© Сахно В.П., Поляков В.М., Мурований І.С., Шарай С.М. 2020

УДК 629.113
UDC 629.113

Сахно[1] В.П., Поляков[1] В.М., Мурований[2] І.С., Шарай[1] С.М.
[1]*Національний транспортний університет*
[2]*Луцький національний технічний університет*

ДО ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТРИЛАНКОВИХ МЕТРОБУСІВ РІЗНИХ КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ ЗА МАНЕВРЕНІСТЮ

На основі проведених досліджень було доведено, що визначення кутів складання триколійного дорожнього поїзда слід проводити шляхом прямої інтеграції рівнянь руху дорожнього поїзда. У той же час було встановлено, що зміщення траєкторії причіпних вузлів відносно траєкторії трактора для евакуатора дещо менша порівняно з трактором-причепом. Майже однакові результати були отримані для метрополітенів з трьома ланками, які виготовляються на напівпричепах (метро 1 з некерованими причіпними ланками) та буксируваних (метро 2 з керованим другим причепом) схеми. Аналіз даних показує, що для покращення маневреності, причіпні ланки повинні бути обладнані більш-менш складними системами управління. Такі системи, як правило, використовуються для прив'язки. Тому доцільним досліджувати спритність метро автобуса, який виготовлений за змішаною схемою: автобус + причіпна ланка в схемі напівпричепа + причіпна ланка в схемі причепів (як з некерованими та керованими колесами).

Складено математичну модель трилінійної шини метро, яка виготовляється за змішаною схемою, а бічні сили на колеса осей метро шини визначаються з урахуванням реальних режимів руху та проведено дослідження кінематики обертання трилінійного метро. У цьому випадку встановлюється:

- в кінці повороту повороту керованих коліс шини в межах 0,35 рад. другий кут згортання для некерованих коліс другого зачіпки майже в 2,5 рази більший, ніж перший кут складання, що призводить до зсуву траєкторії другого пристосування до центру обертання та збільшення GSR метро. Майже таке співвідношення виникає в кутах складання метрополітену на інших етапах його обертання.

- у випадку некерованого та керованого другого причіпного сполучення метро не може забезпечити нормовані значення загальної смуги руху, а також метробуси, виготовлені згідно з іншими схемами компонування. Для забезпечення нормованого значення GSR необхідний принципово новий привід для управління другим ланкою.

Ключові слова: автопоїзд, причіп, маневреність, метробус, модель, управління, круговий рух, обертання, зсув.

ВСТУП

Безпечні системи громадського транспорту все більше розглядаються як важливий засіб безпечного підвищення мобільності населення, особливо в міських районах, які страждають від зростаючих транспортних заторів. У багатьох містах з високими доходами особливо акцентується політика скорочення використання особистого автомобільного транспорту за допомогою інвестицій в розвиток мереж громадського транспорту. Інвестиції в безпечний громадський транспорт розглядаються також як механізм, що стимулює зростання фізичної активності і, отже, сприяє зміцненню здоров'я населення. Згідно з рекомендованим (за результатами вітчизняних досліджень) співвідношенням між кількістю автобусів різних класів, які використовуються у великих містах, три чверті всього автобусного парку міста з населенням понад 1 млн. жителів мають становити автобуси великого та особливо великого класу (45% та 30% відповідно). Доцільність такого співвідношення підтверджується зарубіжною практикою: в розпорядженні Автономного управління Паризького міського транспорту (RATP) до 21% автобусів особливо великого класу [1].

Найбільш раціональним для автобусів особливо великого класу є використання їх в системі BRT (Bus Rapid Transport - "Швидкісний автобусний транспорт"). Рухомий склад в системі BRT називають метробусами.

Особливий розвиток метробуси отримали з появою трьохланкових автобусів, рис.1, які здатні перевозити до 300 пасажирів проти 180 у дволанкових автобусах. Таким чином, маючи 3-ланкові автобуси, які рухаються з невеликим інтервалом (до 1 хвилини) лінія метробусу може вирішити транспортні проблеми багатьох українських міст, і зокрема повністю зняти питання транспортного сполучення віддалених масивів, зокрема у Києві.

Проте, для широкого впровадження метробусів у транспортну структуру міста необхідно вирішити ряд практичних задач, пов’язаних, перш за все, з їх маневреністю і стійкістю руху.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Оцінку криволінійного руху автопоїздів, у тому числі і для перевезень пасажирів, звичайно проводять за допомогою наступних показників: мінімальні зовнішній і внутрішній габаритні радіуси повороту, зміщення траєкторії причіпних ланок щодо траєкторії ведучої, габаритна смуга руху, поворотна ширина по сліду коліс тощо. У країнах ЄС діють вимоги [2], які регламентують не тільки мінімальний зовнішній габаритний радіус повороту 12,5 м, а й обмежують мінімальний габаритний внутрішній радіус, який повинен бути не менше 5,3 м, при цьому поворотна ширина по сліду коліс 5,5 м. Таким чином, цими Приписами визначена припустима ГСР на рівні 7,2 м.

Показники маневреності автомобілів і автопоїздів визначають як за результатами аналітичних, так і експериментальних досліджень. Стосовно триланкових автопоїздів найбільш суттєві дослідження проведені у Національному транспортному університеті [3,4 та ін.]. У цих роботах наведені результати дослідження щодо визначення конструктивних параметрів триланкового автопоїзда, за яких забезпечується нормоване значення габаритної смуги руху. ГСР такого автопоїзда визначалася за першим і другим кутами складання автопоїзда як без урахування, так і з урахуванням відведення коліс автопоїзда. За отриманими кутами складання автопоїздів були визначені траєкторії їх характерних точок при поворотах на 90^0 і коловому русі. При цьому було встановлено, що зміщення траєкторії причіпних ланок щодо траєкторії тягача для причіпного автопоїзда дещо менше у **порівнянні з сідельно-причіпним** [5].

Майже такі ж результати були отримані і для триланкових метробусів, що виконані за напівпричіпною (метробус 1 з некерованими причіпними ланками) і причіпною (метробус 2 з керованою другою причіпною ланкою) схемами. У роботах [6-10] показано, що ГСР метробуса 1 дещо більша ГСР метробуса 2 при виконанні ним різних маневрів.

Аналіз даних цих робіт показує, що для поліпшення маневреності причіпні ланки автопоїздів повинні бути обладнані більш-менш складними системами керування. Такі системи застосовують, як правило, для причіпних ланок. Тому представляється доцільним дослідити маневреність метробуса, що виконаний за змішаною схемою: автобус + причіпна ланка за напівпричіпною схемою + причіпна ланка за причіпною схемою (як з некерованими, мак і керованими колесами).

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

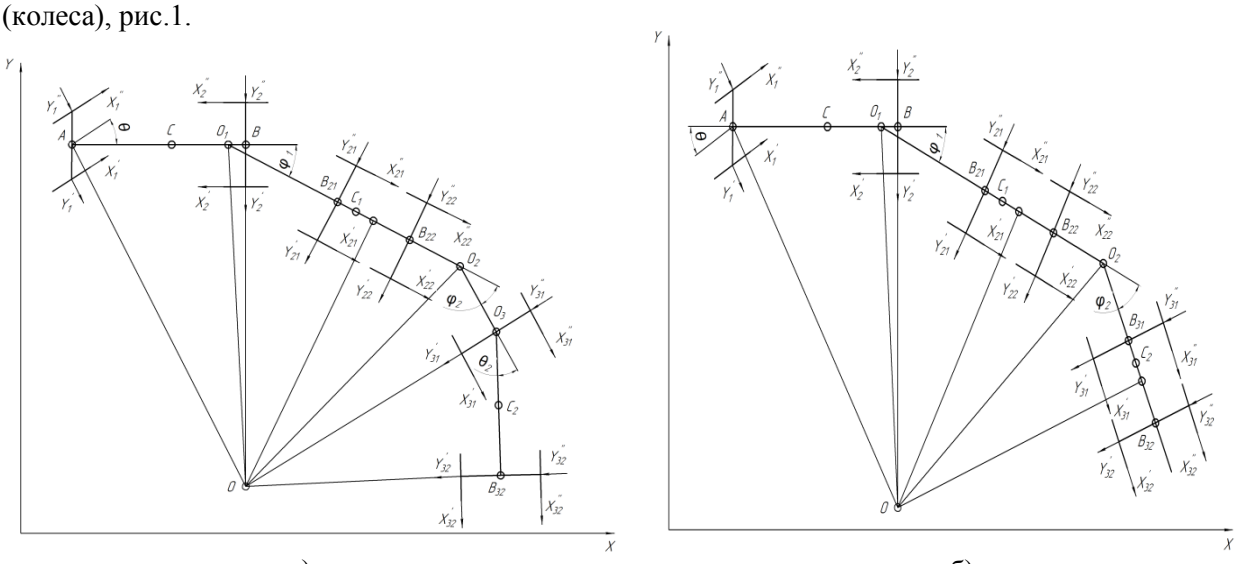
Метою роботи є визначення показників маневреності метробуса, що виконаного за змішаною схемою, і порівняння отриманих показників з метробусами інших компонувальних схем.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити математичну модель руху триланкового метробуса, виконаного за змішаною схемою;
- визначити показники маневреності метробуса, виконаного за змішаною схемою;
- проаналізувати вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на показники маневреності триланкового метробуса, виконаного за змішаною схемою;
- порівняти показники маневреності триланкових метробусів, виконаних за різними компонувальними схемами. та обрати кращий за цими показниками.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянемо триланковий метробус, що виконаний за змішаною компонувальною схемою, а саме: ведуча ланка – автобус, перша причіпна ланка виконана за напівпричіпною схемою, друга причіпна ланка – за причіпною. Будемо вважати, що автобус тривісний з однією поворотною віссю і двома неповоротними осями. Перша і друга причіпна ланка двовісні, причому перша причіпна ланка не має поворотних осей (коліс), а друга причіпна ланка або не має, або має одну поворотну вісь (колеса), рис.1.



а) б)

Рисунок 1 – Схема сил і моментів, що діють на триланковий метробус:
а) з керованою другою причіпною ланкою,
б) з некерованою другою причіпною ланкою

У роботі [7] отримана система рівнянь, що описує рух метробуса, що виконаний за причіпною схемою. Ця система рівнянь може бути використана і для дослідження маневреності метробуса, що виконаний за змішаною схемою. Вона записана у вигляді:

- по змінній v

$$m_1+m_2+m)(\dot{v}-u\omega)-[(m_1d_1+m_2l_1)\sin\varphi_1+m_2d_2\sin(\varphi_1+\varphi_2)(\dot{\omega}-\ddot{\varphi}_1)+m_2d_2\sin(\varphi_1+\varphi_2)\ddot{\varphi}_2+$$
$$c(m_1+m_2)\omega^2+(m_1d_1+m_2l_1)(\omega-\dot{\varphi}_1)^2\cos\varphi_1+m_2d_2\times(\omega-\dot{\varphi}_1-\dot{\varphi}_2)^2\cos(\varphi_1+\varphi_2)=-(X_1\cos\theta_1+Y_1\sin\theta_1)$$
$$-X_2-X_{3\rho}\cos\varphi_1+Y_{3\rho}\sin\varphi_1--[X_{41}\cos(\theta_{2s}+\varphi_2+\varphi_1)-Y_{41}\sin(\theta_{2s}+\varphi_2+\varphi_1)]+X_{42}\cos(\varphi_2+\varphi_1);$$

- по змінній u

$$(m_1+m_2+m)(\dot{u}+v\omega)-(m_1+m_2)c\dot{\omega}-[(m_1d_1+m_2l_1)m_2d_2\cos\varphi_1+m_2d_2\cos(\varphi_1+\varphi_2)]\times(\dot{\omega}-\ddot{\varphi}_1)+$$
$$m_2d_2\cos(\varphi_1+\varphi_2)\ddot{\varphi}_2-(m_1d_1+m_2l_1)(\omega-\dot{\varphi}_1)^2\sin\varphi_1-m_2d_2(\omega-\dot{\varphi}_1-\dot{\varphi}_2)^2\times\sin(\varphi_1+\varphi_2)=$$
$$-(X_1\sin\theta_1-Y_1\cos\theta_1)+Y_2+(X_{3\rho}\sin\varphi_1+Y_{3\rho}\cos\varphi_1)+[X_{41}\sin(\theta_{2s}+\varphi_2+\varphi_1)-Y_{41}\cos(\theta_{2s}+\varphi_2+\varphi_1)-Y_{42}\cos(\varphi_2+\varphi_1)];$$

- по змінній ω

$$[I+(m_1+m_2)c^2+(m_1d_1+m_2l_1)c\cos\varphi_1+m_2d_2c\cos(\varphi_1+\varphi_2)]\dot{\omega}-(m_1+m_2)c(\dot{u}+\omega v)-c[(m_1d_1+m_2l_1)\cos\varphi_1+$$
$$+m_2d_2\cos(\varphi_1+\varphi_2)\ddot{\varphi}_1-m_2d_2c\cos(\varphi_1+\varphi_2)\ddot{\varphi}_2+c[(m_1d_1+m_2l_1)(\omega-\dot{\varphi}_1)^2\sin\varphi_1+m_2d_2(\omega-\dot{\varphi}_1-\dot{\varphi}_2)^2\times\sin(\varphi_1+\varphi_2)$$
$$=-a_i(X_{1i}\sin\theta_i-Y_{1i}\cos\theta_i)-\sum_{j=1}^{n=2}b_jY_{2j}-c(Y_{31}+Y_{32})\cos\varphi_1-c[X_{41}\sin(\theta_{2s}+\varphi_1+\varphi_2)+Y_{41}\cos(\theta_{2s}+\varphi_1+\varphi_2)+Y_{42}\cos(\varphi_1+\varphi_2);$$

- по змінній φ_1

$$(I_1+m_1d_2+m_2l_1^2+m_2d_2l_1\cos\varphi_2)(\ddot{\varphi}_1-\dot{\omega})+(m_1d_1+m_2l_1)\times\times[\dot{v}\sin\varphi_1+(\dot{u}-\dot{\omega}c)\cos\varphi_1]+$$
$$+m_2d_2l_1\cos\varphi_2\ddot{\varphi}_2+(m_1d_1+m_2l_1)\omega\times[v\cos\varphi_1-(u-c\omega)\sin\varphi_1]-m_2d_2l_1(\omega-\dot{\varphi}_1-\dot{\varphi}_2)^2\sin\varphi_2 \qquad (1)$$
$$=-M_{C2}+\sum_{\rho=1}^{n=2}(d_1+b_{1\rho})Y_{3\rho}+l_1X_{41}\sin(\theta_{2s}+\varphi_2)+Y_{41}\cos(\theta_{2s}+\varphi_2)+Y_{42}\cos\varphi_2];$$

- по змінній φ_2

$$(I_2+m_2d_2^2)(\ddot{\varphi}_2-\dot{\omega})+m_2d_2[\dot{v}\sin(\varphi_1+\varphi_2)+(\dot{u}-\dot{\omega}c)\cos(\varphi_1+\varphi_2)]+[I_2+m_2d_2(d_2+l_1\cos\varphi_2)\ddot{\varphi}_1+$$
$$+m_2d_2l_1\cos\varphi_2)]\ddot{\varphi}_1++m_2d_2l_1(\omega-\dot{\varphi}_1)^2\sin\varphi_2-m_2d_2\omega[(u-\omega c)\sin(\varphi_1+\varphi_2)-v\cos(\varphi_1+\varphi_2)]=$$
$$=-M_{C3}+[(d_2+b_{21})(X_{41}\sin\theta_{2s}+Y_{41}\cos\theta_{2s})+Y_{42}(d_2+b_{22}).$$

У системі рівнянь (1) прийняті такі позначення:

M, C, I – маса, центр мас і центральний момент інерції ведучої ланки щодо вертикальної осі, що проходить через центр мас т. С;

x,y – абсциса і ордината т. С в інерційній системі координат;

m_k, C_k, I_k (k=1,2) - те ж саме для першої і другої ведених ланок;

$\vartheta, \vartheta_1, \vartheta_2$ – курсові кути ланок автопоїзда;

$v = \dot{x}\cos\vartheta + \dot{y}\sin\vartheta$, $u = -\dot{x}\sin\vartheta + \dot{y}\cos\vartheta$ - проекції швидкості т. С на поздовжню і поперечну осі ведучої ланки;

M_{c2}, M_{c3} – моменти опору повороту ланок автопоїзда;

$\omega, \omega_1, \omega_2$ – кутові швидкості ланок автопоїзда;

θ_1, θ_{2s} – кути повороту осей автобуса і другої причіпної ланки метробуса;

$X_{\alpha\beta}, Y_{\alpha\beta}$ - поздовжні і поперечні реакції на колесах осей ланок автопоїзда;

a=CA, b=CB, L=AB, c=O_1C, d=O_1C_1, a_{21}=C_1B_{21}, b_{21}=C_1B_{22}, L_1=O_1B_{22}, c_1=O_2C_1, l_1=O_2O_1, a_{21}=C_2B_{31}, b_{21}=C_2B_{32}, L_2=O_2B_{32} – геометричні параметри автопоїзда.

Величина і напрямок поздовжніх реакцій X_i залежать від режиму руху метробуса (розгін, усталений вільний рух, гальмування). Бічні реакції Y_i залежать від прийнятої моделі деформації колеса у бічному напрямку. У даній роботі прийнято визначати Y_i за методикою Д.А.Антонова [11]:

$$Y = qk_{y0e}\delta, \qquad (2)$$

де k_{y0e} – екстремальне значення коефіцієнта опору відведення k_{y0} (при $\delta = 0$) у залежності від вертикального навантаження на колесо $k_{y0} = f(Z)$;

q – коефіцієнт корекції зв'язку між бічною силою і кутом відведення, який включає ряд корегуючих коефіцієнтів, основними серед яких для метробуса є наступні:

$$q = q_N q_T q_\varphi , \quad (3)$$

де q_N – коефіцієнт, що враховує вертикальне навантаження на колесо; ; q_T – коефіцієнт, що враховує тягові та гальмівні зусилля на колесах; q_φ – коефіцієнт, що враховує якість дорожнього покриття.

У процесі дослідження розглядаємо метробус, ведуча ланка якого обладнана шинами розміру 275/70R22,5, а причіпні ланки – шинами 245/75R17,5. Значення коефіцієнтів q_N q_T q_φ наведені в роботі [7].

Моменти опору повороту ланок визначаються залежностями

$$M_1 = h_1 \dot{\varphi}_1 :$$
$$M_2 = h_2 \dot{\varphi}_2 . \quad (4)$$

де: h_1 і h_2 - коефіцієнти в'язкого тертя в шарнірах вузлів зчеплення ланок метробуса.

У роботах [4-8] при визначенні показників маневреності шляхом безпосереднього інтегрування вихідної системи диференціальних рівнянь за допомогою програмного забезпечення Maple розглядалися такі режими як рух по колу, повороти на 90^0 і 180^0, виконання маневру ISO тощо. Розглянемо ці режими руху і для метробуса, що розглядається. Інтегрування виконаємо за таких вихідних даних:

a=3,68; b=2,32; c=8,71; d_1 =4,17; d_2 =4,17; m=18000; J=38500; m_1=10000; J_1=18,5 m_2=10000; J_2 =31200; k_f =0; k_1=160000; k_2=32000; k_3=180000; k_4=180000; h_1=30, h_3=30; φ_i=0,8; θ_0 =0; $\theta = \theta_0 + k_0 \times n$; k_0=0.05; n=1,2...10; θ_{2s} =0,2×θ; V =0.

За обраними вихідними даними були визначені кути складання ланок обох автопоїздів, рис.2. Аналіз результатів розрахунків показав:

- поворот першої і другої причіпної ланки при вході в поворот здійснюється послідовно, причому друга причіпна ланка забігає більш інтенсивно у внутрішню сторону повороту, збільшуючи другий кут складання у порівнянні з першим і габаритну смугу руху, причому зміщення траєкторій і ГСР збільшуються зі збільшення бази причіпних ланок;

- кути складання суттєво залежать від режиму криволінійного руху метробуса. Зі зменшенням режимного коефіцієнта повороту зменшуються і кути складання його ланок φ_1 і φ_2 при одному і тому ж значенні приведеного кута повороту θ керованих коліс автобуса, так як метробус займає при цьому менш "складене" положення;

- кути складання φ_1 і φ_2 пропорційні базам ланок і тому зі збільшенням баз елементарних ланок кути складання φ_1 і φ_2 збільшуються за тих же значень режимного коефіцієнта повороту, а відповідно, метробус буде більш складеним" на криволінійній ділянці шляху;

- за некерованої і керованої другої причіпної ланки метробус не може забезпечити нормовані значення габаритної смуги руху, як і метробуси, що виконані за іншими компонувальними схемами. Для забезпечення нормованого значення ГСР необхідний принципово новий привід управління другою причіпною ланкою.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

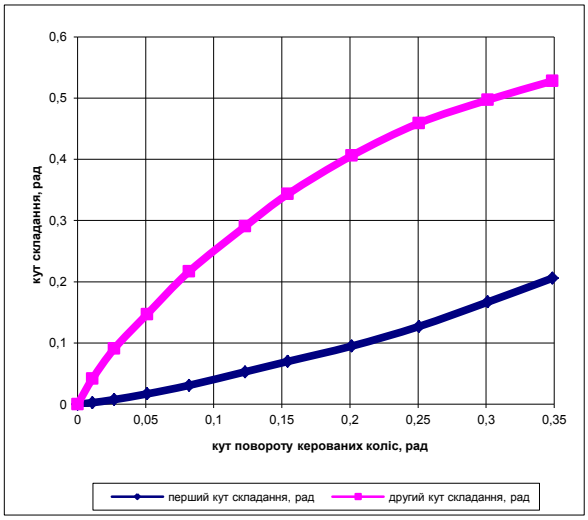
За отриманими кутами складання автопоїздів були визначені траєкторії їх характерних точок і габаритна смуга руху за колового руху метробуса і при поворотах на 90^0 і 180^0, рис.3,4.

Аналіз траєкторій причіпних ланок при поворотах на 90^0, 180^0 і руху по коловій траєкторії показує, що нормовані значення габаритної смуги руху не може також забезпечити метробус, що виконаний за змішаною схемою (третій варіант у табл.1), для якого ГСР склала з керованим причепом, що розглядається.

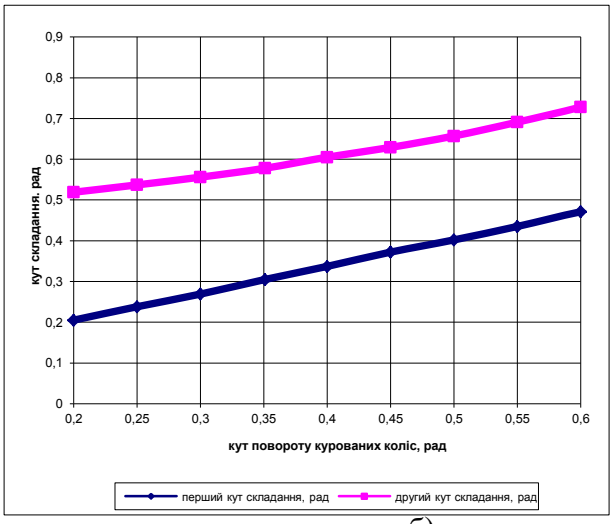
У табл. 1 для порівняння наведені величини ГСР метробусів, виконаних за напівпричіпною (1) і причіпною схемами (2) [5, 10].

Таблиця 1 – ГСР метробусів різних компонувальних схем

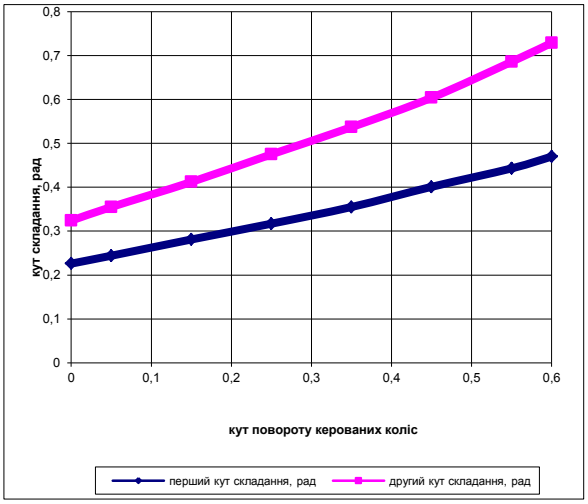
Габаритна смуга руху триланкового метробуса, м								
Поворот 90^0			Поворот 180^0			Коловий рух		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
6,8	6,1	6,6	8,2	7,5	8,0	8,9	8,1	8,6



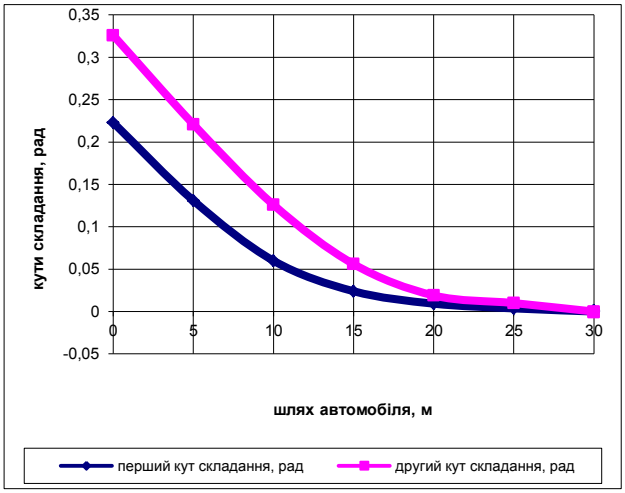
а)



б)

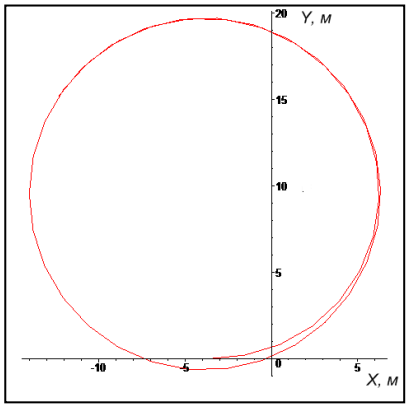


в)

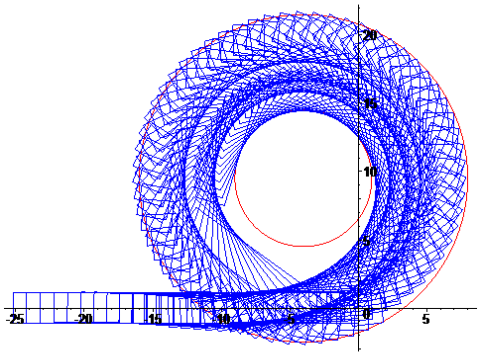


г)

Рисунок 2 – Зміна кутів складання ланок метробуса для різних стадій повороту:
а) вхід в поворот; б) рух по колу: в) вихід із повороту;
г) прямолінійний рух першої ланки

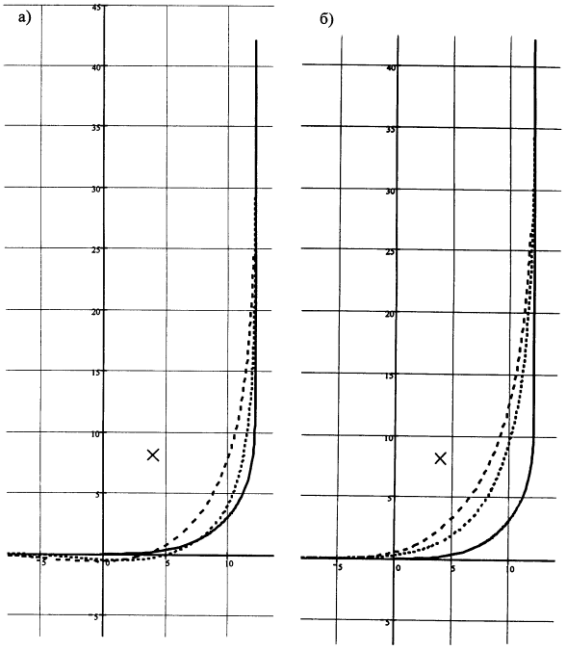


а)



б)

Рисунок 3 – Координати центру мас автобуса (а) і габаритна смуга руху метробуса (б)



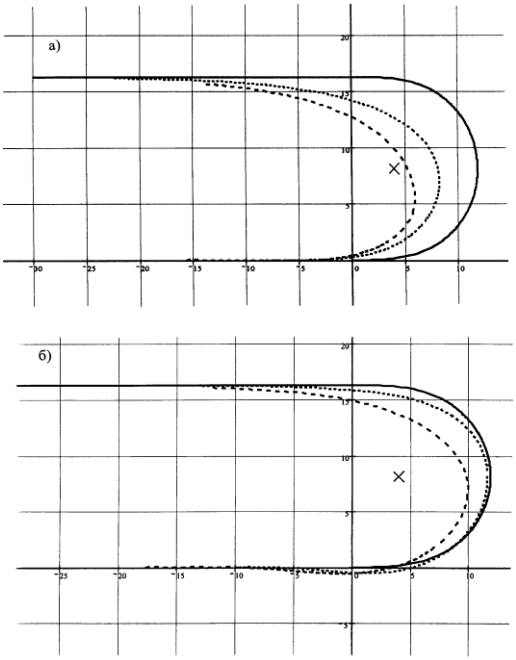


Рисунок 4 – Зміщення траєкторії першої причіпної ланки (а) і другої причіпної ланки (б) щодо траєкторії ведучої при поворотах метробуса на 90^0 і 180^0

ВИСНОВКИ

Розроблена математична модель триланкового метробуса, виконаного за змішаною схемою, визначені бічні сили на колесах осей метробуса з урахуванням реальних режимів руху.

На основі розробленої математичної моделі проведені дослідженнями кінематики повороту триланкового метробуса, виконаного за змішаною схемою. При цьому встановлено:

кути складання суттєво залежать від режиму криволінійного руху метробуса. Зі зменшенням режимного коефіцієнта повороту зменшуються і кути складання його ланок φ_1 і φ_2 при одному і тому ж значенні приведеного кута повороту θ керованих коліс автобуса, так як метробус займає при цьому менш “складене” положення, при цьому кути складання пропорційні базам ланок і тому зі збільшенням баз елементарних ланок кути складання φ_1 і φ_2 збільшуються за тих же значень режимного коефіцієнта повороту, а відповідно, метробус буде більш складеним” на криволінійній ділянці шляху;

- за некерованої і керованої другої причіпної ланки метробус, що виконаний за змішаною схемою, не може забезпечити нормовані значення габаритної смуги руху, як і метробуси, що виконані за іншими компонувальними схемами. Для забезпечення нормованого значення ГСР необхідний принципово новий привід управління другою причіпною ланкою.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Автобусный парк Франции // Автомобильный транспорт. - 1999. №9. - С.33-34.

2. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження пасажирських транспортних засобів великої місткості стосовно загальної конструкції (Правила ЄЕК ООН №36-03: 1993, IDT). ДСТУ UN/ECE R 36-03:2002. – Київ. – 2002.

3. Сахно В.П. До питання використання триланкових автопоїздів в Україні / В.П.Сахно, Р.М.Кузнєцов, О.АЕнглезі // Атошляховик України.–2005.–№5.–С.13-16.

4. Сахно В.П. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на показники маневреності три ланкових автопоїздів /**В.П.**Сахно В.П., І.Ф.Вороніна, В.В.Стельмащук, В.М. Поляков// Автошляховик України. Окремий випуск. Управління безпекою та якістю транспортних засобів і перевезень. –2003. - С. 98-101.

5. Сахно В.П. Шляхи поліпшення маневреності метробуса /В.П.Сахно, І.С.Мурований, В.В.Стельмащук, В.П.Онищук, О.Є.Омельницький //Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцький НТУ, 2018. - №2. – С.122-133.

6. Сахно В.П. Маневреність триланкового метробуса/ В.П.Сахно, В.М.Поляков, О.Є.Омельницький //НАУКОВІ ПРАЦІ Міжнародної науково-практичної конференції "Новітні технології розвитку автомобільного транспорту". – Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України. – 2018. – С. 305-308.

7. Сахно В.П. Маневреність метробуса /В.П.Сахно, В.В.Біліченко, В.М.Поляков, О.Є.Омельницький //Вісник машинобудування та транспорту: науковий журнал /Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет – Вінниця: ВНТУ, № 2(8), 2018. – С.106-118.

8. Volodymyr Sakhno, Igor Murovanyi, Victor Poliakov, Svitlana Sharai. Improving of transitway operating properties //ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, Ternopil, Ukraine, p.133-140.

9. Сахно В.П. До аналізу конструкцій транспортних засобів для міських перевезень пасажирів/В.П.Сахно, В.В.Біліченко, В.М.Поляков, В.М.Босенко, Є.М.Місько //Вісник машинобудування та транспорту: науковий журнал /Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет – Вінниця: ВНТУ, № 2(10), 2019. – С.108-119.

10. Сахно В.П. До вибору та обгрунтуванню компонувальної схеми метробуса особливо великої місткості/В.П.Сахно, В.М.Поляков, І.С.Мурований, С.М.Шарай //Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцький НТУ, 2019. - №1. – С.146-153.

11. Антонов Д.А. Расчет устойчивости движения многоосных автомобилей. - М.: Машиностроение, 1984. - 164 с.

REFERENCES

1. Bus fleet in France // Road transport. - 1999. №9. - P.33-34.

2. Uniform technical requirements for the approval of high-capacity passenger vehicles with regard to general construction (UNECE Regulation No. 36-03: 1993, IDT). DSTU UN / ECE R 36-03: 2002. - Kiev. - 2002.

3. Sakhno V.P. On the question of the use of three-lane road trains in Ukraine / V.P. Sakhno, R.M. Kuznetsov, O.A.Englezi // Atoshlyakhovik Ukrainy. – 2005. – №5. – P.13-16.

4. Sakhno V.P. Influence of structural and operational factors on the maneuverability indicators of three link highway trains / V.P. Sakhno, I.F. Voronina, V.V. Stelmashchuk, V.M. Polyakov // Highway of Ukraine. Installment. Management of safety and quality of vehicles and transportation. –2003. - P. 98-101.

5. Sakhno V.P. Ways to improve the maneuverability of the metro / V.P. Sakhno, I.S. Murovany, V.V. Stelmashchuk, V.P. Onishchuk, A.E. Omelnitsky // Modern technologies in mechanical engineering and transport. Scientific journal. - Lutsk NTU, 2018. - №2. - P.122-133.

6. Sakhno V.P. Maneuverability of the three-lane subway / V.P. Sakhno, V.M.Polyakov, A.E. Omelnitsky // SCIENTIFIC PAPERS of the international scientific-practical conference "THE NEWEST TECHNOLOGIES OF DEVELOPMENT OF MOTOR TRANSPORT". - Kharkiv National Highway University. Forensic Expert Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine. 2018, pp. 305-308.

7. Sakhno V.P. Maneuverability of the Metrobus / V.P.Sakhno, V.V.Bilichenko, V.P.Polyakov, A.E.Omelnitsky // Bulletin of Mechanical Engineering and Transport: Scientific Journal / Ministry of

Education and Science of Ukraine, Vinnytsia National Technical University - Vinnytsia: VNTU , No. 2 (8), 2018 - P.106-118.

8. Volodymyr Sakhno, Igor Murovanyi, Victor Poliakov, Svitlana Sharai. Improving transitway operating properties // ICCPT 2019: Current Problems of Transportation: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, Ternopil, Ukraine, p.133-140.

9. Sakhno V.P. Towards an Analysis of Vehicle Structures for Urban Passenger Transportation / V.P. Sakhno, V.V. Bilichenko, V.M,Polyakov, V.M.Bosenko, E.M.Misko // Bulletin of Mechanical Engineering and Transport: Scientific Journal / Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnytsia National Technical University - Vinnitsa: VNTU, No.2 (10), 2019. - P.108-119.

10. Sakhno V.P. To the choice and justification of the layout scheme of the metro bus of especially large capacity / V.P. Sakhno, V.M.Poljakov, I.S. Murovany, S.M. Sharai // Modern technologies in mechanical engineering and transport. Scientific journal. - Lutsk NTU, 2019. - №1. - P.146-153.

11. Antonov D.A. Calculation of motion stability of multi-axle cars. - M .: Mechanical Engineering, 1984. - 164 p.

V.Sakhno, V. Poljakov, I. Murovanyi, S.Sharai. To comparative evaluation of three-link metrobuses of different component movement schemes.

On the basis of the conducted researches it was proved that the determination of the angles of assembly of a three-lane road train should be made by direct integration of the equations of motion of the road train. At the same time, it was found that the displacement of the trajectory of the trailing units relative to the trajectory of the tractor for the tow truck is somewhat smaller in comparison with the tractor-trailer.

Almost the same results were obtained for three-link metrobuses, which are made on semi-trailer (metro 1 with unmanaged trailer links) and towed (metro 2 with managed second trailer link) schemes.

Data analysis shows that to improve maneuverability, trailer links must be equipped with more or less complex control systems Such systems are generally used for hitch links. Therefore, it is advisable to study the dexterity of the subway, which is manufactured according to a mixed scheme: bus + trailer link in the scheme of semi-trailers + trailer link in the scheme of trailers (both non-steered and steered wheels).

The purpose of this work is to determine the agility of a mixed-use metro bus, and to compare the obtained metrics with those of other layout circuits.

A mathematical model of a three-link metro bus is made, which is made according to the mixed scheme, and the lateral forces on the wheels of the axles of the metro bus are determined taking into account the real modes of motion.

On the basis of the developed mathematical model, studies of the kinematics of rotation of a three-lane metro, made according to the mixed scheme, were carried out. In this case, it is established:

- at the end of the turn-of-the-turn corner of the guided bus wheels within 0,35 rad. the second folding angle for the unmanaged wheels of the second hitch is almost 2.5 times greater than the first folding angle, which leads to the shift of the trajectory of the second hitch to the center of rotation and increase of the GSR of the metro. Almost such a ratio occurs in the corners of the metro link assembly at other stages of its rotation.

- in the case of unmanaged and operated second trailer link, the metro can not provide the normalized values of the overall lane, as well as the metrobuses made according to other layout schemes. To ensure the normalized value of the GSR requires a fundamentally new drive to control the second link.

***Keywords*:** articulated bus, tractor, trailer, maneuverability, model, controls, circular motion, rotation, shift.

САХНО Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів Національного транспортного університету, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua. *https://orcid.org/0000-0002-5144-7131*

ПОЛЯКОВ Віктор Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри автомобілів Національного транспортного університету, e-mail: poljakov_2006@ukr.net. *https://orcid.org/0000-0001-7042-3066*

МУРОВАНИЙ Ігор Сергійович, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail:igor_lntu@ukr.net. *https://orcid.org/0000-0002-9749-980X*

© Сахно В.П., Поляков В.М., Мурований І.С., Шарай С.М. 2020

ШАРАЙ Світлана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету, e-mail: Svetasharai@gmail.com. *http://orcid.org/0000-0001-6568-4990*

Volodymyr SAKHNO, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua. *https://orcid.org/0000-0002-5144-7131*

Victor POLYAKOV, Ph.D., associate professor, professor of «Automobiles», National Transport University, e-mail: poljakov_2006@ukr.net. *https://orcid.org/0000-0001-7042-3066*

Igor MUROVANYI, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Head of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: igor_lntu@ukr.net. https://orcid.org/0000-0002-9749-980X

Svitlana SHARAI, PhD. in Engineering, Associate Professor, Professor, Department of International Transport and Customs Control, National Transport University, e-mail: Svetasharai@gmail.com *http://orcid.org/0000-0001-6568-4990*.

DOI 10.36910/automash.v1i14.356