більше 2,5 м

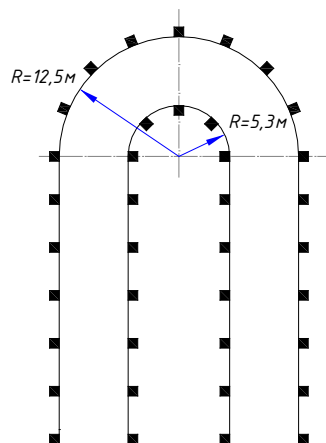


Рисунок 4 – Вигляд ділянки для випробувань «Рух по колу» згідно вимог Directive 96/53/EC

Ширина D_1 а також ширина D_2 коридору для випробувань «Поворот $R_{\Pi}=25$ м» наведені в таблиці 1 залежно від максимальної ширини АТЗ.

Таблиця 1 - Ширина коридору для випробувань, залежно від ширини АТЗ

Ширина АТЗ, м	Ширина розміченого коридору, м	
	Ділянка D_1	Ділянка D_2
До 1,3	1,6	1,9
Понад 1,3 до 1,5	1,8	2,1
1,5 – 1,7	2,0	2,3
1,7 – 1,9	2,2	2,5
1,9 – 2,1	2,4	2,7
2,1 – 2,3	2,6	3,0
2,3 – 2,5	2,9	3,5
2,5	3,2	3,5

Методикою проведення експериментальних досліджень передбачено комп'ютерне моделювання вказаних маневрів модульного триланкового причіпного автопоїзда у програмному середовищі TrailerWIN з використанням модуля CornerWIN.

Програма автоматично визначає внутрішній та зовнішній габаритні радіуси повороту.

Аналізуючи положення автопоїзда при випробуваннях «Поворот $R_{\Pi}=25$ м» (рисунок 5) можна стверджувати, що автопоїзд практично вписується в розмічений коридор руху. підтверджує те, що за

характеристиками статичної повороткості рух автопоїзда з некерованим напівприцепом по кругових траєкторіях можливий лише за умови, якщо радіус кривої повороту більше бази напівпричепа.

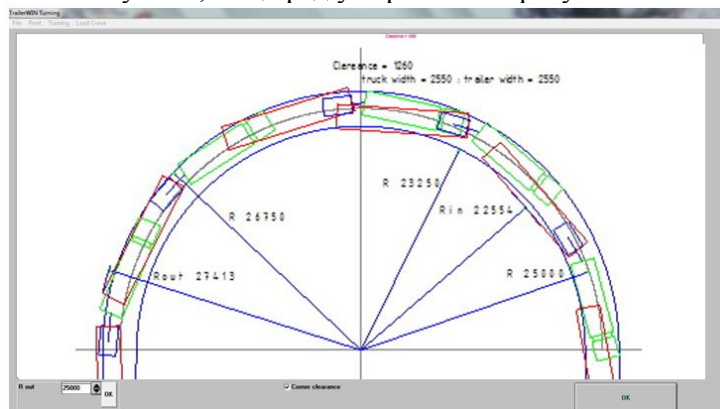


Рисунок 5 - Результати експериментальних досліджень руху автопоїзда при випробуваннях «Поворот $R_{\Pi}=25$ м»

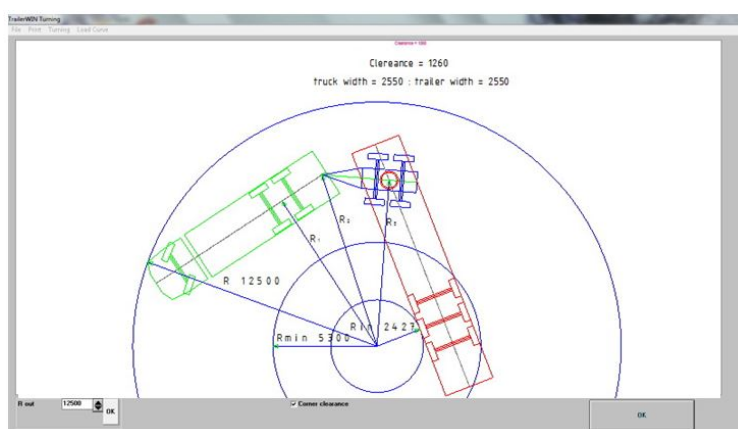


Рисунок 6 - Результати визначення внутрішнього радіуса повороту автопоїзда при випробуваннях «Рух по колу»



Рисунок 7 - Результати експериментальних досліджень руху автопоїзда при випробуваннях «Рух по колу»

Після обробки результатів випробувань «Рух по колу» (рисунки 6, 7) були визначені внутрішній та зовнішній габаритні радіуси повороту та габаритна смуга руху. Ці результати занесені в таблицю 2.

Таблиця 2 - Показники маневреності автопоїзда при русі по колу

	Норматив (м)	Експеримент (м)	Відхилення(%)
Внутрішній габаритний радіус	5,3	2,427	45,79
Зовнішній габаритний радіус	12,5	12,500	0,00
Габаритна смуга руху	7,2	10,073	39,90

З впевненістю можна сказати, що досліджуваний модульний триланковий причіпний автопоїзд з некерованими колесами задньої осі напівпричепа не задовольняє вимоги Directive 96/53/EC по маневреності.

Висновки. Під час проведення експериментальних досліджень було встановлено, що досліджуваний модульний триланковий причіпний автопоїзд з некерованими колесами задньої осі напівпричепа не задовольняє вимоги Directive 96/53/EC по маневреності [11], [12]. Габаритна смуга руху за результатами експерименту більша за нормативну на 39,9%.

Для поліпшення маневреності причіпні ланки автопоїздів повинні бути обладнані системами керування осями або використовуватись самоустановлювальні осі чи самоустановлювальні колеса осей напівпричепа.

1. Гандзюк М.О., Селезньов Е.Л., Гандзюк Д.М. Розробка плоскої математичної моделі руху модульного триланкового причіпного автопоїзда у складі «автомобіль-тягач - двовісний підкатний візок з неповоротними осями (dolly) - тривісний напівпричіп» // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник, випуск 55, Луцьк: Редакційно-видавничий відділ Луцького НТУ, 2016 – С.72-79.

2. Енглезі О.А. Дослідження кінематики повороту автопоїзда на фізичній моделі / О.А. Енглезі // Управління проектами, системний аналіз і логістика - К.: НТУ, 2007. - Вип. 5.

3. Закин Я.Х. Методы анализа маневренных свойств автопоездов / Закин Я.Х. - М.: Автотрансиздат, 1961. — 42 с.

4. Сахно В.П., Вороніна І.Ф., Стельмашук В.В. Поляков В.М. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на показники маневреності трьохланкових автопоїздів // Автошляховик України. Окремий випуск. – 2003. Жовтень. – С.98-101.

5. Сахно В.П., Вербицький В.Г., Вороніна І.Ф., Стельмашук В.В. До визначення показників маневреності і стійкості руху трьохланкових автопоїздів // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів. К.:НТУ, 2003. - №17. - С.141-146.

6. Сахно В.П. Маневреність триланкових автопоїздів типу “В-Double” / Сахно В.П., Глінчук В.М., Марчук Р.М., Онищук В.П. // Проблеми автомобільного транспорту: Збірник наукових праць : Випуск 7. - Київ: НТУ, 2010.- С.187-198.

7. 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 // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. Науковий журнал, 2011. - Вип. 4.

8. Сахно В. П. Математичне моделювання триланкових автопоїздів в поздовжній, вертикальній і поперечній площинах / В.П. Сахно, В.М. Поляков, В.М. Глінчук // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. Науковий журнал, 2013. - Вип. 3. - С.73-84.

9. Сахно В.П. Порівняльна оцінка маневреності триланкових автопоїздів різних компоновальних схем / В.П. Сахно, В.М. Поляков, Р.М. Марчук, П.О. Гуменюк // Автомобільний транспорт. Науково-виробничий журнал, 2013. - №1 (231). – С.2-6.

10. Фаробин Я.Е. Трехзвенные автопоезда / Фаробин Я.Е., Якобашвили А.М., Иванов А.М. и др. // Машиностроение, 1993, - 224 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.

12. 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, 1996. - No L235/59-75.

REFERENCES

1. Gandzyuk, M.O., & Seleznev, E.L., & Gandzyuk, D.M. (2016). Rozrobka ploskoyi matematychnoyi modeli rukhu modul'noho trylankovoho prychipnoho avtopoyizda u skladi «avtomobil' -tyahach - dvovisnyy pidkatnyy vizok z nepovorotnyy osyamy (dolly) - tryvisnyy napivprychip» [Development of flat mathematical model of motion of the module three-unit towed lorry convoy in composition a «car-tractor is a biaxial pidkatniy light cart with irrevocable axes (dolly) is a triaxial semitrailer]. *Naukovi notatky - The Scientific notes*, 55, 72-79 [in Ukrainian].

2. Enhlezi, O.A. (2007). Doslidzhennya kinematyky povorotu avtopoyizda na fizychniy modeli [Investigation of the kinematics of rotation of a train on a physical model]. *Upravlinnya proektamy, systemnyy analiz i lohistyka - Project Management, System Analysis and Logistics*, 5, [in Ukrainian].

3. Zakin, YA.X. (1961). *Metody analiza manevrennykh svoystv avtopoyezdov* [Methods for analyzing the maneuvering properties of road trains]. Moscow: Avtotransizdat [in Russian].

4. Sakhno, V.P., & Voronina, I.F., & Stel'mashchuk, V.V., & Polyakov, V.M. (2003). Vplyv konstruktyvnykh i ekspluatatsiynykh faktoriv na pokaznyky manevrenosti tr'okhlankovykh avtopoyizdiv [Influence of constructive and operational factors on indicators of maneuverability of three-axle road trains]. *Avtoshlyakhovyk Ukrayiny - SUV of Ukraine, Installment*, 98-101 [in Ukrainian].

5. Sakhno, V.P., & Verbyts'kyi, V.H., & Voronina, I.F., & Stel'mashchuk, V.V. (2003). Do vyznachennya pokaznykiv manevrenosti i stiykosti rukhu tr'okhlankovykh avtopoyizdiv [To determination of indicators of maneuverability and stability of three-lane trains]. *Systemni metody keruvannya, tekhnolohiya ta orhanizatsiya vyrobnytstva, remontu ta ekspluatatsiyi avtomobiliv - System management methods, technology and organization of*

production, repair and operation of cars, 17, 141-146 [in Ukrainian].

6. Sakhno, V.P. (2010). Manevrenist' trylankovykh avtopoyizdiv typu "V -Double" [Maneuverability of three-lane automobile trains of the type "B-Double"]. *Problemy avtomobil'noho transportu - Problems of motor transport*, 7, 187-198 [in Ukrainian].

7. Sakhno, V.P. (2011). Manevrenist' ta bezpeka rukhu trylankovykh avtopoyizdiv riznykh komponoval'nykh skhem [Maneuverability and safety of three-lane trains of various combining schemes]. *Visnyk Donets'koyi akademiyi avtomobil'noho transportu - Bulletin of the Donetsk Academy of Automobile Transport*, 4, [in Ukrainian].

8. Sakhno, V.P. (2013). Matematychnе modelyuvannya trylankovykh avtopoyizdiv v pozdovzhniy, vertykal'niy i poperechniy ploshchynakh [Mathematical modeling of three-axle road trains in longitudinal, vertical and transverse planes]. *Visnyk Donets'koyi akademiyi avtomobil'noho transportu - Bulletin of the Donetsk Academy of Motor Transport*, 3, 73-84 [in Ukrainian].

9. Sakhno, V.P. (2013). Porivnyal'na otsinka maneвrenosti trylankovykh avtopoyizdiv riznykh komponoval'nykh skhem [Comparative estimation of maneuverability of trilanked automobile trains of different layout schemes]. *Avtomobil'nyy transport - Automobile transport*, 1 (231), 2-6 [in Ukrainian].

10. Farobin, YA.Ye. (1993). *Trekhzvennyye avtopoyezda [Three-link road train]*. Moscow: Mechanical Engineering [in Russian].

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.

12. 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, 1996. - No L235/59-75.

Гандзюк Н.А., Гандзюк Д.Н. Экспериментальное исследование маневренности модульного трехзвенного прицепного автопоезда.

В работе предложена методика проведения экспериментальных исследований движения модульного трехзвенного прицепного автопоезда, состоящего из трехосного автомобиля-тягача, двухосной подкатной тележки с неповоротными осями (dolly) и трехосного полуприцепа. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: автопоезд, модульный трехзвенный прицепной автопоезд, компоновочная схема, прицепное звено, прицеп, полуприцеп, подкатная тележка, габаритная полоса движения, маневренность, теоретические исследования, экспериментальные исследования.

N. Gandzyuk, D. Gandzyuk. Experimental research of the maneuverability of a three-tier modular trailer road train.

In the paper, a technique for conducting experimental studies of the movement of a modular three-link trailer road train consisting of a three-axle tractor truck, a biaxial trolley with non-rotating axles (dolly) and a triaxial semitrailer is proposed. The results of experimental studies are presented.

Keywords: road train, modular three-link trailer road train, layout scheme, trailer link, trailer, semitrailer, sub cart, overall lane, maneuverability, theoretical studies, experimental studies.

АВТОРИ:

ГАНДЗЮК Микола Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри АТТ Луцького національного технічного університету, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com

ГАНДЗЮК Дмитро Миколайович, магістр транспорту, аспірант Луцького національного технічного університету, e-mail: Gandzyukd@gmail.com

АВТОРЫ:

ГАНДЗЮК Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры АТТ Луцкого национального технического университета, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com

ГАНДЗЮК Дмитрий Николаевич, магистр транспорта, аспирант Луцкого национального технического университета, e-mail: Gandzyukd@gmail.com

AUTHORS:

Nikolay GANDZYUK, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com

Dmitriy GANDZYUK, Magistr of Transport, Postgraduate Student of Lutsk National Technical University, e-mail: Gandzyukd@gmail.com

Стаття надійшла в редакцію 20.04.2018р.