

В.П. Сахно, д.т.н., проф.
В.М. Поляков, к.т.н., доц.
С.М. Шарай, к.т.н., доц.
О.Є. Омельницький, аспірант
Національний транспортний університет

Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на показники маневреності метробуса

Метробуси за своєю конструкцією подібні до дволанкових і триланкових вантажних автотранспортних засобів (АТЗ), дослідженню маневреності яких присвячена значна кількість робіт. Тому для оцінки маневреності метробуса слід використовувати два, а саме – габаритну смугу руху (ГСР) і можливість рухатися заднім ходом.

Найменш вивченим на-сьогодні є питання можливості руху автопоїзда заднім ходом. Проте це питання стосовно метробусів не є визначальним, так як метробуси рухаються по окремим виділеним смугам руху.

У роботі показники маневреності метробуса визначалися на еластичних у бічному напрямку колесах за допомогою системи рівнянь, що дозволяла досліджувати поведінку триланкового метробуса як у стаціонарних, так і нестаціонарних режимах руху. Розв'язок вихідної системи рівнянь здійснено за допомогою програмного забезпечення Maple 14. Розрахунки виконані для триланкового метробуса у складі тривісного автобуса загальною масою 24 т і комбінації із двовісних некерованих і тривісних керованих причепів загальною масою 16 т.

Встановлено, що зменшення параметра c – відстані від точки зчипки автобуса з шишем першого причепа від 1,0 м до 4,0 м призводить до поліпшення показників маневреності метробуса. Зміна довжини шиша першого причепа аналогічна зміні точки зчипки автобуса з шишем першого причепа.

У висновках показано, що автопоїзд № 2 (перший причіп з рознесеними осями і передньою керованою віссю, другий причіп – з наближеними осями) значно кращий у порівнянні з автопоїздом № 3 (два причепа з наближеними осями) і виконує вимоги DIRECTIVE 2002/7/EC. Так, габаритна смуга руху при русі коловою траєкторією автопоїзда № 2 складає 6,98 м, у той час як автопоїзда № 3 – 7,43 м, що не задовольняє вимог DIRECTIVE 2002/7/EC.

Ключові слова: метробус; автобус; причіп; маневреність; габаритна смуга руху; швидкість; автопоїзд.

Постановка проблеми. Швидкісний автобус, також Метробус (англ. Bus rapid transit, BRT) – спосіб організації автобусного (або тролейбусного) сполучення, що відрізняється вищими експлуатаційними характеристиками у порівнянні зі звичайними автобусними маршрутами (швидкість, надійність, провізна здатність). За деякими параметрами (зокрема, за швидкістю) системи швидкісного автобусного транспорту порівнянні з системами легкорельсового транспорту (швидкісного трамвая) [1]

BRT є результатом розвитку мережі автобусного суспільного транспорту. В порівнянні з метро цей проект володіє явними перевагами: менша вартість створення мережі, менша вартість рухомого складу, мобільність та інші [2].

Зручність, безпека і покращена організація дорожнього руху – це далеко не все, що зможе дати пасажиром нова система швидкісного автобусного транспорту. У цій системі пасажирські швидкісні автобуси пересуваються по спеціально виділених смугах. Вони відокремлені від проїжджої частини і обладнані закритими пасажирськими станціями з платформами на одному рівні і підземними переходами.

З'явиться метробус і в Києві. Перший маршрут пройде від Троєщини до Севастопольської площі. Ємкість цієї лінії експерти оцінюють в 140 тисяч пасажирів на добу. Друга лінія пройде по Лівому берегу – від Дарницької площі на Лісовий масив, її ємкість оцінюють в 160 тисяч пасажирів на добу.

Пасажиропотік буде порівнянний з тим, що щодня проходить через Сирецько-печерську лінію.

Попередня оцінка бюджету проекту – 100–120 мільйонів доларів. Ця сума включає реконструкцію магістралей, облаштування виділеної смуги з посадочними вузлами, реконструкцію перехрест'я і закупівлю рухомого складу для метробуса [3].

Таке рішення транспортної проблеми здаються неймовірно елегантними і ефективними. Проте недоліки такого рішення очевидні [4].

1. Автобус – найнеекономічніший вид наземного транспорту. Трамвай, або навіть тролейбус, на таких масових перевезеннях були б куди ефективніше. Крім того, не забуваємо і про екологію.

2. У разі метробуса втрачається одна з основних переваг автобуса над іншими видами транспорту – маневреність, і можливість проїзду по будь-яких вулицях без створення додаткової інфраструктури. Насправді, тут автобус йде по одній лінії, можливість повертати вправо-вліво не використовує, на інші вулиці не виїжджає.

3. Автобуси маломісткі. Як ми бачили, в деяких системах використовуються трисекційні автобуси, але більшість з них – звичайні двосекційні. Місткість двосекційного автобуса приблизно дорівнює місткості одного трамвайного вагону (150–180 чоловік), у разі низькопідлогових автобусів – ще менше. Трисекційний автобус вмістатиме трохи більше пасажирів.

Проте у використанні метробуса якийсь сенс є. Перш за все, це маневреність, що дозволяє йому пристосовуватися до обмежень, які склалися у дорожній вуличній мережі. Інфраструктура виходить багато дешевшою і простішою в підтримці, тобто метробусна ідея цілком життєздатна [4]. Проте при реалізації цієї ідеї виникає ряд труднощів, пов'язаних, перш за все, з прокладенням траси. Визначити радіуси заокруглень такої траси є актуальною задачею.

Аналіз літературних джерел. Метробуси за своєю конструкцією подібні до дволанкових і триланкових вантажних автотранспортних засобів (АТЗ), дослідженню маневреності яких присвячена значна кількість робіт. Маневреність АТЗ називають співкупність таких властивостей, які забезпечують безперешкодний їх рух по опорній поверхні, яка має обмеження як за площею, так і за формою [37]. Такими обмеженнями при русі АТЗ можуть бути просторові, що зв'язані з довжиною і висотою транспортного засобу, а також обмеження за формою і розмірами дорожнього полотна, яка слугує опорною поверхнею для кочення коліс його ланок.

Криволінійний рух АТЗ характеризується такими режимними параметрами, як швидкість руху, радіус повороту і кути повороту керованих коліс, які в процесі експлуатації автопоїзда не залишаються постійними. Тому для оцінки маневреності АТЗ використовують як кінематичні параметри (мінімальний радіус повороту, зовнішній і внутрішній габаритні радіуси повороту, габаритна смуга руху (ГСР), поворотна ширина по сліду коліс, можливість керованого руху заднім ходом), так і динамічні (питома тягова сила, яка потрібна для повороту АТЗ, коефіцієнт використання зчпної сили коліс на повороті, величина зусилля на рульовому колесі при повороті керованих коліс на місці) [5, 6 та ін.].

Серед 9 показників шість є кінематичними, а три динамічними.

Динамічні показники забезпечуються необхідною потужністю двигуна (двигунів) АТЗ та відповідною конструкцією рульового управління.

Серед кінематичних показників основними варто вважати два, а саме:

- ГСР, рівну різниці зовнішнього і внутрішнього габаритних радіусів повороту. Зважаючи на те, що габаритні радіуси повороту нормовані ($R_{зг}=12,5$ м, $R_{вг}=5,3$ м), нормованою буде і габаритна смуга руху ($Bг=7,2$ м);
- можливість рухатися заднім ходом.

Найменш вивченим на сьогодні є питання можливості руху автопоїзда заднім ходом. Проте це питання стосовно метробусів не є визначальним, так як метробуси рухаються по окремим виділеним смугам руху.

ГСР і радіуси повороту визначають за усталеного руху автопоїзда круговою траєкторією заданого радіуса. При цьому приймають колеса автопоїзда як жорсткими у бічному напрямку, так і еластичними.

Показники маневреності триланкових АТЗ можна визначати як аналітично, так і експериментально. Заслужують на увагу результати експериментальних досліджень маневреності триланкових автопоїздів, достовірність яких не визиває сумнівів. Так, у роботах [5, 6 та ін.] наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень дво- і триланкових автопоїздів МАЗ, КраЗ, ЗИЛ і КамАЗ.

При експериментальній оцінці маневреності автопоїздів основними були прийняті випробування «поворот на 90° » і «поворот на 180° ». Оціночним критерієм служила величина максимальної ширини ГСР. Надалі за цим критерієм проводилося порівняння маневреності автопоїздів різних компоновальних схем. При випробуваннях «поворот на 180° » додатковим оціночним критерієм була величина ширини коридору, необхідного для розвороту автопоїзда. Значення максимальної ширини ГСР, що отримані експериментально, співставлялися з результатами аналітичних досліджень за допомогою розробленої у цій роботі кінематичної математичної моделі.

Зіставлення експериментальних і розрахункових значень максимальної ширини ГСР дозволило встановити, що методика розрахунку траєкторій руху ланок АТЗ без урахування діючих сил і бічного відведення коліс автопоїзда, тобто на жорстких у бічному напрямку колесах, дає дещо завищені (на 3,5–13 %) значення величини ширини ГСР (для автопоїздів МАЗ). Відхилення результатів розрахункових досліджень у порівнянні з експериментальними збільшуються при збільшенні швидкості АТЗ. Однак навіть за швидкості 14,3 км/год похибка визначення максимальної ширини ГСР триланкового автопоїзда МАЗ при повороті на 90° не перевершує 7 %, а при повороті на 180° –13 %, що можна вважати цілком припустимим при використанні розробленої методики розрахунку в практичних цілях. При цьому ГСР для дволанкових автопоїздів у всіх випадках менше, ніж для триланкових.

Результати досліджень триланкового причіпного автопоїзда у складі автомобіля-тягача Scania 114L і двох причепів з рознесеними осями Krone AZ-27 наведені в роботі [7], в якій показники маневреності автопоїзда визначалися за кінематичною моделлю за кутами складання автопоїзда.

При цьому було встановлено, що триланковий автопоїзд загальною довжиною 25 м не задовольняє вимог Директиви 2002/7/ЕС щодо величини максимального зовнішнього і мінімального внутрішнього габаритних радіусів повороту, а відповідно і ГСР автопоїзда [7].

Значні дослідження маневреності триланкових автопоїздів проведені науковцями Національного транспортного університету [8]. Розроблені ними математичні моделі для дослідження кінематики повороту триланкових автопоїздів на жорстких у бічному напрямку колесах дозволили встановити:

- при односторонньому повороті траєкторії причіпних ланок зміщуються по відношенню до траєкторії автомобіля-тягача до центра повороту, збільшуючи при цьому габаритну смугу руху, причому зміщення траєкторій і ГСР руху збільшується зі збільшення бази причепів і поліпшити показники маневреності за рахунок компонувальних параметрів автомобіля-тягача і причіпних ланок у граничних режимах руху практично неможливо.
- наявність керованих ланок автопоїзда показує на досить складні залежності кутів повороту коліс окремих осей ланок і кутів складання від кута повороту керованих коліс передньої осі автомобіля-тягача або кутів складання, які пропорційні базам ланок, і тому зі збільшенням баз елементарних ланок вони збільшуються за тих же значень режимного коефіцієнта повороту, а відповідно, автопоїзд буде більше «складеним» на криволінійній ділянці шляху.

Аналіз розглянутих робіт показує, що для поліпшення маневреності причіпні ланки автопоїздів повинні бути обладнані більш-менш складними системами керування. Для створення ефективних конструкцій причіпної техніки вигідно використовувати модульний принцип. При такому підході елементи причіпної ланки конструюються і виготовляються окремо, а потім збираються в потрібну конструкцію. Завдяки такій уніфікації можна значно прискорити створення високоефективної причіпної техніки. У нашій країні були зроблені перші кроки в цьому напрямку ще в кінці 80-х років.

Розглянуті засоби підвищення маневреності можуть бути застосовані для визначення ступеня пристосованості конкретного триланкового автопоїзда до конкретних умов експлуатації по маневреності. Для цього необхідно вивчити передбачувані маршрути руху, розрахувати чи експериментально визначити значення показників маневреності і шляхом зіставлення з необхідними значеннями, установленими з аналізу реальних маршрутів, судити про відповідність досягнутого рівня маневреності необхідному [6].

У випадку невідповідності цих рівнів повинні бути розроблені заходи чи рекомендації, при реалізації яких ця невідповідність усувається. При проектуванні нових триланкових автопоїздів ці рекомендації і заходи повинні враховуватися заздалегідь.

Розрахункові дослідження дозволили виявити вплив різних конструктивних параметрів автопоїздів на величину максимальної ширини ГСР. Для трьохланкового автопоїзда зміна ширини ГСР показана в залежності від зміни параметрів кожного причепа окремо, а не спільний вплив параметрів обох причепів. Проведеним аналізом доведено, що на підвищення маневреності сприятливо позначається зменшення довжини дишла і бази причепів. При цьому встановлено, що вплив конструктивних параметрів переднього і заднього причепів триланкового автопоїзда на показники його маневреності майже однаковий. Позитивно впливає на величину ГСР збільшення виносу тягово-зчіпного пристрою. Це, однак, приводить до росту габаритної довжини АТЗ. Тому доцільно одночасно зі збільшенням виносу тягово-зчіпного пристрою зменшувати довжину дишла наступного причепа, не змінюючи при цьому відстань між сусідніми осями автопоїзда [6].

Проведений аналіз робіт з визначення показників маневреності триланкових автопоїздів показує, що на сьогодні відсутній єдиний підхід до визначення показників маневреності, єдина узагальнююча розрахункова схема для усіх триланкових автопоїздів і єдина методика визначення показників маневреності автопоїзда. Пояснюється тим, що показники маневреності визначають як на жорстких, так і еластичних у бічному напрямку колесах.

Мета роботи є визначення показників маневреності триланкового метробуса та аналіз факторів, що впливають на їх чисельні значення.

Результати досліджень. У роботах [7, 8] визначені показники маневреності триланкового метробуса на жорстких у бічному напрямку колесах. Проте, як показано у роботах [9, 10] показники маневреності АТЗ на еластичних у бічному напрямку колесах можуть відрізнятися від показників маневреності АТЗ на жорстких у бічному напрямку колеса на 13 % і більше. Тому визначимо показники маневреності триланкового метробуса на еластичних у бічному напрямку колесах.

У роботі [11] отримані рівняння плоскопаралельного руху триланкового автопоїзда з двома причепами, які можуть бути застосовані і для метробуса, записані у вигляді:

$$\left\{ \begin{aligned}
 (m + m_1 + m_2 + m_3 + m_4)\omega V &= Y_1 + \sum_{i=1}^2 Y_{1i} + \sum_{j=1}^3 Y_{2j} + \sum_{\rho=1}^3 Y_{4\rho}; \\
 -c(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)\omega V &= aY_1 - b_{1i} \sum_{i=1}^2 Y_{1i} - \\
 -c(\sum_{j=1}^3 Y_{2j} + \sum_{\rho=1}^3 Y_{4\rho}) + M_1; \\
 [m_1 d_1 + m_2 l_1 + (m_3 + m_4)l_2] &= l_1 \sum_{i=1}^2 Y_{1i} + l_2 \sum_{\rho=1}^3 Y_{4\rho} + M_1 - M_2 - M_3; \\
 m_2 d_2 \omega V &= \sum_{j=1}^3 Y_{2j} (d_2 + b_{2j}) + M_2; \\
 (m_3 d_3 + m_4 l_3) \omega V &= l_3 \sum_{\rho=1}^3 Y_{4\rho} + M_3 - M_4; \\
 m_4 d_4 \omega V &= \sum_{\rho=1}^3 Y_{4\rho} (d_4 + b_{4\rho}) + M_4
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де m_i – маси окремих ланок автопоїзда; M_i – моменти опору повороту окремих ланок автопоїзда; c – відстань від задньої осі автомобіля-тягача до точки зчипки; a – відстань від центра мас автомобіля-тягача до його передньої осі; b_{1i} – відстань від центра мас автомобіля-тягача до його середньої та задньої осі; d_i, l_i – відстань від центра мас окремих модулів відповідно до передньої осі та точок зчипки; $Y_1, Y_{1i}, Y_{2j}, Y_{4\rho}$ – бічні сили, що діють на колеса відповідно передньої, задньої осі автомобіля-тягача, першого і другого причепів; $b_{2j}, b_{4\rho}$ – відстань від центра мас першого і другого причепа відповідно до їх задніх осей.

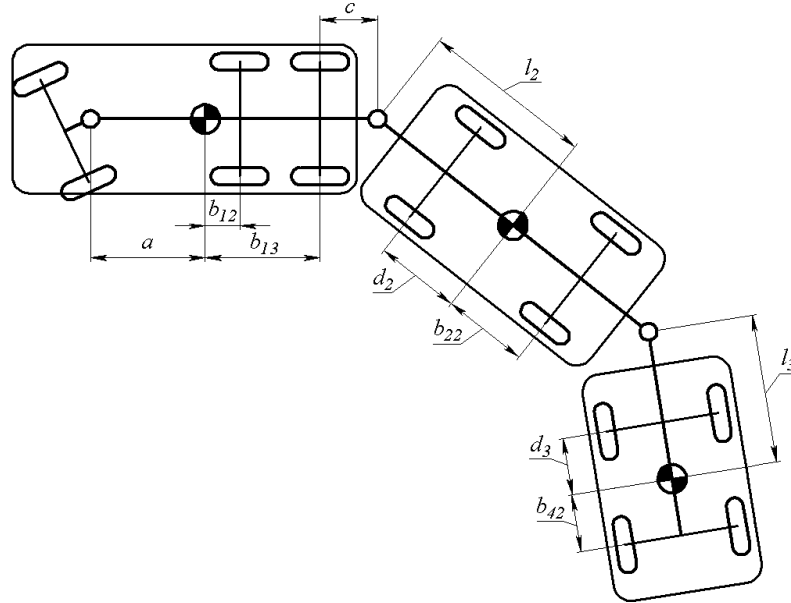


Рис. 1. Схема неусталеного повороту метробуса

Бічні сили на колесах осей метробуса визначені у такий спосіб:

$$Y = \frac{k\delta}{\sqrt{1 + x^2 \delta^2}}, \quad (2)$$

де $x = \frac{k}{\varphi z}$;

φ – коефіцієнт поперечного ковзання;

z – вертикальне навантаження на колесо.

Моменти в'язкого тертя в системі управління автобуса і причепа пропорційні кутам повороту приведених коліс:

$$M_1 = h_1 \dot{\theta}_1, M_2 = h_2 \dot{\theta}_2, \quad (3)$$

де h_1 і h_2 – коефіцієнти в'язкого тертя в системі управління автобуса і причепа;

Моменти пружності в системі управління автобуса і причепа пропорційні кутовій швидкості повороту приведених коліс:

$$M_{p1} = \chi_1 \dot{\theta}_1, M_{p2} = \chi_2 \dot{\theta}_2, \quad (4)$$

де χ_1 і χ_2 – коефіцієнти жорсткості в системі управління автобуса і причепа.

Отримана система рівнянь дозволяє досліджувати поведінку триланкового метробуса як у стаціонарних, так і нестационарних режимах руху. За заданого закону зміни кута повороту керованих коліс автобуса чисельним інтегруванням отриманих рівнянь знаходять значення параметрів руху АТЗ при виконанні ними різних маневрів.

Розв'язок рівняння (1) здійснено за допомогою програмного забезпечення Maple 14. Розрахунки виконані для триланкового метробуса у складі тривісного автобуса загальною масою 24 т і комбінацій із двовісних і тривісних причепів:

автопоїзд №1 – з двома керованими тривісними причепами, автопоїзд № 2 – автопоїзд з першим керованим тривісним причепом і другим некерованим двовісним причепом, автопоїзд № 3 – автопоїзд з двома некерованими двовісними причепами з наближеними осями, автопоїзд № 4 – автопоїзд з першим некерованим двовісним причепом і другим керованим тривісним причепом.

У якості вихідних приймалися наступні вихідні дані:

- габаритна ширина автобуса і причепів $B_g=2,5$ м;
- габаритна довжина автобуса $L_a=9,8$ м;
- габаритна довжина причепів $L_p=8,6$ м;
- геометричні параметри метробуса у відповідності до рисунку 1:
 $a:=4.2; b_{12}:=0.2; b_{13}:=1.6; c:=2.8; b_{21}:=4.3; b_{22}:=4.3; l_2=7,1; l_3=7,1; d_3:=4.3; b_{42}:=4,3$ б
- масові параметри метробуса:
 $m_1:=200; m:=24000; m_2:=270; m_3:=18000; m_4:=18000;$
- коефіцієнти опору відведення коліс осей метробуса:
 $k_1:=180000; k_2:=180000; k_3:=165000; k_4:=165000; k_5:=192000;$
- коефіцієнти в'язкого тертя в системі управління автобуса і причепа:

$$h_1 := 2600; h_2 := 300;$$

- коефіцієнти жорсткості в системі управління автобуса і причепа:

$$\chi_1 := 30; \chi_2 := 30;$$

- коефіцієнт поперечного ковзання коліс осей метробуса $\varphi = 0,8;$
- кут повороту керованих коліс автобуса $\theta_0 = 0,15;$
- кут повороту керованих коліс причепа $\theta_i = 0,0;$
- швидкість усталеного руху метробуса $v := 10;$
- коефіцієнт опору кочення коліс метробуса $k_f := 0,0$

За таких вихідних даних, а також прийнятих геометричних параметрах автопоїзда за технічними характеристиками тягача і причіпних ланок визначалися показники маневреності метробуса.

Для комп'ютерного моделювання найбільш типового повороту метробуса на 90° , що рухався перед тим прямолінійно, закон управління керованими колесами автобуса задавався у вигляді [11]:

$$\theta = \begin{cases} \frac{Onpu_0 \leq t \leq t_0}{\beta t n n p u_0 < t \leq t_1} \\ \frac{\beta t_1 n p u t_1 \leq t \leq t_2}{-\beta t n n p u_2 < t \leq t_3} \\ \frac{Onput > t_2}{\beta t n n p u_2 < t \leq t_3} \end{cases}, \quad (4)$$

де $[0; t_0]$ і $[t_3; t_k]$ – час руху метробуса по прямій відповідно до входу в поворот і після виходу із повороту;

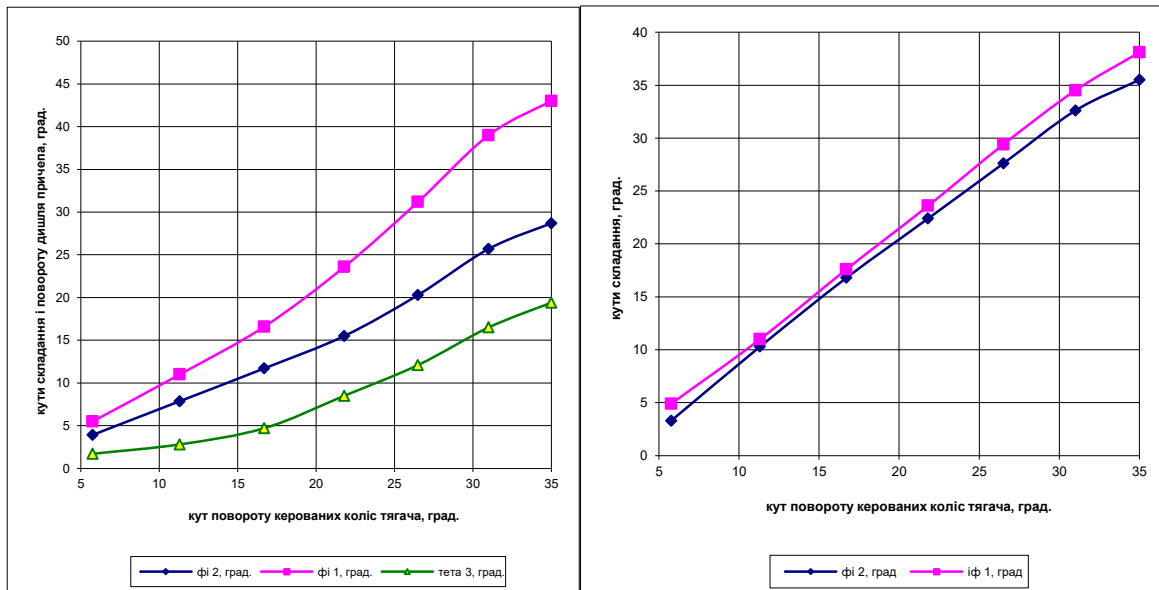
$[t_0; t_1]$ – інтервал часу входження в поворот, керовані колеса автобуса рівномірно повертаються зі швидкістю $\beta = 0,05$ с⁻¹;

$[t_1; t_2]$ – інтервал часу руху метробуса по колу (може бути відсутнім);

[t_2 ; t_3] – інтервал часу виходу метробуса із повороту (керовані колеса автобуса рівномірно повертаються у нейтральне положення).

Для вивчення поведінки метробуса у такому повороті приймалися швидкості 5 м/с за кута повороту керованих коліс автобуса від $\theta = 3,0$ до 35 град.

На рисунку 2 наведені залежності кутів складання автопоїздів № 2 і № 3 на першій стадії повороту.



а) б)
Рис. 2. Кути складання і повороту дишла причепа автопоїзда № 2 а) і автопоїзда № 3 б) на етапі входження в поворот

На коловій траєкторії як кути складання, так і повороту дишла причепа залишаються незмінними і рівними тим кутам, за яких метробус ввійшов у коловий рух. На етапі виходу з повороту ці залежності майже дзеркально відтворюють діаграми а) і б). На останній стадії всі кути дорівнюють 0, оскільки рух метробуса здійснюється по прямій і відсутня зміна кута повороту керуючих коліс тягача, траєкторія руху головних точок ланок метробуса представлена на рисунку 3.

Зміна параметра c – точки зчипки автобуса з дишлем першого причепа від 1,0 м до 4,0 м призводить до зменшення радіусів повороту на круговій траєкторії другого причепа (рис. 4).

Зміна довжини дишла першого причепа аналогічна зміні точки зчипки автобуса з дишлем першого причепа (рис. 5).

У разі використання обох причепів з наближеними осями траєкторії точок M_2 та M_3 збігаються між собою, в результаті чого значно зменшується радіус повороту т. M_3 , (рис.6).

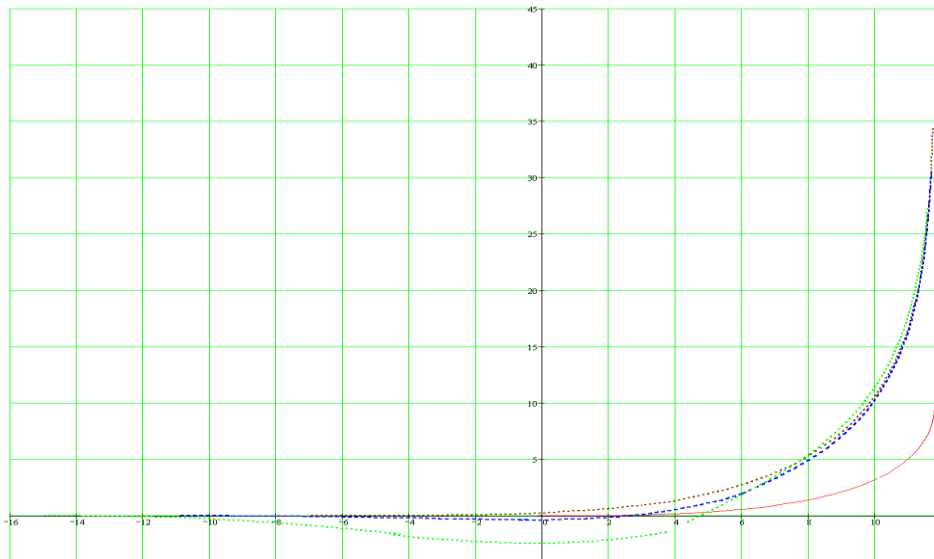


Рис. 3. Траєкторії ланок автопоїзда

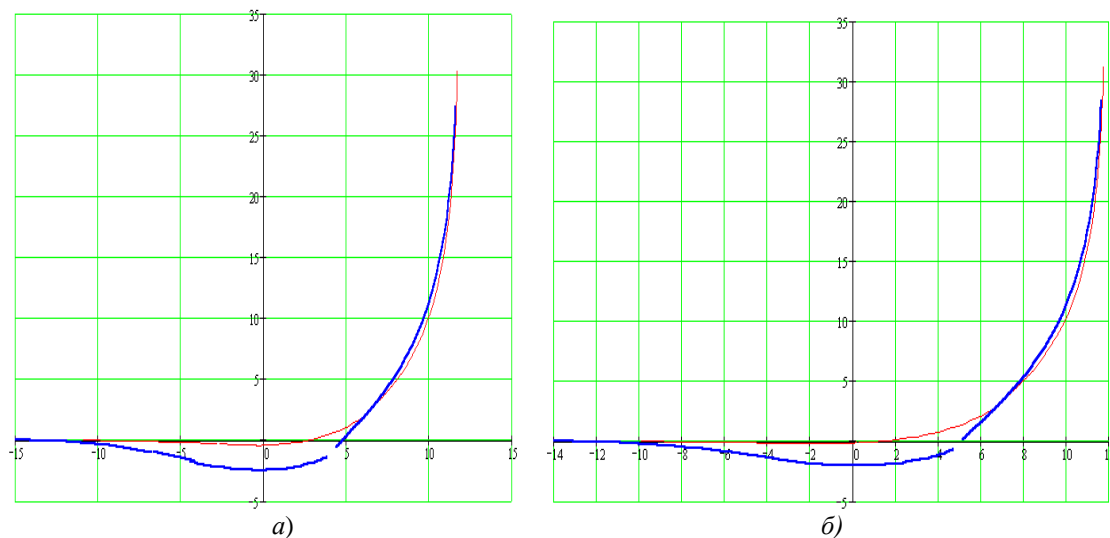


Рис. 4. Траєкторії характерних точок першого M_2 та другого причепа M_3 : а – при $c = 4$ м; б) при $c = 1$ м

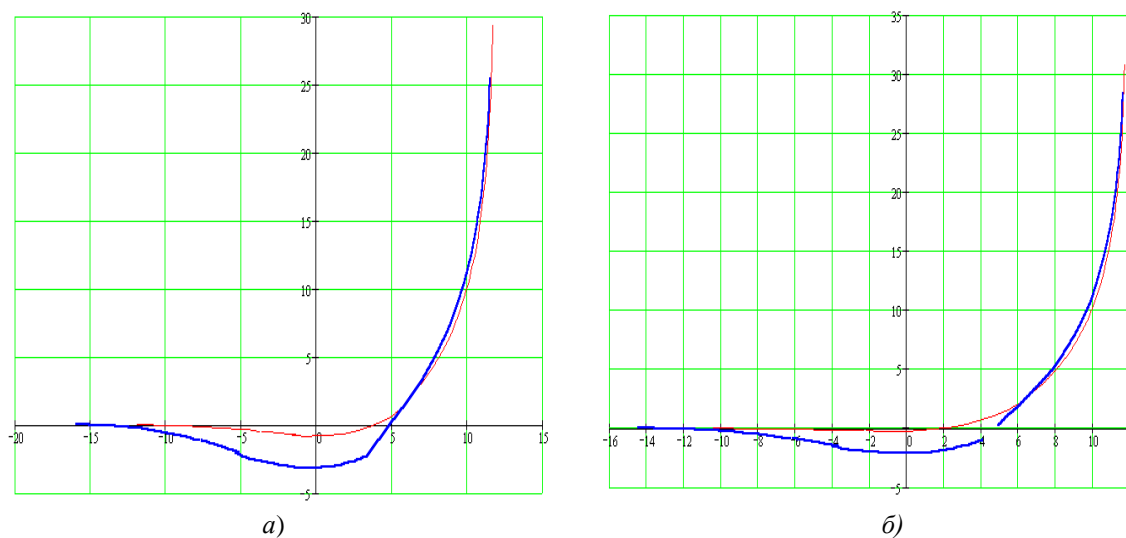


Рис. 5. Траєкторії характерних точок першого M_2 та другого причепа M_3 : при $L_0 = 4$ м; б) при $L_0 = 2.5$ м

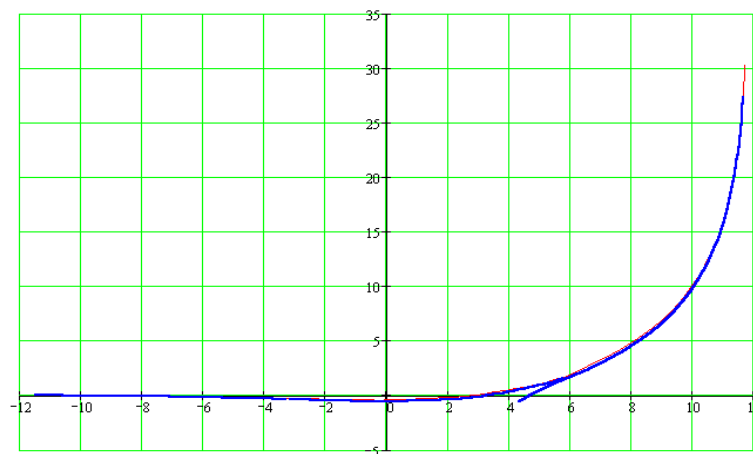


Рис. 6. Траєкторії точок M_2 та M_3 при використанні причепів з наближеними осями

За колового руху задавалися кути повороту керованих коліс автобуса і причепа з рознесеними осями (для причепа з наближеними осями кут повороту коліс причепа дорівнює нулю), швидкість руху автопоїзда і знаходилися траєкторії руху центра мас автобуса (рис. 7), за якими у подальшому будувалася габаритна смуга руху автопоїзда (рис. 8).

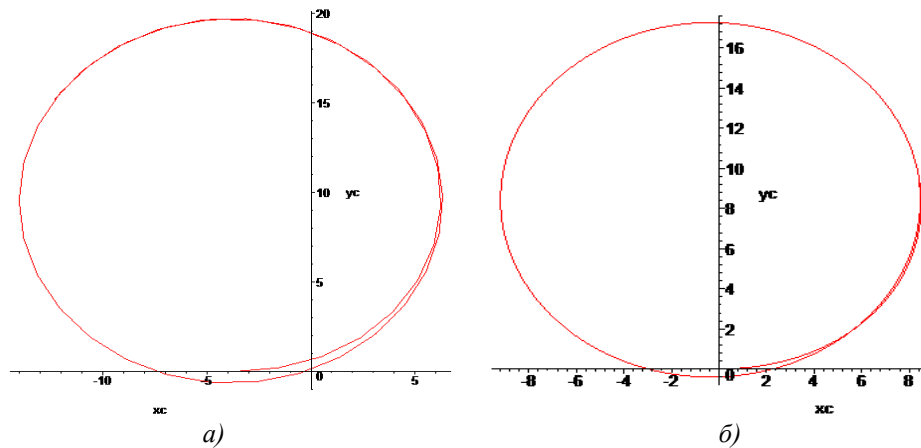


Рис. 7. Траєкторії центра мас автомобіля тягача для автопоїзда № 2 (а) і автопоїзда № 3 (б) за швидкості 5 м/с

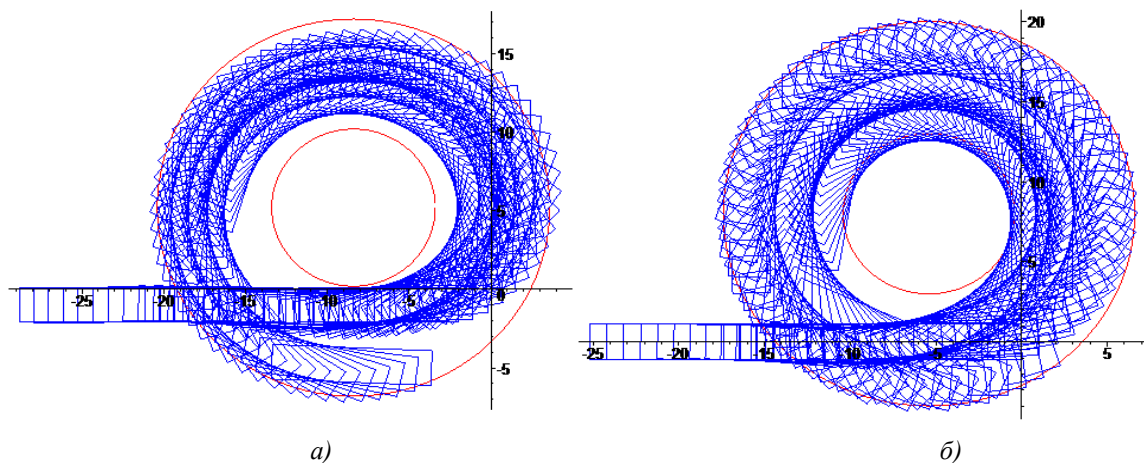


Рис. 8. Габаритна смуга руху автопоїзда № 2 (а) і автопоїзда № 3 (б) за швидкості 5 м/с

Автопоїзд № 2 (перший причіп з рознесеними осями і передньою керованою віссю, другий причіп – з наближеними осями) значно кращий у порівнянні з автопоїздом № 3 (два причепа з наближеними осями) і виконує вимоги DIRECTIVE 2002/7/EC. Так, габаритна смуга руху при русі коловою траєкторією автопоїзда № 2 складає 6,98 м, у той час як автопоїзда № 3 – 7,43 м, що не задовольняє вимог DIRECTIVE 2002/7/EC.

Висновки. Визначені показники маневреності триланкового метробуса різних компоувальних схем, за якими встановлено, що метробус з першим причепом з рознесеними осями і передньою керованою віссю і другим причепом з наближеними осями значно кращий порівняно з автопоїздом з двома причепами з наближеними осями і виконує вимоги DIRECTIVE 2002/7/EC. Так, габаритна смуга руху при русі коловою траєкторією автопоїзда № 2 складає 6,98 м, у той час як автопоїзда № 3 – 7,43 м, що не задовольняє вимог DIRECTIVE 2002/7/EC. Отримані залежності для показників маневреності метробуса потребують перевірки за показниками стійкості у різних режиму руху.

Список використаної літератури:

1. [Електронний ресурс]. – Ресурс доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. [Електронний ресурс]. – Ресурс доступу : <https://bus10.kz/index.php/menu2-brt>.
3. [Електронний ресурс]. – Ресурс доступу : <https://ubr.ua>.
4. [Електронний ресурс]. – Ресурс доступу : <https://griphon.livejournal.com /222403.html>.
5. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда / Я.Х. Закин. – М. : Транспорт, 1986. – 137 с.
6. Трехзвенные автопоезда / Я.Е. Фаробин, А.М. Якобаишвили, А.М. Иванов и другие // Машиностроение. – 1993. – 224 с.
7. Шляхи поліпшення маневреності метробуса / В.П. Сахно, І.С. Мурований, В.В. Стельмащук, В.П. Онищук, О.С. Омельницький // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – Луцький НТУ, 2018. – № 2. – С. 122–133.
8. Переваги, недоліки та перспективи метробусів / В.П. Сахно, В.В. Біліченко, В.М. Поляков, О.С. Омельницький : матеріали УІ-ої міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12–13 квітня 2018. – Вінниця : Вінницький національний технічний університет. – С. 176–178.

9. Порівняльна оцінка маневреності триланкових автопоїздів / В.П. Сахно, В.М. Поляков, Р.М. Марчук, П.О. Гуменюк // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – № 2 (53). – 2012. – С. 127–134.
10. Поляков В.М. Триланкові автопоїзди. Маневреність : монографія / В.М. Поляков, В.П. Сахно. – Луганськ : Вид-во «Ноулджд», 2014. – 206 с.
11. Рівняння руху моделі чотириланкового причіпного автопоїзда / В.П. Сахно, В.Г. Вербицький, А.С. Бондаренко, А.О. Енглезі // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Північного наукового центру ТАУ. – 2007. – Вип.10. – С. 117–120.

Referenses:

1. Wikipedia, available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
2. Bus10.kz, available at: <https://bus10.kz/index.php/menu2-brt>
3. Available at: <https://ubr.ua>
4. Griphon, available at: <https://griphon.livejournal.com/222403.html>
5. Zakin, Ya.H. (1986), *Maneuverability of the car and road train*, Transport, M., 137 p.
6. Farobin, Y.A., Yakobashvili, A.M, Ivanov, A.M. and others (1993), «Three-link road-train», *Mechanical engineering*, 224 p.
7. Sakhno, V.P., Murovnyi, I.S., Stelmashchuk, V.V., Onyshchuk, V.P. and Omelnitsky, O.E. (2018), «Ways to improve the maneuverability of the metro bus», *Modern technologies in mechanical engineering and transport. Scientific Journal*, Lutsk National Technical University, No. 2, Pp. 122–133.
8. Sakhno, V.P., Bilichenko, V.V., Polyakov, V.M. Omelnitsky, O.E. (2018), «Advantages, disadvantages and prospects of metrobus», Materials of YI-th international scientific-practical conference «Problems and prospects of motor transport development», April 12–13, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Pp. 176–178.
9. Sakhno, V.P., Polyakov, V.M., Marchuk, R.M. Humenyuk, P.O. (2012), «Comparative estimation of maneuverability of three-axle road trains», *Bulletin of the Zhytomyr State Technological University*, No. 2 (53), Pp. 127–134.
10. Polyakov, V.M. and Sakhno, V.P. (2014), *Three-axle trains. Maneuverability*, monograph, View of «Nulledzh», Lugansk, 206 p.
11. Sakhno, V.P., Verbitsky, V.G., Bondarenko, A.E. and Englesi, A.O. (2007), «Equation of movement of a model of a four-link trailer carriage», *Roadster of Ukraine. Installment. Bulletin of the Northern Scientific Center of TAU*, Iss. 10, Pp. 117–120.

Сахно Володимир Прохорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- маневреність і стійкість руху автомобільних поїздів;
- тягово-швидкісні властивості і паливна економічність автомобілів і автопоїздів.

Тел.: (044) 280–42–52;

+38 (067) 665–53–44.

E-mail: svp_40@ukr.net.

Поляков Віктор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- поліпшення експлуатаційних властивостей автотранспортних засобів.

Тел.: (044) 280–59–93;

+38 (067) 386–14–68.

E-mail: poljakov_2006@ukr.net.

Шарай Світлана Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Міжнародні перевезення та митний контроль» Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- транспортна логістика;
- міжнародні перевезення.

Тел.: (044) 280–42–52;

+38 (067) 783–31–80.

E-mail: svetasharai@gmail.com.

Омельницький Олег Євгенович – аспірант кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- поліпшення експлуатаційних властивостей метробусів.

Тел.: (044) 496-28-50;

+38 (063) 233–43–31.

E-mail: oleg@autoconsulting.com.ua.

Стаття надійшла для редакції 04.10.2018.