

Д.М. Гандзюк, аспір.
М.О. Гандзюк, к.т.н., доц.
В.М. Придюк, к.т.н., доц.
В.В. Стельмащук, к.т.н., доц.

Луцький національний технічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРЕННОСТІ МОДУЛЬНОГО ТРИЛАНКОВОГО ПРИЧІПНОГО АВТОПОЇЗДА У СКЛАДІ «АВТОМОБІЛЬ-ТЯГАЧ–ДВОВІСНИЙ ПІДКАТНИЙ ВІЗОК З НЕПОВОРОТНИМИ ОСЯМИ (DOLLY)–ТРИВІСНИЙ НАПІВПРИЧІП»

Проведення досліджень маневреності на натурних зразках пов'язане з великими матеріальними витратами, а можливості дослідження натурних зразків модульних триланкових автопоїздів проблематичні. У таких випадках завдання успішно виконується на масштабних і фізично подібних моделях. При цьому слід зазначити, що такий метод проведення досліджень має істотні недоліки – неможливість моделювання всіх параметрів їхнього руху (зокрема, відведення шин, лінійні й кутові прискорення тощо), які в ряді випадків впливають на характер руху автопоїзда.

З огляду на викладене вище у роботі розроблено програму та 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 напівпричипа з використанням виготовленої в масштабі 1:87 радіокерованої моделі вказаного автопоїзда. При виготовленні моделі автопоїзда були використані складові (радіокерований тягач, підкатний візок, напівпричип, дистанційний пульт керування) виробництва фірми Vbivago.

Наведено результати проведених експериментальних досліджень.

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

Постановка проблеми. Поява сучасних потужних тягачів призвела 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 (ГСР) 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 порівняно з одиночним автомобілем, наявністю декількох рухливих елементів, з'єднаних шарнірно, більшими габаритними розмірами і рядом інших особливостей, властивих автопоїзду.

Практика експлуатації автопоїздів й 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-зчипному 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 компоувальної схеми «автомобіль-тягач-двовісний підкатний візок-тривісний напівпричіп» присвячені роботи [8], [9].

На сьогодні існує багато конструкцій багатоланкових автопоїздів. На наш погляд компоувальна схема з тривісним напівпричіпом, двовісним підкатним візком (dolly) і тривісним напівпричіпом 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 осям 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.

За 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 варто 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 компоувальну схему автопоїзда з тривісним автомобілем-тягачем, двовісним підкатним візком (dolly) і тривісним напівпричіпом (рис. 1) як універсальну та перспективну (розроблено фірмами «Scania» та «Krone») обрано як об'єкт для дослідження його маневреності, що, насамперед, впливає на безпеку руху.

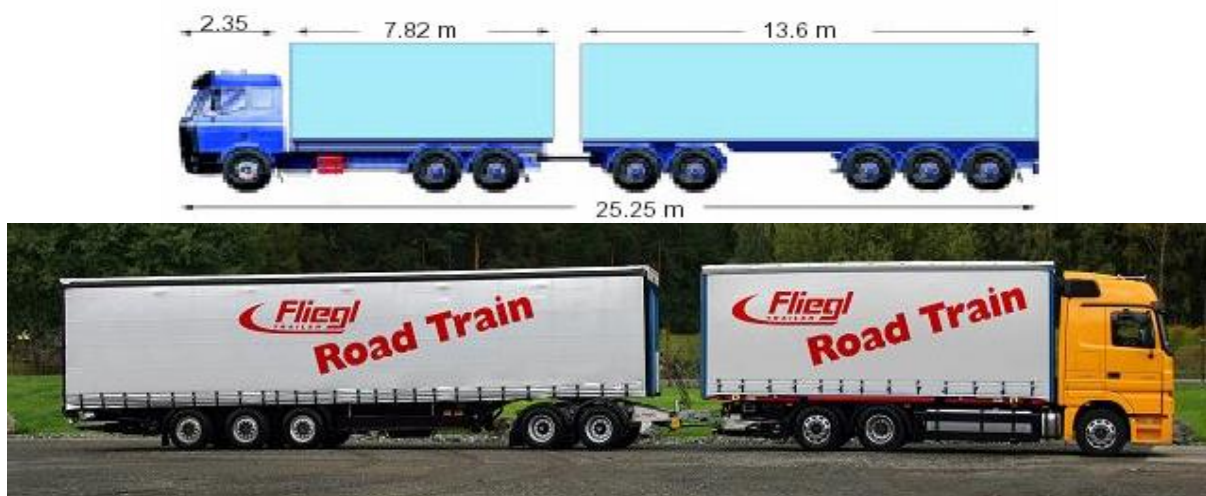


Рис. 1. Компоувальна схема триланкового автопоїзда з тривісним автомобілем-тягачем, двовісним підкатним візком (dolly) і тривісним напівпричіпом довжиною 25,25м

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) під час виконання маневру «Поворот $R_p = 25$ м» та можливість автопоїзда вписуватися в коло з внутрішнім радіусом 5,3 м і зовнішнім радіусом 12,5 м, 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 великими матеріальними витратами, а можливості дослідження натурального зразка вказаного модульного триланкового автопоїзда наразі неможливі. У таких випадках завдання успішно виконується на масштабних і фізично подібних моделях.

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

З огляду на викладене, для виконання програми експериментальних досліджень було виготовлено радіокеровану модель модульного триланкового причіпного автопоїзда, що складається з тривісного автомобіля-тягача, двовісного підкатного візка з неповоротними осями і тривісного напівпричепа в масштабі 1:87 (рис. 2).

При виготовленні моделі автопоїзда були використані складові (радіокерований тягач, підкатний візок, напівпричіп, дистанційний пульт керування) виробництва фірми Bburago.



Рис. 2. Радіокерована модель експериментального автопоїзда

Програма випробувань автопоїзда передбачає виконання маневру «Поворот $R_{\Pi} = 25 \text{ м}$ » моделлю триланкового автопоїзда з некерованими колесами напівпричепа (виготовлення моделі триланкового автопоїзда з керованими колесами третьої осі напівпричепа внаслідок малого масштабу моделі досить проблематично), та перевірку можливості автопоїзда вписуватися в коло з внутрішнім радіусом $5,3 \text{ м}$ і зовнішнім радіусом $12,5 \text{ м}$.

Методикою виконання кожної із робіт передбачалося дві повторності дослідів.

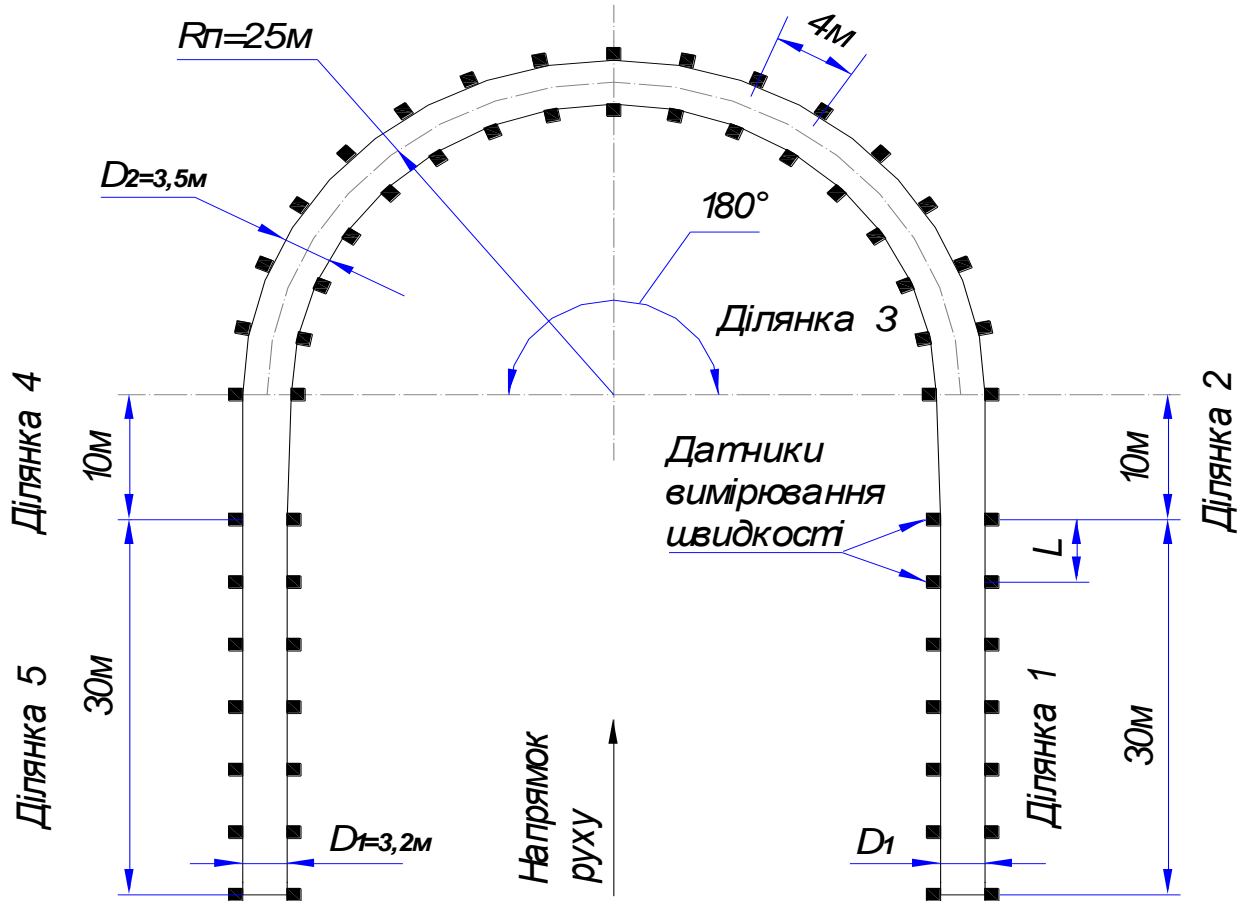


Рис. 3. Розмітка ділянки для випробувань «Поворот $R_{\Pi} = 25 \text{ м}$ »

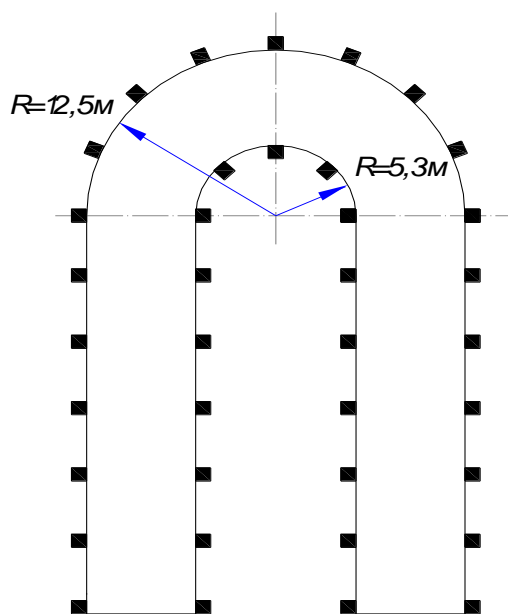


Рис. 4. Розмітка ділянки для випробувань «Рух по колу»

Розмітка ділянок для випробувань «Поворот $R_{п} = 25 \text{ м}$ » й «Рух по колу» здійснювалася відповідно зі схемами, наведеними на рисунку 3 та рисунку 4, у масштабі, за яким виготовлено модель автопоїзда (1:87).

Таблиця 1

Ширина коридору для випробувань, залежно від ширини АТЗ

Ширина АТЗ, м	Ширина розміченого коридору, м	
	Ділянка D1	Ділянка D2
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

Ширина D1 а також ширина D2 коридору для випробувань «Поворот $R_{п} = 25 \text{ м}$ » наведені в таблиці 1 залежно від максимальної ширини АТЗ, вимірної на висоті до 150 мм від опорної поверхні.

При випробуваннях модель автопоїзда встановлювалася на початку розміченої ділянки і виконувався заданий розміткою маневр. Керування моделлю автопоїзда здійснювалося за допомогою пульта дистанційного керування. Рух автопоїзда по розміченому коридору фіксувався відеокамерою.

Дані відеофіксації оброблялися за допомогою програми «Pinnacle Studio», яка дозволяє розбити відеодоріжку на окремі кадри через певний інтервал часу. Кожен кадр визначав певне положення тягача (рис. 5). Горизонтальні проекції автопоїзда в кожному з положень за допомогою програми «AutoCAD» наносились на розмічену ділянку (рис. 6). Після обробки результатів визначалися внутрішній та зовнішній габаритні радіуси повороту та габаритна смуга руху.

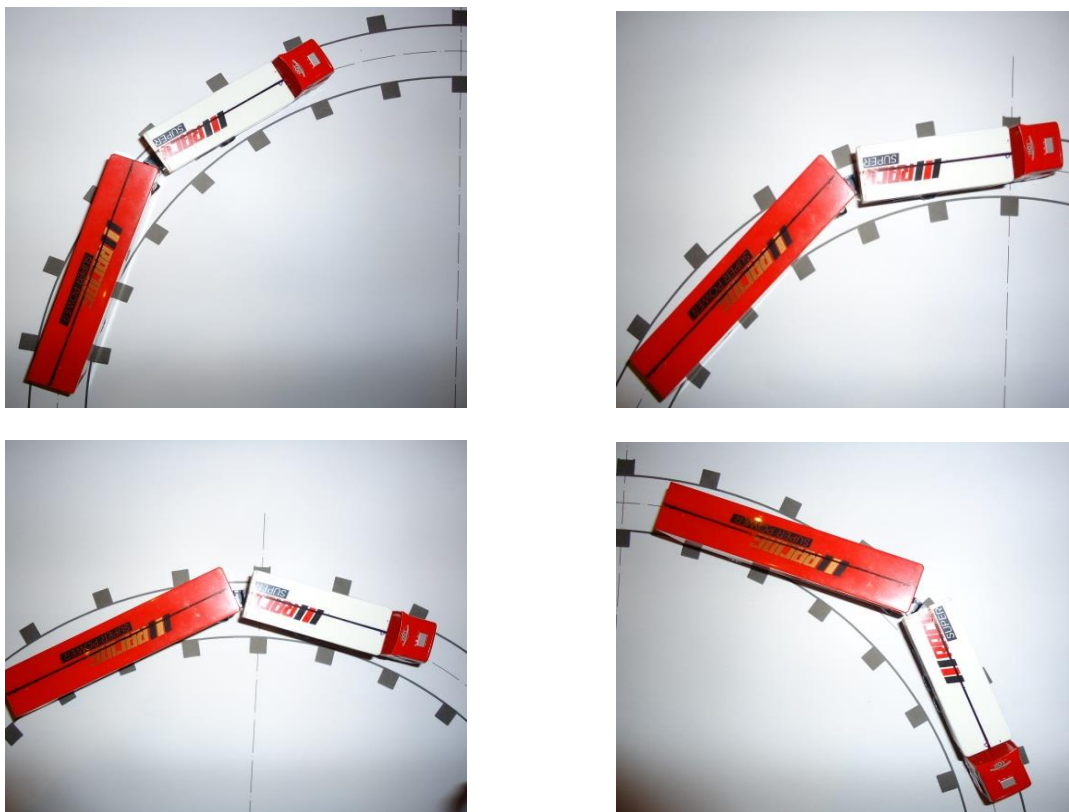


Рис. 5. Положення автопоїзда при випробуваннях «Поворот $R_{п} = 25 \text{ м}$ »

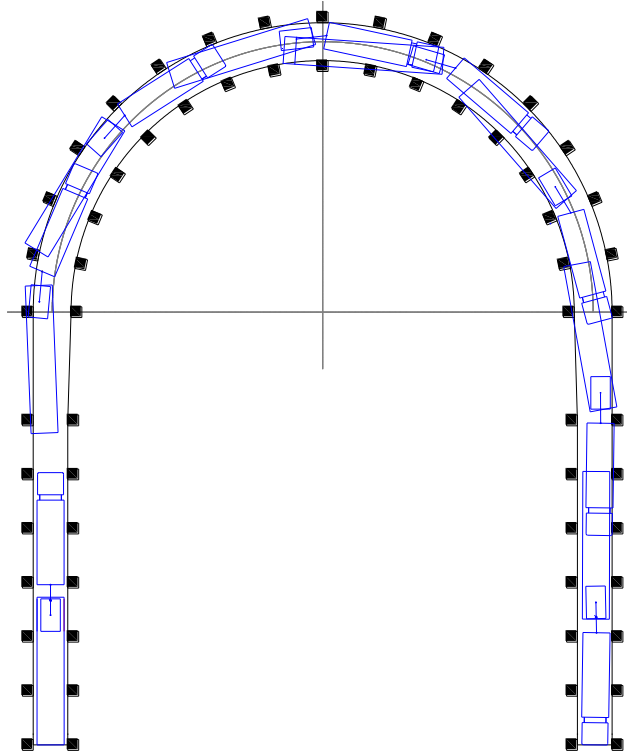


Рис. 6. Траєкторія руху ланок автопоїзда при випробуваннях «Поворот $R_{\text{п}} = 25 \text{ м}$ »

Аналізуючи положення автопоїзда при випробуваннях «Поворот $R_{\text{п}} = 25 \text{ м}$ » (рис. 6) можна стверджувати, що автопоїзд практично вписується в розмічений коридор руху.

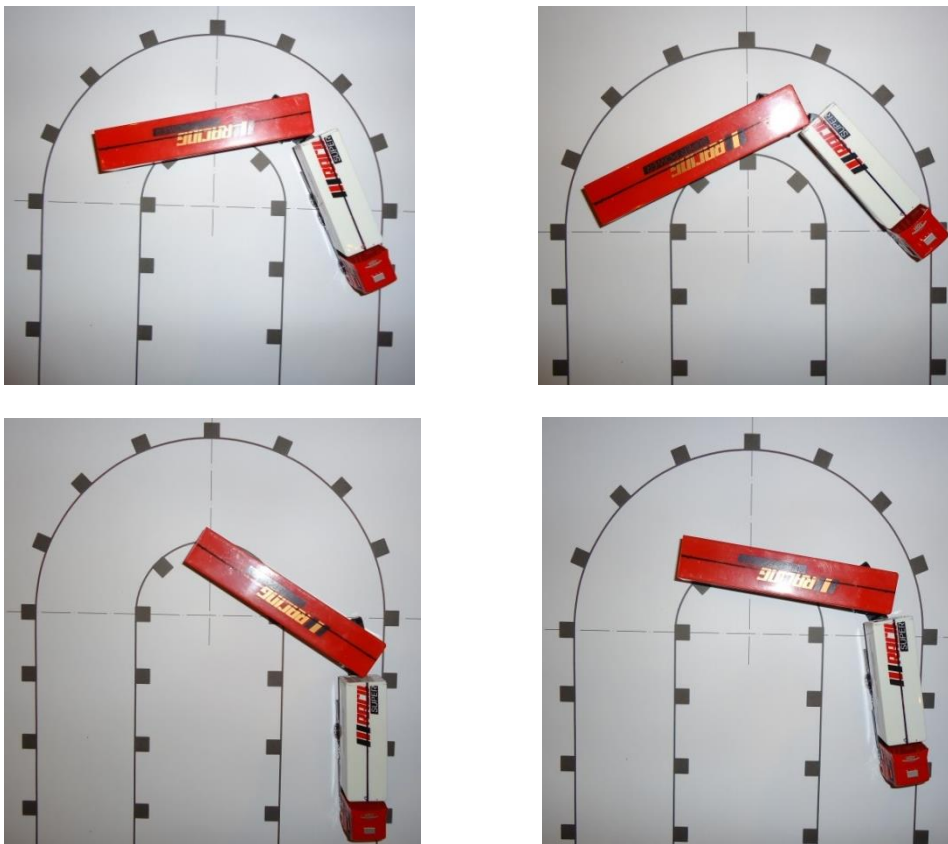


Рис. 7. Положення автопоїзда при випробуваннях «Рух по колу»

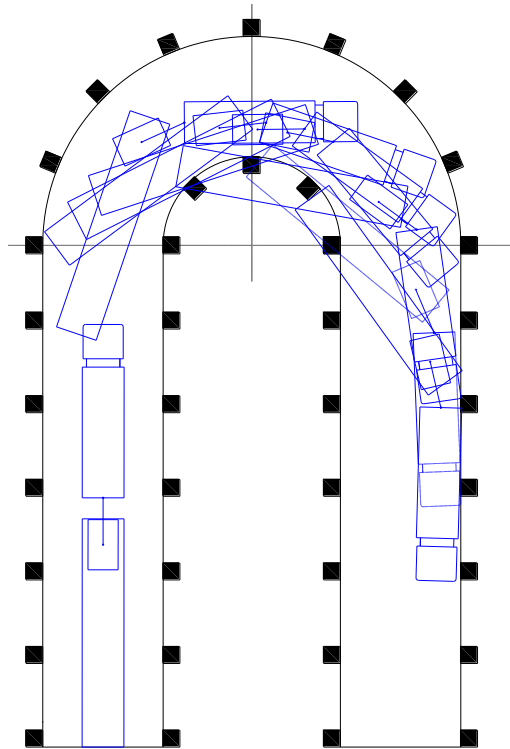


Рис. 8. Траєкторія руху ланок автопоїзда при випробуваннях «Рух по колу»

Після обробки результатів випробувань «Рух по колу» (рис. 8) 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	6,36	20
Зовнішній габаритний радіус	12,5	14,55	16,4
Габаритна смуга руху	7,2	8,19	13,75

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 13,75 %.

Для поліпшення маневреності причіпні ланки автопоїздів мають бути обладнані більш-менш складними системами керування осями або використовуватися самоустановлювальні осі чи самоустановлювальні колеса осей напівпричепа.

Список використаної літератури:

1. Гандзюк М.О. Розробка плоскої математичної моделі руху модульного триланкового причіпного автопоїзда у складі «автомобіль-тягач – двовісний підкатний візок з неповоротними осями (dolly) – тривісний напівпричіп / М.О. Гандзюк, Е.Л. Селезньов, Д.М. Гандзюк // Наукові нотатки : Міжвузівський збірник. – Вип. 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. – Вип. 5. – К. : НТУ, 2007.

3. *Закін Я.Х.* Методи аналізу маневрених властивостей автопоездів / *Я.Х. Закін.* – М. : Автотрансиздат, 1961. – 42 с.
4. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на показники маневреності трьохланкових автопоїздів / *В.П. Сахно, І.Ф. Вороніна, В.В. Стельмашук, В.М. Поляков* // *Автошляховик України. Окремий випуск.* – 2003. Жовтень. – С. 98–101.
5. До визначення показників маневреності і стійкості руху трьохланкових автопоїздів / *В.П. Сахно, В.Г. Вербицький, І.Ф. Вороніна, В.В. Стельмашук* // *Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів.* - К. : НТУ, 2003. – № 17. – С. 141–146.
6. Маневреність триланкових автопоїздів типу «B-Double» / *В.П. Сахно, В.М. Глінчук, Р.М. Марчук, В.П. Онищук* // *Проблеми автомобільного транспорту : зб. наук. пр. : Вип. 7.* – К. : НТУ, 2010. – С. 187–198.
7. Маневреність та безпека руху триланкових автопоїздів різних компоувальних схем / *В.П. Сахно, П.О. Гуменюк, Р.М. Марчук, В.П. Онищук, В.М. Придюк* // *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту / Науковий журнал.* – Вип. 4. – 2011.
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.* – Вип. 3, 2013. – С. 73–84.
9. Порівняльна оцінка маневреності триланкових автопоїздів різних компоувальних 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. Трехзвенные автопоезда / *Я.Е. Фаробин, А.М. Якобашвили, А.М. Иванов 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. – № 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. – № L235/59-75.

References:

1. Gandzyuk, M.O., Seleznev, E.L. and Gandzyuk, D.M. (2016), “Rozrobka ploskoi' matematychnoi' modeli ruhu modul'nogo trylankovogo prychipnogo avtopoi'zda u skladi “avtomobil'-tjagach – dvovisnyj pidkatnyj vizok z nepovorotnyj osjamy (dolly) – tryvisnyj napivprychip”, *Naukovi notatki: Mizhvuziv's'kyj zbirnyk*, Vol. 55, pp. 72–79.
2. Englezi, O.A. (2007), “Doslidzhennja kinematyky povorotu avtopoi'zda na fizychnij modeli”, *Upravlinnja proektamy, systemnyj analiz i logistyka*, Vol. 5.
3. Zakin, Ya.X. (1961), *Metody analiza manevrennykh svoystv avtopoezdov*, Avtotransizdat, Moscow, 42 p.
4. Sahno, V.P., Voronina, I.F., Stel'mashuk, V.V. and Polyakov, V.M. (2003), “Vplyv konstruktyvnyh i ekspluatacijnyh faktoriv na pokaznyky manevrenosti tr'ohlankovyh avtopoi'zdiv”, *Avtohljahovyk Ukraïny*, special issue, pp. 98–101.
5. Sahno, V.P., Verbyc'kyj, V.G., Voronina, I.F. and Stel'mashuk, V.V. (2003), “Do vyznachenja pokaznykiv manevrenosti i stijkosti ruhu tr'ohlankovyh avtopoi'zdiv”, *Systemni metody keruvannja, tehnologija ta organizacija vyrobnyctva, remontu ta ekspluatacij' avtomobiliv*, No. 17, pp. 141–146.
6. Sahno, V.P., Glinchuk, V.M., Marchuk, R.M. and Onishchuk, V.P. (2010), “Manevrenist' trylankovyh avtopoi'zdiv typu “B-Double”, *Problemy avtomobil'nogo transportu : zb. nauk. pr.*, Vol. 7, NTU, pp. 187–198.

7. Sahno, V.P., Gumenjuk, P.O., Marchuk, R.M., Onyshhuk, V.P. and Prydjuk, V.M. (2011), "Manevrenist' ta bezpeka rjuhe trylankovyh avtopoi'zdiv riznyh komponoval'nyh shem", *Visnyk Donec'koi akademii avtomobil'nogo transportu. Naukovyj zhurnal*, Vol. 4.
8. Sahno, V.P., Polyakov, V.M. and Glinchuk, V.M. (2013), "Matematychno modeljuvannja trylankovyh avtopoi'zdiv v pozdovzhnij, vertykal'nij i poperechnij ploshhynah", *Visnyk Donec'koi akademii avtomobil'nogo transportu. Naukovyj zhurnal*, Vol. 3, pp.73–84.
9. Sahno, V.P., Polyakov, V.M., Marchuk, R.M. and Gumenjuk, P.O. (2013), "Porivnjal'na ocinka manevrenosti trylankovyh avtopoi'zdiv riznyh komponoval'nyh shem", *Avtomobil'nyj transport. Naukovo-vyrobnychyj zhurnal*, No. 1 (231), pp. 2–6.
10. Farobin, Ya.E., Yakobashvili, A.M. and Ivanov, A.M. (1993), *Trekhzvennye avtopoezda*, Mashinostroenie, Moscow, 224 p.
11. European parliament and the Council (2002), *Directive 2002/7/EC 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, No. L67/47–49.
12. European parliament and the Council (1996), *Council Directive 96/53/EC 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, No. L235/59–75.

ГАНДЗЮК Дмитро Миколайович – аспірант кафедри АТТ Луцького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- маневреність, стійкість руху та гальмівна динаміка триланкових автопоїздів.
- E-mail: Gandzyukd@gmail.com.

ГАНДЗЮК Микола Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри АТТ Луцького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- зниження вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах ДВЗ;
- удосконалення конструкцій легкових та вантажних автомобілів;
- організація перевезень та управління на автомобільному транспорті;
- міський транспорт, процеси переміщення людей, товарів, послуг;
- міська мобільність, організація руху;
- маневреність і стійкість руху автопоїздів.

Тел.: (050) 634–61–86.

E-mail: Gandzyuk@mail.ru, Gandzyuk64MG@ukr.net.

ПРИДЮК Валентин Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри АТТ Луцького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- організація перевезень та управління на автомобільному транспорті;
- маневреність і стійкість руху автопоїздів.

Тел.: (099) 740–08–50.

E-mail: pred_mbf@mail.ru.

СТЕЛЬМАЩУК Валерій Віталійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри АТТ Луцького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- організація перевезень та управління на автомобільному транспорті;
- організація міжнародних перевезень;
- маневреність і стійкість руху автопоїздів.

Тел.: (099) 731–78–91.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2016.