



УДК 629.113

- © В.П. Сахно, докт. техн. наук, професор,
- © В.М. Поляков, канд. техн. наук, доцент,
- © М.І. Файчук, аспірант (НТУ),
- © Р.М. Кузнєцов, канд. техн. наук, доцент (Луцький національний технічний університет),
- © В.М. Глінчук, канд. техн. наук, доцент (Національний університет водного господарства і природокористування)

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА МАНЕВРНОСТІ ТРИЛАНКОВИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПОЇЗДІВ РІЗНИХ КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ

**Анотація.** Встановлено, що будь-яка компоновальна схема сучасних триланкових автопоїздів може бути приведена до схеми з напівприцепом на підкатному візку. Показано, що тільки дволанкові автопоїзди задовольняють вимоги Директиви щодо маневреності. Для триланкових автопоїздів за некерованих причіпних ланок габаритна смуга руху змінюється в межах 7,33 м для причіпного автопоїзда до 14,9 м – для автопоїзда типу “B-Double”. Тому для багатоланкових автопоїздів актуальним є вибір кількості керованих причіпних ланок та їх розміщення у складі автопоїзда.

**Аннотація.** Установлено, что любая компоновочная схема современных трехзвенных автопоездов может быть приведена к схеме с полуприцепом на подкатной тележке. Показано, что только двухзвенные автопоезда удовлетворяют требования Директивы относительно маневренности. Для трехзвенных автопоездов при неуправляемых прицепных звеньях габаритная полоса движения изменяется в пределах 7,33 м для прицепного автопоезда до 14,9 м – для автопоезда типа “B-Double”. Поэтому для многозвенных автопоездов актуальным является выбор количества управляемых прицепных звеньев и их расположения в составе автопоезда.

**Ключевые слова:** автопоезд, трехзвенный автопоезд, прицепное звено, маневренность, габаритная полоса движения, подкатная тележка, полуприцеп, компоновочная схема.

**Annotation.** It is set that any layout chart of modern three-unit lorry convoys can be resulted to the chart with a semitrailer on a light cart dolly. It is rotined, what only two-link lorry convoy satisfy the requirements of Directive in relation to manoeuvrability. For three-unit lorry convoys at the out of control towed links the overall bar of motion changes within the limits of a 7,33 mcode for the towed lorry convoy a to 14,9 mcode – for the lorry convoy of type of “B-Double”. Therefore for iterative lorry convoys of prezent interest is a choice of amount of the guided towed links and their location in composition a lorry convoy.

**Keywords:** lorry convoy, three-unit lorry convoy, towed link, manoeuvrability, overall bar of motion, подкатная light cart, semitrailer, layout chart.

### Вступ

За основу триланкових автопоїздів, що сьогодні перебувають в експлуатації, було взято автомобілі-тягачі компанії Scania, а також причіпна техніка компанії Krone – тривісні напівпричепи SD-27, дво-, тривісні причепи з наближеними осями ZZ-18 (ZZ-27), дво-, тривісні причепи з рознесеними осями з передньою поворотною віссю AZ-18 (AZ-27), двовісний підкатний візок “Dolly”.

Аналіз компоновальних схем сучасних триланкових автопоїздів (рис. 1), побудованих за модульним принципом, показав, що будь-яка компоновальна схема може бути приведена до схеми з напівприцепом на підкатному візку (далі – автопоїзд). Такий

автопоїзд складається з автомобіля-тягача, підкатного візка (dolly) і тривісного напівпричепи.

Загальна маса таких автопоїздів складає 60 т, а довжина понад 25 м. Такий автопоїзд, з погляду кінематики, трансформується у схему триланкового сидельно-причіпного автопоїзда, коли напівпричіп опирається на сидельно-зчіпний пристрій тягача, а підкатний візок перетворюється в причіп; у схему “B-double”, коли підкатний візок трансформується у напівпричіп; у схему з двома причепами, коли підкатний візок і напівпричіп трансформуються в причепи (сьогодні така схема майже не використовується через низькі показники стійкості руху).

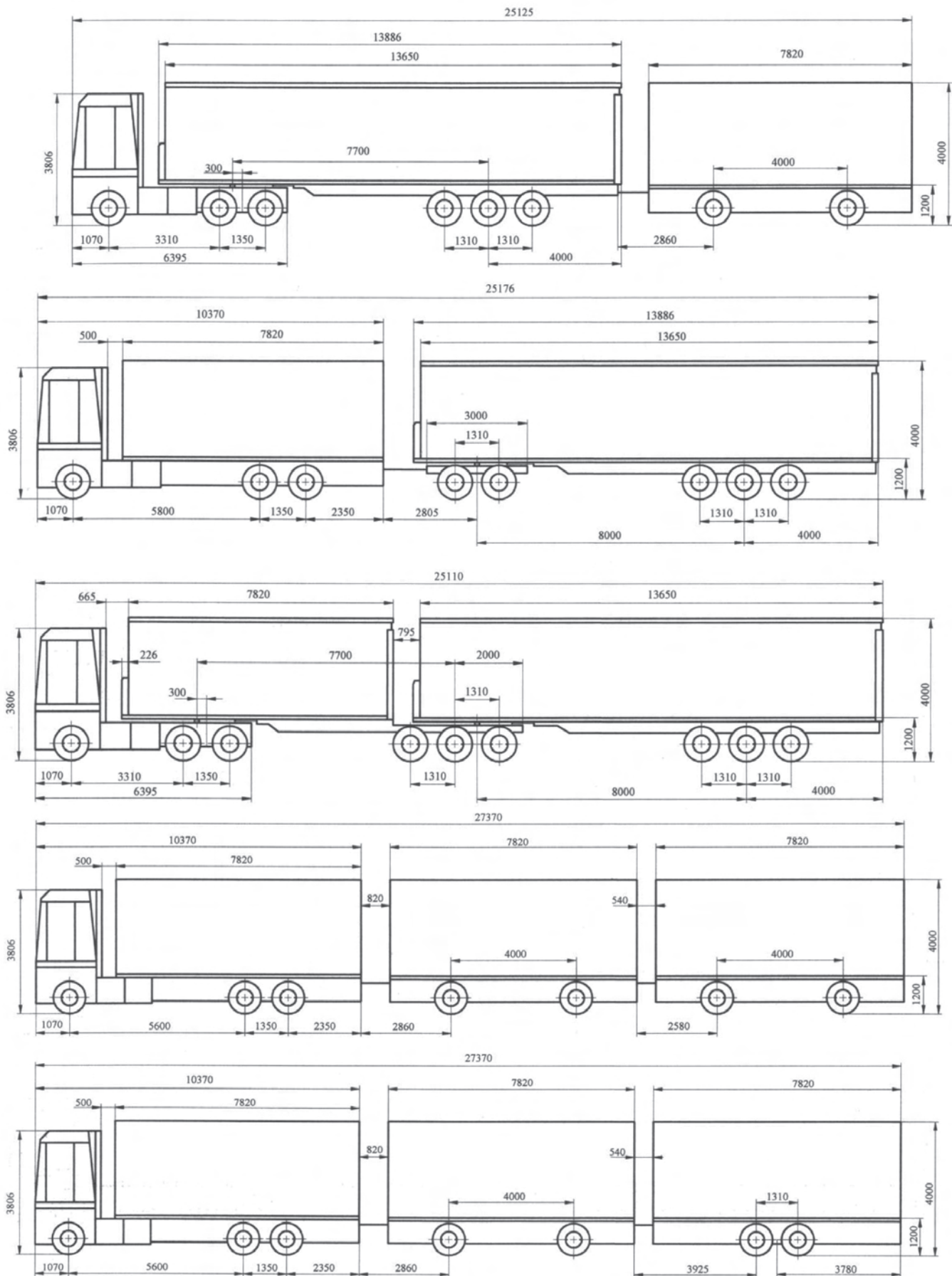


Рис. 1. Компонувальні схеми триланкових автопоїздів



Для забезпечення необхідних показників маневреності кожен елемент автопоїзда повинен вписуватись у коло з внутрішнім радіусом 5,3 м і зовнішнім радіусом 12,5 м. Визначення дійсних радіусів повороту може бути здійснено як аналітичними, які базуються на математичних моделях, так і експериментальними методами.

При розробці математичних моделей, через їх складність, доводиться вносити певні корективи – спрощення і припущення, які б не сильно впливали на кінцевий результат (результати мали допустиму похибку), а й давали можливість значно скоротити час і спростити складання власне моделі. *Метою роботи* є порівняльна оцінка маневреності триланкових автопоїздів різних компоновальних схем на основі розробленої математичної моделі.

#### Основна частина

При складанні математичної моделі візьмемо низку припущень та обмежень, щоб максимально спростити розроблені методи і зробити їх доступними для широкого практичного використання.

Відповідно до досліджень Я.Х. Закіна [1, 2, 3], Я.Є. Фаробіна [4, 5], науковців Національного транспортного університету [6, 7], показники маневреності автопоїзда можна визначати за жорстких у бічному напрямку колесах. При цьому вважається, що опорна поверхня, по якій відбувається криволінійний рух автопоїзда, строго горизонтальна і має покращене покриття, яке не створює значного опору руху.

Елементарні кінематичні ланки, що входять до складу автопоїзда, надалі розглядатимуться в подальшому як абсолютно жорсткі тіла, без врахування можливих внутрішніх деформацій пружних елементів, які входять до його складу, тому вертикальні переміщення центра мас ланок і нахил їхніх підресорних мас виключається.

Криволінійний рух автопоїзда можна характеризувати основною траєкторією автомобіля-тягача та траєкторіями головних точок причіпних ланок автопоїзда. Основна траєкторія складається з трьох ділянок: кругової траєкторії і двох перехідних – вхідної та вихідної. Кругова траєкторія з постійним радіусом залежить лише від геометричних параметрів автомобіля-тягача і напівпричепи чи причепа. Форми перехідних траєкторій залежать не тільки від геометричних, а й від кінематичних параметрів автомобіля-тягача: кутової швидкості повороту керованих коліс, поступальної швидкості руху автопоїзда на повороті [1]. Габаритна смуга криволінійного руху багатоланкового автопоїзда на відміну від смуги прямолінійного руху має складну форму, обмежену проєкціями траєкторій на горизонтальну площину зовнішнього, стосовно центра повороту, крила автомобіля-тягача і заднього кінця причепа чи напівпричепи. Габаритну смугу руху автопоїзда на повороті визначає *головна траєкторія автомобіля-тягача* та зміщення траєкторії причепа чи напівпричепи від основної траєкторії до центра повороту, тобто при розгляді питань кінематики повороту триланкового

причіпного автопоїзда з некерованими причіпними ланками (підкатним візком і напівпричепом) можна звести до двовісного автомобіля-тягача, одновісного підкатного візка й одновісного напівпричепи.

У такому разі триланковий причіпний автопоїзд можна розділити на дві пари кінематичних ланок – автомобіль-тягач-перший причіп і перший-другий причепи. Згідно з теоремою про складання обертання фігури навколо паралельних осей, складний криволінійний рух твердого тіла складається з абсолютного руху в нерухомій (абсолютній) системі координат відносного руху по відношенню до спряженого з ним ведучого твердого тіла і переносного руху останнього.

Розглянемо рух першої пари ланок триланкового автопоїзда (рис. 2), що складається з двовісного автомобіля-тягача й одновісного підкатного візка (причепи), що має неповоротну ходову вісь і винос  $c_0$  точки зчипки тягача з причепом  $O'_0$ , через що виникає кут  $\alpha_0$ . Поздовжні осі автомобіля-тягача та причепа повернуті відносно до вихідного прямолінійного положення вздовж осі  $x$  відповідно на кути  $\psi_0$  і  $\psi_1$ .

Із трикутника  $aO'_0b$  маємо  $\gamma_1 = \psi_0 - \psi_1$ . Диференціювання цього рівняння для першого причепа дає рівняння [1]:

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \frac{d\psi_0}{dt} - \frac{d\psi_1}{dt} = \omega_0 - \omega_1, \quad (1)$$

Рівняння (1) для напівпричепи:

$$\frac{d\gamma_2}{dt} = \omega_1 - \omega_2, \quad (2)$$

де  $\gamma_2$  – кут складання між підкатним візком і напівпричепом;

$\omega_1$  і  $\omega_2$  – абсолютні кутові швидкості повороту підкатного візка і напівпричепи.

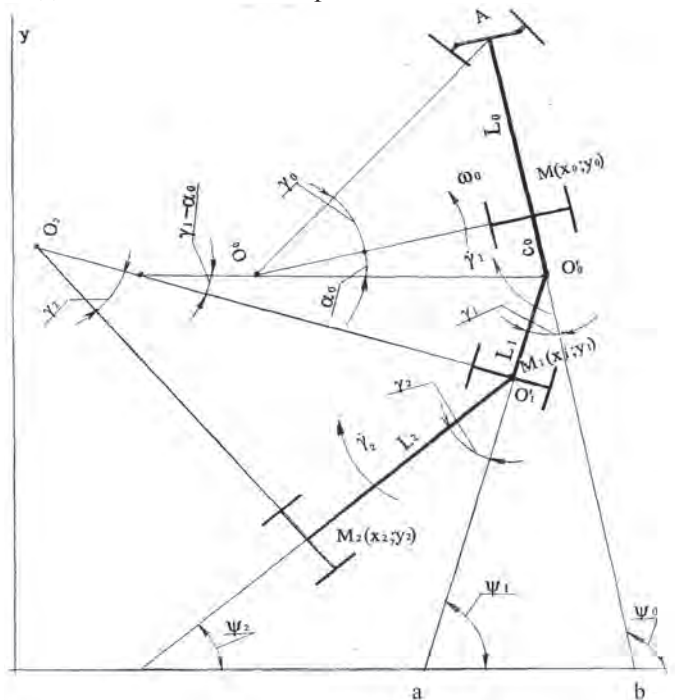


Рис. 2. Схема криволінійного руху автопоїзда з некерованими причіпними ланками

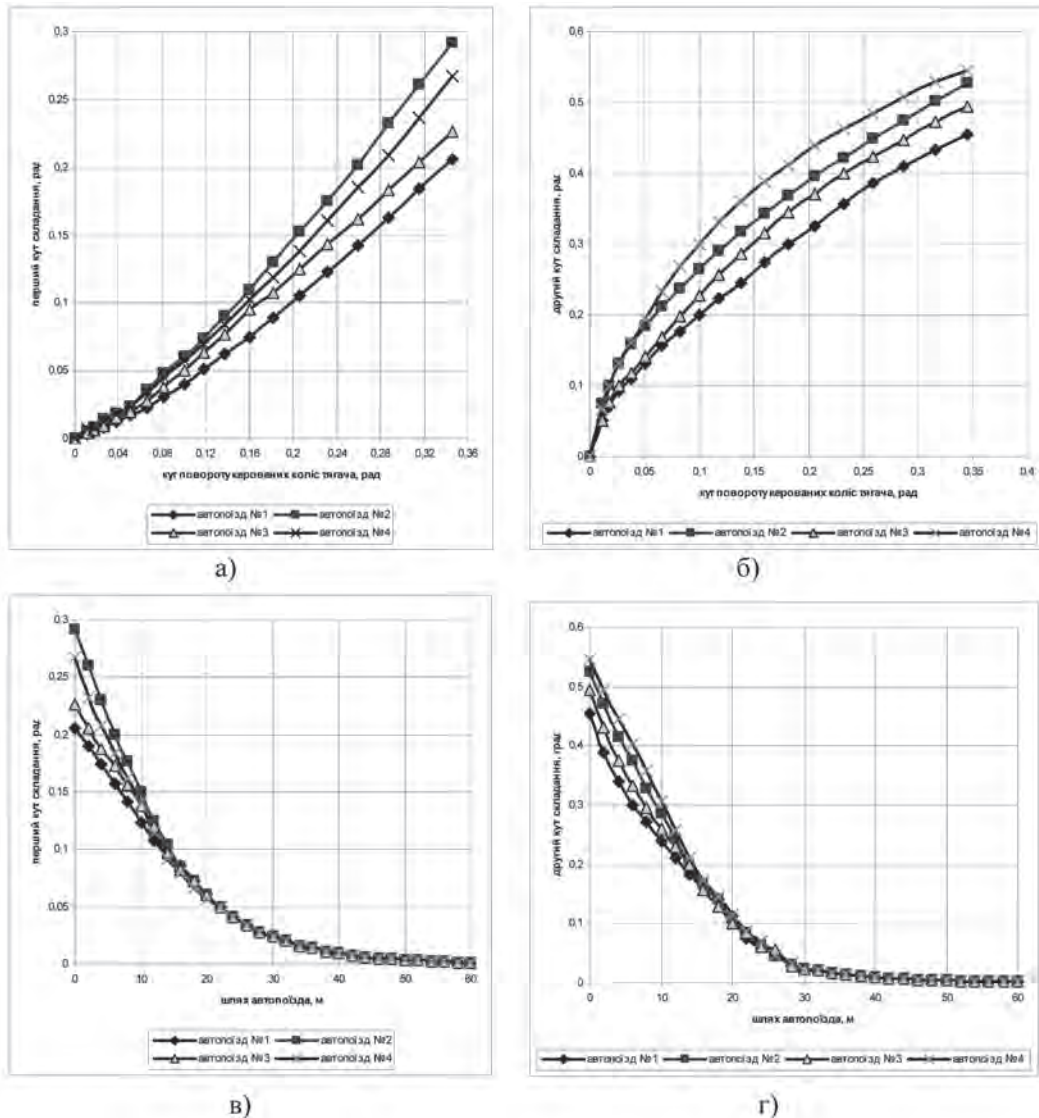


Рис. 3. Зміна кутів складання ланок при вході автопоїзда в поворот (а, б) і виході з повороту (в, г)

Рух триланкового причіпного автопоїзда описується системою диференціальних рівнянь [1]:

$$\begin{aligned} \frac{d\gamma_1}{dt} &= \omega_0 - \omega_1, \\ \frac{d\gamma_2}{dt} &= \omega_1 - \omega_2. \end{aligned} \quad (3)$$

Розгорнувши систему рівнянь (3) отримаємо:

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \omega_0 \left( 1 - \frac{L_0}{\operatorname{tg}(\gamma_0) \cdot \cos(\alpha_0)} \cdot \frac{\sin(\gamma_1 - \alpha_0)}{L_1} \right), \quad (4)$$

$$\frac{d\gamma_2}{dt} = \omega_1 \left( 1 - \frac{L_1 \cdot \cos(\gamma_1 - \alpha_0)}{\sin(\gamma_1 - \alpha_0)} \cdot \frac{\sin(\gamma_2)}{L_2} \right). \quad (5)$$

Отримана система рівнянь описує залежності кутів складання триланкового причіпного автопоїзда для різних стадій його повороту, яка у загальному вигляді не інтегрується. Їх розв'язок зроблено за допомогою програмного забезпечення Mathcad. На рис. 3-б як приклад наведені результати розрахунків кутів складання автопоїзда, що розглядаються:

- автопоїзд №1 – автомобіль-тягач Scania + причіп на підкатному візку dolly;
- автопоїзд №2 – автомобіль-тягач Scania + два напівпричепи (b-double);
- автопоїзд №3 – автомобіль-тягач Scania + напівпричіп + причіп;
- автопоїзд №4 – автомобіль-тягач Scania + два причепи з наближеними осями.

Аналіз результатів розрахунків показав:

- поворот усіх елементарних кінематичних ланок здійснюється на першій стадії послідовно, причому ланка, що має більшу базу, забігає інтенсивніше у внутрішню сторону повороту, збільшуючи перший кут складання. Зміна другого кута складання також залежить від бази другої ланки. Тому найбільші значення кутів складання притаманні автопоїздам №2 (перший кут складання) і №4 (другий кут складання). Аналогічно змінюються і швидкості обертання ланок триланкового автопоїзда незалежно від режиму його повороту;

- після закінчення першої стадії повороту автопоїзд переходить на колову траєкторію, при цьому кут повороту керованих коліс тягача і кути складання залишаються незмінними;

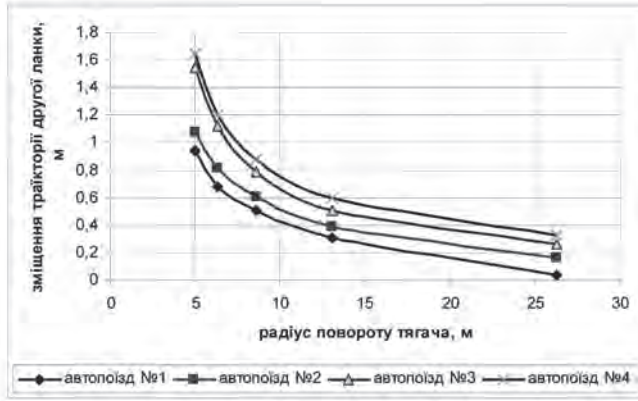


Рис. 4. Зміщення траєкторії другої причіпної ланки автопоїзда щодо траєкторії тягача

- при виході з колової траєкторії кут повороту керованих коліс тягача та кути складання змінюються за тими ж законами, що і при вході в поворот, проте в протилежну сторону;

- при виході з повороту тягач рухається вже прямолинійною траєкторією, а причіпні ланки – ще перехідними траєкторіями, зменшуючи кути складання. На шляху автопоїзда близько 15 м та 25 м перші і другі кути складання відповідно практично стають однаковими для усіх автопоїздів;

- кути складання суттєво залежать від режиму криволінійного руху автопоїзда. Зі зменшенням режимного коефіцієнта повороту зменшуються й кути складання ланок автопоїзда  $\gamma_1$  та  $\gamma_2$  при одному і тому ж значенні приведенного кута повороту  $\gamma_0$  керованих коліс автомобіля-тягача, так як автопоїзд займає при цьому менш “складене” положення;

- при односторонньому повороті траєкторії другої причіпної ланки по відношенню до першої зміщуються до центра повороту, збільшуючи при цьому габаритну смугу руху, **рис. 4**.

За знайденими кутами складання ланок автопоїзда визначаються габаритні радіуси повороту та габаритні смуги руху автопоїзда. Ця методика була використана і для визначення показників завантаженості та маневреності дво- і чотириланкових автопоїздів типу “B-triple”.

Максимальні маси автопоїздів визначалися з умови допустимих осьових навантажень відповідно до “Угоди про маси і габарити транспортних засобів...” [8].

Проведеними розрахунками встановлено, що максимальне використання вантажопідйомності транспортних засобів за умови завантаження їх європіддонами досягається тільки для дволанкових автопоїздів, загальна маса яких не перевищує 42000 кг. Для триланкових автопоїздів існує суттєве недовантаження як автомобілів-тягачів і причепів причіпних автопоїздів, так і напівпричепів сидельних автопоїздів, виходячи із загальної маси таких автопоїздів на рівні 60000 кг. Це потребує перегляду довжини окремих ланок автопоїзда з тим, щоб для будь-якої конструкції максимально використовувати можливості автопоїзда. Для автопоїзда типу “B-triple” допустима

максимальна маса складає 96000 кг та використовується майже на 98%, проте спостерігається суттєве перевантаження одних модулів і недовантаження других. Окрім того, встановлено також, що тільки дволанкові автопоїзди задовольняють вимоги Директиви щодо маневреності [8]. Для триланкових автопоїздів за некерованих причіпних ланок мінімальний зовнішній габаритний радіус повороту при внутрішньому габаритному радіусі на рівні 5,3 м змінюється в межах від 12,63 м для причіпного автопоїзда до 14,9 м – для автопоїзда типу “B-Double”. Пояснюється це тим, що довжина триланкового автопоїзда становить в межах 26,0...27,0 м.

Для чотириланкового автопоїзда за тих же умов зовнішній габаритний радіус повороту становить 15,65 м при загальній довжині автопоїзда на рівні 36,5 м.

Із наведеного аналізу можна зробити висновок, що для багатоланкових автопоїздів актуальним є вибір кількості керованих причіпних ланок та їх розміщення у складі автопоїзда.

#### Висновки

Встановлено, що будь-яка компоновальна схема сучасних триланкових автопоїздів може бути приведена до схеми з напівпричепом на підкатному візку. Показано, що тільки дволанкові автопоїзди задовольняють вимоги Директиви щодо маневреності. Для триланкових автопоїздів за некерованих причіпних ланок мінімальний зовнішній габаритний радіус повороту при внутрішньому габаритному радіусі на рівні 5,3 м змінюється в межах від 12,63 м для причіпного автопоїзда до 14,9 м – для автопоїзда типу “B-Double”. Пояснюється це тим, що довжина триланкового автопоїзда становить в межах 26,0...27,0 м.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Закин Я.Х.** Прикладная теория движения автопоезда. – М.: Транспорт, 1967. – 225 с.
2. **Закин Я.Х.** Маневренность автомобиля и автопоезда. – М.: Транспорт, 1986. – 137 с.
3. **Закин Я.Х.** Методы анализа маневренных свойств автопоездов. – М.: Автотрансиздат, 1961. – 42 с.
4. **Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок / Фаробин Я.Е., Щупляков В.С.** – М.: Транспорт, 1983. – 200 с.
5. **Трехзвенные автопоезда / Я.Е. Фаробин, А.М. Якобашвили, А.М. Иванов и др.** / Под общ. ред. Я.Е. Фаробина. – Машиностроение, 1993. – 224 с.
6. **Сахно В.П.** До визначення показників маневреності триланкового причіпного автопоїзда / В.П. Сахно, А.Є. Бондаренко, В.М. Глінчук, І.С. Мурований // Автошляховик України. Окремий випуск 9. Вісник Північного наукового центру ТАУ. – 2006. – С. 102-108.
7. **Сахно В.П.** Маневреність триланкових автопоїздів / В.П. Сахно, І.Ф. Вороніна, С.С. Угляниця, В.В. Стельмашук // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник ЦНЦ ТАУ. – 2004. Окремий випуск 7. – С. 118-124
8. **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.