

Мойся Д.Л.  
Сакно О.П.  
Ермоленко С.С.  
Муженко Д.І.  
Ковальчук О.А.  
Подимський А.І.  
Немиш Р.В.  
Прищляк Р.Л.  
*Військова академія, м. Одеса*

ДО ПИТАННЯ УЗАГАЛЬНЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ  
МОДЕЛІ МАНЕВРНОСТІ АВТОПОЇЗДІВ

УДК 629.113

Розглядаються проблеми керованості дволанкового автопоїзда з керованим напівприцепом. Виконано аналіз стійкості стаціонарних режимів автопоїзда з керованим напівприцепом. Стійкість кругових режимів проаналізована на основі аналізу власних значень системи лінійного наближення.

**Ключові слова:** автопоїзд, стійкість кругових режимів, математична модель, компоновальна схема.

**Постановка проблеми.** Перевезення негабаритних вантажів здійснюється, як правило, автомобільними поїздами до складу яких входять автомобіль-тягач та напівпричіп або причіп. Економічним є перевезення сидельними автопоїздами в складі автомобіля-тягача і напівпричепа.

Одним із шляхів підвищення продуктивності автопоїзда при перевезеннях є збільшення габаритної довжини. Однак збільшення довжини автопоїзда без відповідного вибору ряду параметрів погіршує його експлуатаційні властивості, зокрема маневреність. Забезпечення необхідного для конкретних умов експлуатації рівня маневреності й стійкості довгобазних автопоїздів є важливою і не цілком вирішеною задачею. Рішення цієї задачі стало можливим при обладнанні напівприцепів керованими колесами. Вибір і аналіз раціонального закону керування колесами напівпричепа, а також конструктивних параметрів таких автопоїздів набуває особливої важливості у зв'язку з перспективою їх широкого застосування.

Задовільна маневреності автопоїзда виражається в можливості його вписування у всі повороти, що зустрічаються на маршрутах руху, але поліпшення маневреності може призводити до погіршення показників стійкості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведеними раніше дослідженнями доведено, що при некерованих причіпних ланках і загальній довжині автопоїзда на рівні 22 м, він не може задовольнити вимогам DIRECTIVE 2002/7/ЄС [1-4].

Вирішення питання про відповідність автопоїзда з загальною довжиною понад 22 м вимогам DIRECTIVE 2002/7/ЄС можливе за умови застосування керованих осей на напівприцепі.

**Мета статті.** Описана узагальнена математична модель автопоїзда з керованою віссю напівпричепа. Розроблена модель є універсальною і може трансформуватися в математичні моделі автопоїздів інших компоновальних схем.

Наукова новизна створеної моделі полягає в тому, що вона враховує динамічну взаємодію підсистем автопоїзда при управлінні поворотною віссю напівпричепа. У розглянутих раніше моделях накладалася тільки кінематичний зв'язок.

**Матеріали й результати дослідження.** Автомобільні поїзда (рис. 1), до складу яких входять автомобіль-тягач та напівпричіп або причіп, широко експлуатуються в різних сферах промисловості країни.



Рисунок 1 - Дволанковий довгобазовий автопоїзд – панелевози

Однак при некерованих причіпних ланках і загальній довжині автопоїзда на рівні 22 м він не може задовольнити вимогам DIRECTIVE 2002/7/EC (рис. 2, рис. 3).

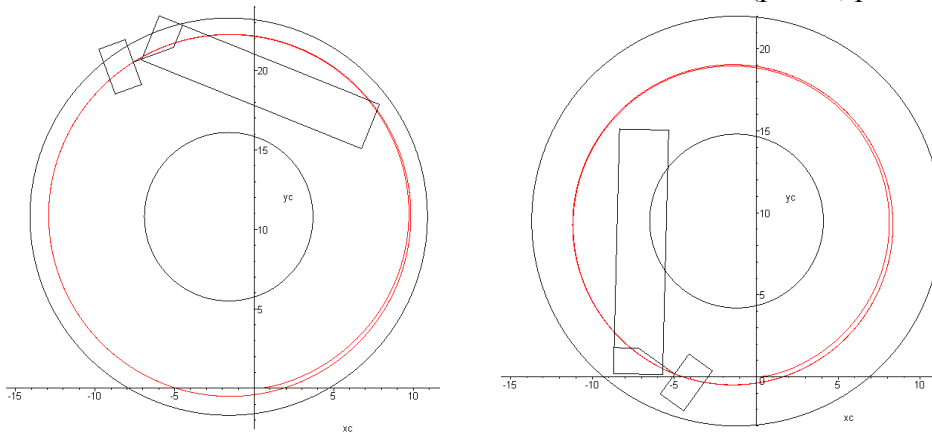


Рисунок 2 - Проходження довгобазним автопоїздом кругового коридору (напівпричіп некерований)

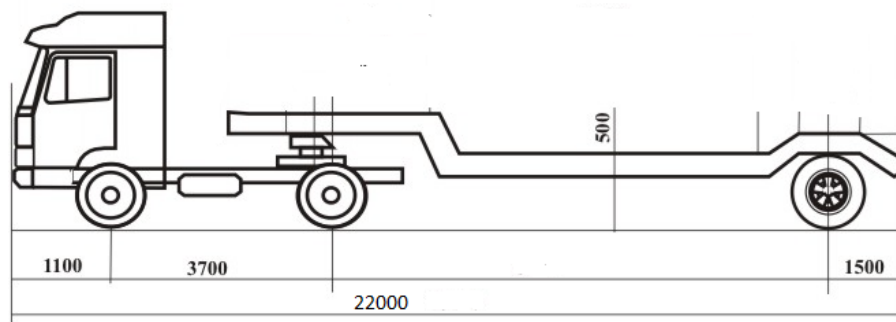


Рисунок 3 - Компонувальна схема довгобазного сидельного автопоїзда

У роботі [5] описано узагальнену математичну модель автопоїзда з керованою віссю напівпричепа. Розроблена модель є універсальною і може трансформуватися в математичні моделі автопоїздів інших компоувальних схем:

- класичного дволанкового автопоїзда;

- сідельного автопоїзда з самоорієнтованим підкатним візком;
- класичного трьохланкового автопоїзда.

На підставі математичної моделі [6, 7] розглянуто питання стійкості й маневреності сідельних автопоїздів різних компоувальних схем.

Виконано порівняльний аналіз стаціонарних режимів автопоїздів трьох компоувальних схем:

- класичний дволанковий автопоїзд;
- трьохланковий автопоїзд (третя ланка – самоорієнтований візок);
- сідельний автопоїзд з керованим напівпричепом.

Розглядалися автопоїзда з однаковими наборами параметрів при однакових керуючих впливах.

Так, значенням  $v = 4,5 \text{ м/с}$ ,  $\theta = 0,38 \text{ рад}$  відповідає круговий стаціонарний режим  $\{ u^* = 1,158 \text{ м/с}, \omega^* = 0,456 \text{ рад/с}, \varphi^* = 0,54 \text{ рад} \}$  – для автопоїзда з керованим напівпричепом, стаціонарний режим  $\{ u^* = 1,106 \text{ м/с}, \omega^* = 0,511 \text{ рад/с}, \varphi^* = 0,685 \text{ рад}, \varphi_1^* = 0,169 \text{ рад} \}$  – для трьохланкового автопоїзда з самоорієнтованим візком;  $\{ u^* = 1,062 \text{ м/с}, \omega^* = 0,464 \text{ рад/с}, \varphi^* = 0,92 \text{ рад} \}$  – для автопоїзда з керованим напівпричепом; траєкторії руху центра мас тягача в площині дороги і конфігурації автопоїздів представлені на рис. 4.

Аналізуючи отримані значення кутів складання, приходимо до висновку, що найбільш маневреною є компоувальна схема сідельного автопоїзда з керованим напівпричепом.

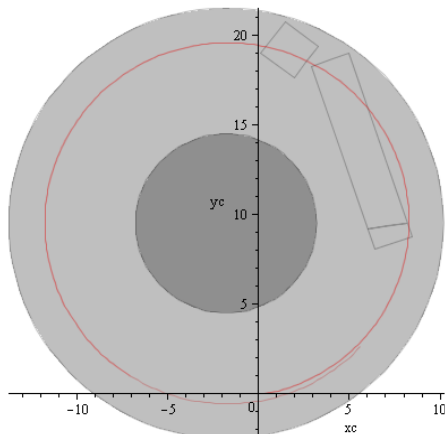
Дослідження математичної моделі показали, що вимогам по вписування DIRECTIVE 2002/7/ЄС може задовольнити сідельний автопоїзд з керованим напівпричепом, габаритна довжина якого перевищує законодавчо встановлену на 25 – 30%.

Вибрані, на основі чисельного інтегрування, параметри керування  $v = 2,5 \text{ м/с}$  і  $\theta = 0,5 \text{ рад}$  забезпечують вписуваність довгобазного автопоїзда (23...25 м) в кільцевий коридор (рис. 5), габарити якого відповідають стандартам ЄС (див. рис. 4).

Графічне представлення конфігурації автопоїзда отримано в програмному пакеті «Maple», виконувалося на основі чисельного інтегрування, вказує на стійкість реалізується режиму руху.

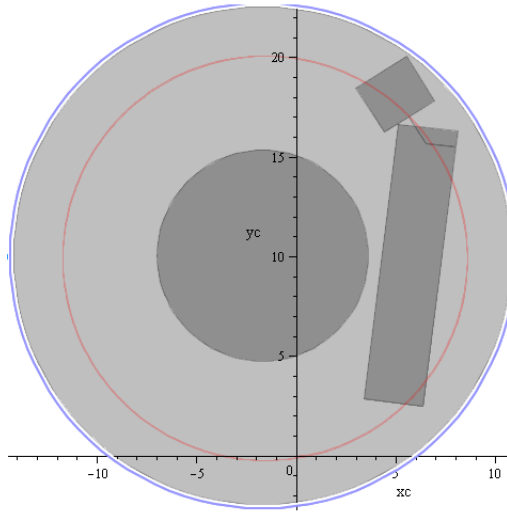
Ітераційний метод знаходження стаціонарного режиму руху автопоїзда  $\{ u = 0,7733 \text{ м/с}; \omega = 0,2756 \text{ рад/с}; \varphi_1 = -0,9001 \text{ рад} \}$  підтверджує результати чисельного інтегрування.

Автопоїзд з керованим напівпричепом



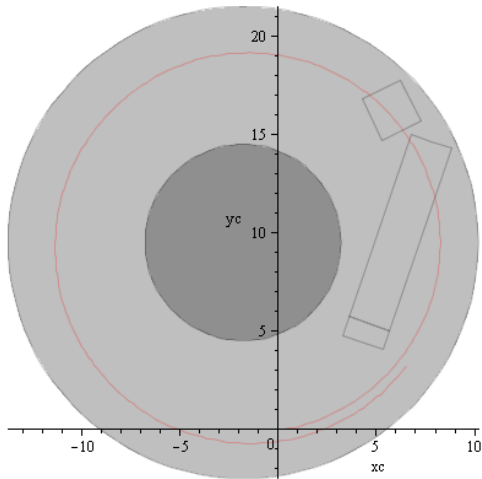
$$\begin{aligned} u^* &= 1,158 \text{ м/с}, \\ \omega^* &= 0,456 \text{ рад/с}, \\ \varphi^* &= 0,54 \text{ рад}. \end{aligned}$$

Автопоїзд з самоорієнтованим візком



$$u^* = 1,106 \text{ м/с},$$
$$\omega^* = 0,511 \text{ рад/с},$$
$$\varphi^* = 0,685 \text{ рад},$$
$$\varphi_1^* = 0,169 \text{ рад}.$$

Класичний дволанковий автопоїзд



$$u^* = 1,062 \text{ м/с},$$
$$\omega^* = 0,464 \text{ рад/с},$$
$$\varphi^* = 0,92 \text{ рад}.$$

Рисунок 4 - Конфігурація автопоїзда в площині дороги і відповідний стаціонарний режим при русі по круговому коридору, габарити якого відповідають стандартам ЄС, ( $v = 4,5 \text{ м/с}$  та  $\theta = 0,38 \text{ рад}$ ).

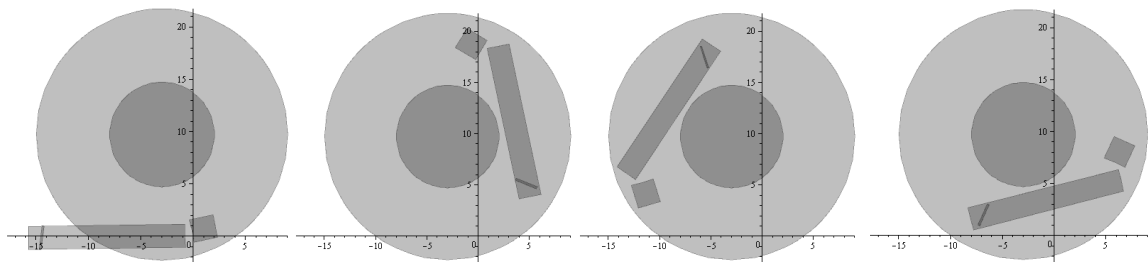


Рисунок 5 - Проходження довгобазним автопоїздом стандартного кільцевого коридору

Відобразимо фазові змінні, що відповідають цьому стаціонарному режиму у вигляді інтегральних кривих, отриманих в результаті чисельного моделювання математичної моделі (рис. 6).

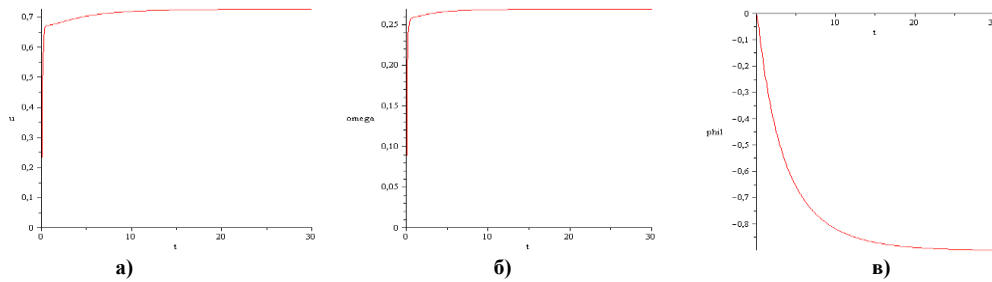


Рисунок 6 - Графіки зміни фазових змінних при входженні автопоїзда в круговий стаціонарний режим  
а – поперечна швидкість; б – кутова швидкість; в – кут складання

Графіки підтверджують, що з плином часу всі фазові змінні прагнуть до постійних величин, що відповідають стаціонарного режиму.

Для підтвердження стійкості кругового стаціонарного режиму визначимо спектр власних значень відповідного характеристичного рівняння.

Успішно вирішується питання покращення показників маневреності [8] та стійкості руху автопоїздів

**Висновки.** Введення управління напівприцепом значно зменшує кут складання, а отже і габаритну ширину коридору проходження автопоїздом повороту, що дозволяє збільшити габаритну довжину автопоїзда на 25...30% від законодавчо допустимої.

## Література

1. Рокар И. Неустойчивость в механике / И. Рокар. – М. : Изд-во иностр. лит., 1959. – 288с.
2. Лобас Л.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин / Л.Г. Лобас. – Киев : Наук. думка, 1990. – 232 с.
3. Эллис Д.Р. Управляемость автомобиля / Д.Р. Эллис. – М. : Машиностроение, 1975. – 216с.
4. Вербицкий В.Г. Бифуркации и устойчивость стационарных состояний связки катящихся упруго-деформированных тел / В.Г. Вербицкий // Прикл. механика, 1987. – Вып. 23, № 8. – С. 101–106.
5. Мойся Д.Л. Математическая модель седельного автопоезда с управляемым полуприцепом / Д.Л. Мойся // Наука и инновации в области автотранспортных средств и обеспечения безопасности дорожного движения: Междунар. сб. науч. трудов ; ФГБОУ ВПО «Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса». – Шахты : ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2011. – С. 100-106 с.
6. Мойся Д.Л. Анализ поворачиваемости двухзвенного автопоезда с управляемой осью полуприцепа. / Д.Л. Мойся // Наука и инновации в области сервиса автотранспортных средств и обеспечения безопасности дорожного движения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. ; Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. – Шахты : ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2012. – С. 150-157 с.
7. Сахно В. До визначення показників маневреності автопоїзда з керованим напівприцепом / В. Сахно, В. Поляков, В. Босенко та інш. // Politechnika Rzesovwska, Monografia pod redakcja naukova Kazimierza Lejdy nr 5. Systemy i Środki transporty samochodowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2014. – P. 95-103.
8. Сакно О.П. До питання покращення показників маневреності та стійкості руху автопоїздів / Сакно О.П., Мойся Д.Л., Пришляк Р.Л. та інш. // Наукові праці Міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої 85-річчю заснування ХНАДУ, 85-річчю заснування автомобільного факультету та з нагоди Дня автомобіліста і дорожника [«Новітні технології

**Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів**  
Technical service of agriculture, forestry and transport systems

в автомобілебудівництві та транспорті», [м. Харків, 15-16 жовт. 2015 р.]. – Харків : ХНАДУ, 2015. – С. 178.

Moisia D., Sakno O., Ermolenko S., Muzhenko D., Kovalchuk O., Podymyskiy A., Nemysh R., Pryshliak R. **On the issue of generalization of a mathematical model of maneuverability of lorry convoys**

The problem of controlling a two-unit lorry convoy with the guided semitrailer is discussed. The analysis of stability of steady-state conditions of lorry convoy with the guided semitrailer is performed. The stability of the circular conditions is analyzed based on the analysis of the characteristic constants of the linear approximation.

**Keywords:** Tractor, circular resistance modes, mathematical model, layout scheme.

### References

1. Rocard I. The instability in mechanics / I. Rocard. - Moscow: Publishing House of Foreign. lit., 1959. - 288s.
2. Lobas LG Qualitative and analytical methods in the dynamics of wheeled vehicles / LG Lobas. - Kiev: Science. Dumka, 1990. - 232 p.
3. Ellis DR Driving characteristics / DR Ellis. - M: Mechanical engineering, 1975. - 216с.
4. Verbitsky V. Bifurcation and stability of steady states ligament rolling elastically deformed bodies / VG Verbitsky // J. Appl. Mechanics, 1987. - Vip. 23, № 8. - S. 101-106.
5. wash up DL Mathematical model of truck trains with controlled semi / DL Wash up // Science and innovations in the field of motor vehicles and road safety: Intern. Sat. scientific. works; VPO "South-Ros. state. Univ of Economics and Service. " - Mining: VPO "SRSUES", 2011. - S. 100-106 with.
6. wash up DL Povorachivoemosti analysis of two-trains-controlled semi-trailer axle. / DL Wash up // Science and Innovation in the field of service vehicles and road safety: materials Intern. scientific-practical. Conf. ; South-Ros. state. Univ of Economics and Service. - Mining: VPO "SRSUES", 2012. - S. 150-157 with.
7. Sakhno B. Before viznachennya pokaznikov manevrenosti avtopoïzda s kerovanim napivprichepom / V. Sakhno, Polyakov, V. Bosenko that insh. // Politechnika Rzesovwska, Monografia pod redakcja naukova Kazimierza Lejdy nr 5. Systemy i Środki transporty samochodowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2014. - P. 95-103.
8. Sakne OP Before power pokraschennya pokaznikov manevrenosti that stiykosti Ruhu avtopoïzdiv / Sakne OP, wash up, DL, RL Prishlyak that insh. // Naukovi pratsi Mizhnar. nauk.-Pract. Conf. prisvyachenoï 85 richchyu zasnuvannya HNADU, 85 richchyu zasnuvannya avtomobilnogo faculty that s nagodi avtomobilista i Roadman's Day [ "Zaporizhya tehnologii in avtomobilebudivnitstvi that transporti"] [m. Kharkiv, 15-16 zhovto. 2015 p.]. - Kharkiv: HNADU, 2015. - S. 178.