

ДО ПИТАННЯ ЩОДО ВИБОРУ РУХОМОГО СКЛАДУ В СИСТЕМІ BRT

Поляков В.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Яценко Д.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, y_d@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

Шарай С.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, Svetasharai@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6568-4990

TO THE QUESTION OF THE CHOICE OF MOBILE COMPOSITION IN THE BRT SYSTEM

Poliakov V.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Yaschenko D.N., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, y_d@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

Sharai S.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, Svetasharai@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6568-4990

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В СИСТЕМЕ BRT

Поляков В.М., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Яценко Д.Н., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, y_d@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

Шарай С.М., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, Svetasharai@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6568-4990

Постановка проблеми. Сучасні системи громадського транспорту все більше розглядаються як важливий засіб безпечного підвищення мобільності населення, особливо в міських районах, які страждають від зростаючих транспортних заторів. Нова система автобусного руху «Швидкісний автобусний транспорт» (Bus Rapid Transport, BRT) або метробус є результатом розвитку мережі автобусного суспільного транспорту. В порівнянні з метро цей проект має суттєві переваги: менша вартість створення мережі, менша вартість рухомого складу, мобільність та ін. Ці переваги проявляються, перш за все, при максимальному використанні пасажиромісткості метробусів, тобто при застосуванні триланкових метробусів і при їх русі з максимально можливими швидкостями.

Триланкові метробуси можуть виконуватися за двома основними компоновальними схемами – напівпричіпною, за якою виконані майже всі метробуси, і причіпною, яка тільки починає впроваджуватися.

Система BRT передбачає рух автобусів по спеціально виділеним і часто обгородженим смугам, тобто його повна ізолюваність на дорозі від інших видів транспорту. У сучасній системі в якості рухомого складу вибираються зчленовані автобуси (тролейбуси) останнього покоління, оснащені двигунами до 250 кВт. При цьому, як в метро, в салонах метробуса віддається перевага місцям для стояння. Завдяки цьому, тільки один зчленований дволанковий автобус може перевозити до 150 пасажирів [1]. Для підвищення пасажиромісткості в системі BRT можуть використовуватися триланкові автобуси і троллейбуси. Так, на найбільшому міжнародному салоні автобусів і комплектуючих Busworld Europe-2019, який проходив у Брюсселі, дебютував незвичайний троллейбус – Trollino 24 (рис. 1). Це трисекційна машина довжиною 24 м, що виготовлена польським виробником Solaris Bus & Coach. У рух машину приводять два тягових електродвигуна (на 2-й і 3-й осях) потужністю по 160 кВт кожний. Максимальна швидкість руху троллейбуса повною масою 38 т, пасажиромісткістю від 180 до 200 чоловік складає 70 км/год [1]. Трисекційні автобуси випускають ряд автомобілебудівних фірм тієї ж пасажиромісткості і з тяговим двигуном потужністю 300 кВт.



Рисунок 1 – Тролейбус Trollino 24
Figure 1 – The Trollino 24 trolleybus

Поряд з незаперечними перевагами трисекційних зчленованих автобусів і тролейбусів їм притаманні і недоліки – гірші маневреність і стійкість руху у порівнянні з двосекційними. Крім того, ефективність експлуатації таких машин тісно пов'язана з пасажиропотоком, який протягом дня може змінюватися в рази. Тому перспективним може стати автопоїзд у складі двох (або трьох) автобусів або тролейбусів, що працюють у зчіпці, пасажиромісткість яких аналогічна зчленованим автобусам і тролейбусам. У години пік працює автобусний поїзд, а у міжпіковий період – кожен автобус окремо (можлива стоянка одного автобуса на виділеному майданчику).

Показово, що над ідеєю причіпного автопоїзда, який рухається по дорогам загального користування, працювали і в Києві. Відомий київський фахівець Володимир Пилипович Векліч – автор зчленованих тролейбусів, які вперше були застосовані у колишньому СРСР, а саме у Києві.

Поряд з тролейбусним автопоїздом інститутом «ДержавтотрансНДПроект» разом з Київським автомобільно-дорожнім інститутом у 1973 р. була розроблена конструкція автопоїзда, що складався з двох автобусів ЛАЗ-695, які працювали в зчіпці (рис. 2). Дослідна експлуатація такого автопоїзда на одному з маршрутів міста Києва показала його життєздатність. Проте, одночасна поява у Києві шарнірно-зчленованих автобусів Іkarus-180 зумовила припинення експлуатації зазначеного автопоїзда. Разом з тим, такі причіпні автопоїзди можуть знайти своє застосування в системі BRT [2].



Рисунок 2 – Автопоїзд у складі двох автобусів ЛАЗ-695 у зчіпці
Figure 2 – A road train consisting of two connected buses LAZ-695

Проведеними раніше дослідженнями показано, що метробус (автобусний поїзд) може конкурувати з метро у випадку його пасажиромісткості 210...250 чоловік і інтервалу руху 45...60 с. Така пасажиромісткість може бути забезпечена тільки автобусним поїздом у трисекційному варіанті.

Зважаючи на обмеження максимальної довжини автобусного поїзда на рівні 24...25 м, у якості автобусів, як складових автопоїзда, приймемо восьмиметрові автобуси МАЗ-206. Пасажиромісткість такого автобуса складає 72 пасажирів, потужність тягового двигуна – 160 кВт.

Визначимо необхідну потужність двигунів автобусів трисекційного автобусного поїзда за відомою формулою [3]:

$$N_{ev} = \frac{f_v \times M_a \times g \times v_{max} + k_B \times F \times v_{max}^3}{1000 \times \eta_M}, \quad (1)$$

де M_a – маса метробуса, f_v – коефіцієнт опору кочення коліс метробуса, g – прискорення вільного падіння, v_{max} – максимальна швидкість руху метробуса, k_B – коефіцієнт опору повітря, F – площа поперечного перерізу, η_M – ККД трансмісії метробуса.

На рис. 3 наведена залежність необхідної потужності силової установки від швидкості руху автобусного поїзда.

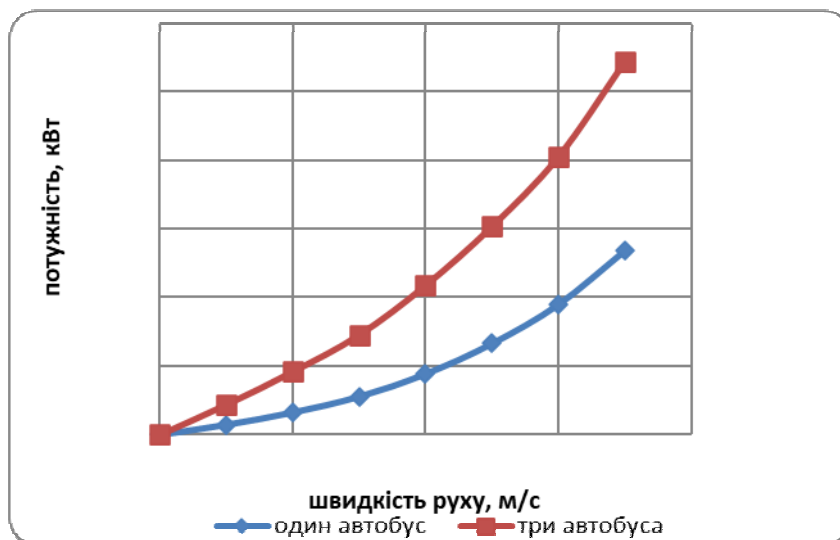


Рисунок 3 – Залежність необхідної потужності силової установки від швидкості руху автобусного поїзда
Figure 3 – Dependence of power plant required power on bus train speed

Як слідує з наведеної залежності, для руху автобусного поїзда зі швидкістю 25 м/с необхідна сумарна потужність двигунів повинна складати 300 кВт, у той час як для одного автобуса вона повинна бути на рівні 135 кВт. Це свідчить про економічну доцільність використання автобусного поїзда із трьох автобусів, що працюють в зчіпці. Для їх руху у всьому діапазоні швидкостей достатньо потужності двох двигунів, тобто один з автобусів може використовуватись як пасивний причіп, що призведе до поліпшення паливної економічності автобусного поїзда.

Для вирішення питання щодо доцільності використання такого автопоїзда необхідно перевірити його здатність рухатися в міських умовах, де існують обмеження щодо ширини проїздів і перехресть. Ці обмеження визначаються Правилами №36 ЄЕК ООН, які регламентують зовнішній і внутрішній габаритні радіуси на рівні 12,5 і 5,3 м, а також габаритну смугу руху (ГСР) на рівні 7.2 м.

Аналіз останніх публікацій. Перші детальні дослідження експлуатаційних властивостей вантажних триланкових автопоїздів почалася у 80-х роках минулого століття. Найбільш відомі роботи у цьому напрямку Фаробіна Я.Є. [4], Висоцького М.С. [5], Горелова В.А. [6], Аюпова В.В. [7], Сахно В.П. і Полякова В.М. [8] та ін. Питання маневреності автопоїздів визначалися як на жорстких, так і еластичних у бічному напрямку колесах. Загальним у цих роботах можна вважати те, що в системи керування причіпними ланками у якості задаючого параметра використовувалися кути складання ланок автопоїзда. У автопоїзді, що розглядається, кожний автобус має свою індивідуальну систему управління, не пов'язану напряму з кутом складання, який тим не менше впливає на кінематику повороту автопоїзда.

Метою роботи є визначення показників маневреності автобусного поїзда у складі трьох автобусів МАЗ-206, що працюють в зчіпці.

Результати дослідження. Проведеними на-сьогодні дослідженнями [4, 8, 9 та ін.] встановлено, що на попередньому етапі габаритні радіуси повороту і габаритну смугу руху (ГСР) можна визначати на жорстких у бічному напрямку колесах.

Траєкторія кожної ланки автобусного поїзда визначається траєкторією її головної точки [9]. У такому випадку триланковий поїзд можна розділити на дві пари кінематичних ланок – перший і другий автобуси та другий і третій автобуси (рис. 4).

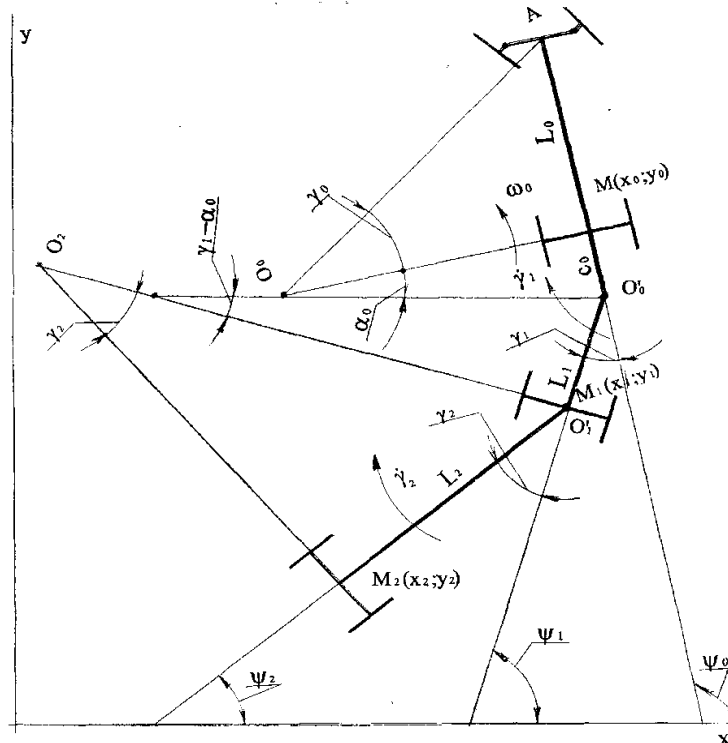


Рисунок 4 – Схема повороту першої пари кінематичних ланок триланкового автобусного поїзда (перший і другий автобуси)
Figure 4 – Turning diagram of the first pair of kinematic links of the three-link bus train (first and second buses)

Згідно теореми 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 ці загальнотеоретичні положення по відношенню до першої пари ланок автобусного поїзда, а саме перший і другий автобуси. При цьому для спрощення викладок приймаємо, що точка зчипки автобусів збігається з головною точкою першого автобуса.

Рух ланок автобусного поїзда по відношенню до опорної поверхні є абсолютним і в кожний даний момент обертання кожна його ланка має свій миттєвий центр обертання: перший автобус – т. O_0 і другий автобус – т. O_2 . Ведена ланка (другий автобус), здійснюючи абсолютний рух навколо центра O_2 , одночасно переміщується відносно ведучої ланки (першого автобуса) з миттєвим центром обертання в точці зчипки. При цьому між поздовжніми осями ланок виникає кут складання γ_1 . Рух же першого автобуса є для другого автобуса переносним з миттєвим центром обертання в точці O_0 . Таким чином, ведена ланка – другий автобус здійснює складний рух: переносний з першим автобусом з кутовою швидкістю ω_c , відносний – з кутовою швидкістю ω_k і абсолютний – з кутовою швидкістю ω_l і з відповідними центрами обертання O_0, O'_0, O_2 .

При односторонньому криволінійному русі автопоїзд проходить декілька стадій [9]:

–стадія початкового прямолінійного руху (перед поворотом), в якій абсолютні миттєві центри швидкостей першого і другого автобуса знаходяться в нескінченності; відносна кутова швидкість ведучої ланки (першого автобуса) рівна нулю;

–стадія входження в поворот, у якій рух по головній вхідній траєкторії характеризується тим, що кут повороту керованих коліс першого автобуса збільшується від нуля до деякої заданої водієм величини. Абсолютні миттєві центри обертання першого і другого автобуса поступово переміщуються по лінії $\overline{O_0O'_0}$ з нескінченності до положення, що відповідає: для першого автобуса – поворот керованих коліс на кут γ_{0MAX} (точка С), а для другого автобуса – деякому значенню кута повороту його керованих коліс γ_{21} з корекцією від першого кута складання γ_1 ланок. Відстань $\overline{O_0O'_0} \neq 0$, а відносна кутова швидкість обертання причепа $d\gamma_1/dt < 0$;

–стадія кругового повороту, в якій рух першого автобуса відбувається по коловій траєкторії з постійним радіусом. Кут повороту керованих коліс ведучої ланки досягає свого максимального значення на цьому повороті і залишається деякий час постійним. Абсолютний миттєвий центр обертання O_0 першого автобуса займає положення, яке відповідає мінімальному радіусові R_{0MIN} . Абсолютний миттєвий центр обертання другого автобуса може розташовуватися наступним чином. При першому варіанті, тобто при неграничному повороті, центр O_1 не досягає кінця стадії кругового повороту і відстань O_0O_1 на цій стадії залишається більшою нуля. Відносна кутова швидкість другого автобуса $d\gamma_2/dt < 0$. Іншими словами, круговий поворот першого автобуса закінчується до того, як співпадуть переносний і абсолютний центри обертання другого автобуса. Це найбільш поширений випадок повороту автобусного поїзда. При другому варіанті, тобто при граничному повороті, круговий рух автобуса закінчується після того, як переносний і абсолютний центри обертання причепа співпадуть з абсолютним центром обертання автобуса. Відносна кутова швидкість $d\gamma_2/dt = = \omega_0 = \omega_1$, тобто весь автопоїзд обертається як єдине ціле навколо єдиного центру;

–стадія виходу з повороту, в якій рух першого автобуса відбувається по головній вихідній траєкторії при поступовому зменшенні кута γ_0 від γ_{0MAX} для даного повороту до нуля при виході на пряму. При виході з повороту абсолютні миттєві центри обертання першого і другого автобусів поступово переміщуються у нескінченність, залишаючись на одній лінії $\overline{O_1O'_0}$, а відстань $\overline{O_1O_0}$ все інтенсивніше збільшується;

–вихід першого автобуса на прямолінійну траєкторію. Ця стадія характерна тим, що хоча перший автобус і рухається прямолінійно ($\gamma_0 = 0$, $\omega_0 = 0$), другий автобус, як правило, продовжує криволінійний рух, асимптотично наближуючись до прямолінійної траєкторії першого автобуса і перший кут складання зменшується.

Розглянуті закономірності криволінійного руху першої пари кінематичних ланок триланкового автобусного поїзда, а саме першого і другого автобусів, справедливі і для другої пари кінематичних ланок – другий і третій автобуси.

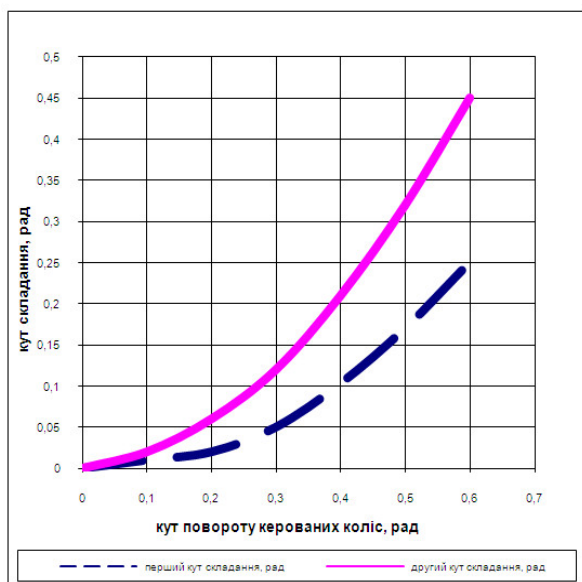
Аналіз залежностей криволінійного руху автобусного поїзда дає чітку картину процесу повороту. Однак практично важливу задачу визначення положення його причіпних ланок на повороті він не вирішує. Для цього необхідно знайти величини кутів складання, які визначають положення другого і третього автобуса на повороті.

У роботі [10] отримані рівняння кутів складання для триланкового автопоїзда з двома причепами, які можуть бути використані і для триланкового автобусного поїзда з корекцією кутів складання за рахунок кутів повороту керованих коліс другого і третього автобусів. Ці рівняння записані у вигляді:

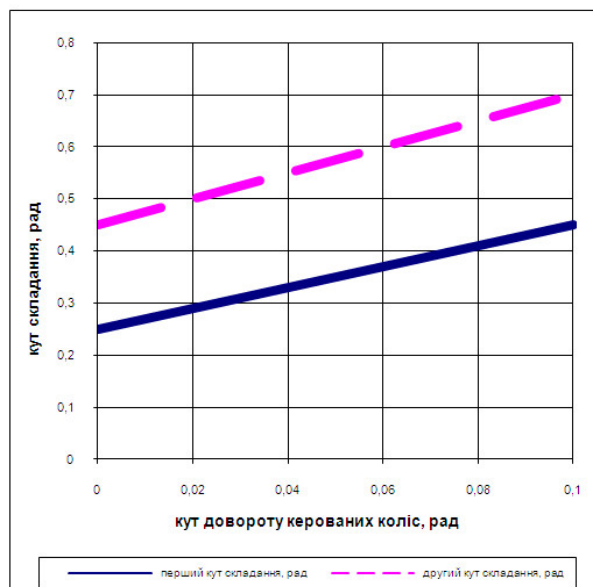
$$\frac{d\gamma_1}{d\gamma_0} = \frac{tg(\gamma_0)}{K_{II} \cdot L_0} \cdot \left(1 - \frac{L_0}{tg(\gamma_0) \cdot \cos(\alpha_0)} \cdot \frac{\sin(\gamma_1 - \alpha_0)}{L_1} \right), \quad (2)$$

$$\frac{d\gamma_2}{d\gamma_0} = \frac{\sin(\gamma_1 - \alpha_0)}{K_{II} \cdot L_1 \cdot \cos(\alpha_0)} \cdot \left(1 - \frac{L_1 \cdot \cos(\gamma_1 - \alpha_0)}{\sin(\gamma_1 - \alpha_0)} \cdot \frac{\sin(\gamma_2)}{L_2} \right) \quad (3)$$

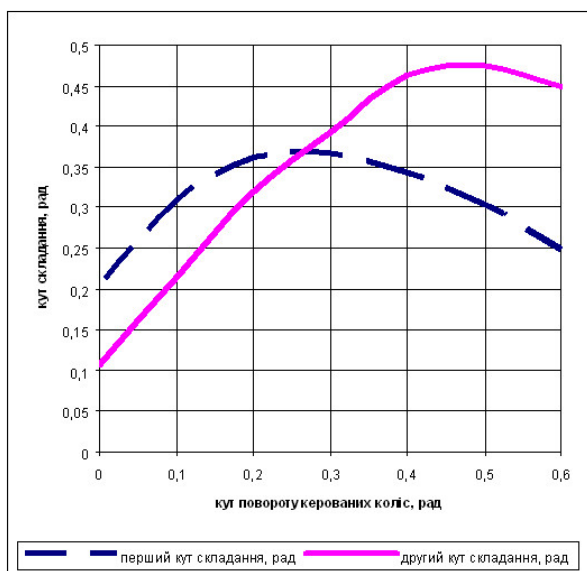
Зважаючи на те, що отримані диференціальні рівняння у загальному вигляді не інтегруються, їх інтегрування виконано за допомогою прикладного програмного забезпечення для ПЕОМ Mathcad. На рис. 5 у якості прикладу наведені результати розрахунків кутів складання автобусного поїзда з базовими конструктивними параметрами автобуса МАЗ-206, для якого довжина $L_a=8,8$ і база $l=4,27$ м.



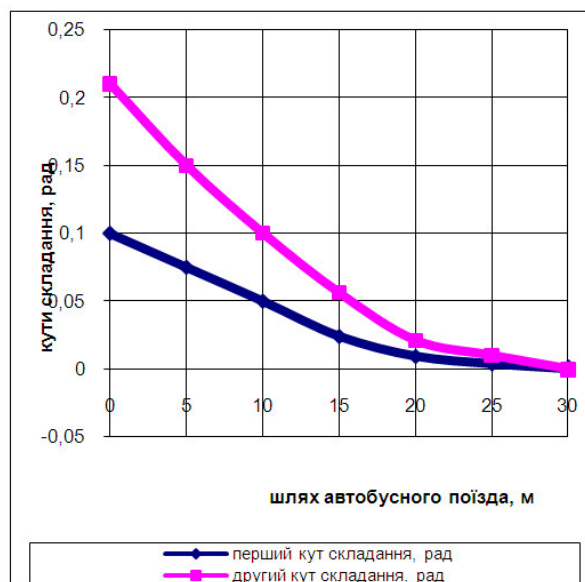
а)



б)



в)



г)

Рисунок 5 – Зміна кутів складання ланок автопоїзда для різних стадій повороту:

а) вхід в поворот; б) рух по колу; в) вихід із повороту; г) прямолінійний рух першої ланки

Figure 5 – Changing the Folding Angles of Road Train Links for Different Rotation Stages:

а) entering the turn; б) movement in a circle; в) exit from rotation; г) straight movement of the first link

Аналіз результатів розрахунків показав:

– поворот усіх елементарних кінематичних ланок здійснюється на першій стадії послідовно, причому друга причіпна ланка забігає більш інтенсивно у внутрішню сторону повороту, збільшуючи другий кут складання у порівнянні з першим. Аналогічно змінюються і швидкості обертання ланок автобусного поїзда незалежно від режиму його повороту. Співвідношення кутів γ_0 і γ_1 в кінці першої стадії повороту складає біля 0,45, у той час як співвідношення кутів γ_2 і γ_1 становить 0,87;

– кути складання суттєво залежать від режиму криволінійного руху автобусного поїзда. Зі зменшенням режимного коефіцієнта повороту зменшуються і кути складання його ланок γ_1 і γ_2 при одному і тому ж значенні приведенного кута повороту γ_0 керування коліс першого автобуса, так як автобусний поїзд займає при цьому менш «складене» положення;

– кут складання γ_2 в початковий період повороту автопоїзда може приймати від’ємні значення. Це явище спостерігається тільки при повороті з відносно великими значеннями режимного коефіцієнта повороту K_{Π} і пояснюється тим, що при різкому повороті першого автобуса точки

зчеплення першого і другого, другого і третього автобуса виходять за лінію початкового прямолінійного руху автобусного поїзда.

За знайденими кутами складання визначимо зміщення траєкторій другого і третього автобусів. Як зазначалося вище, головною точкою першого автобуса є траєкторія руху точки середини ведучого моста. За аналогією до цього вважаємо, що головною точкою другого і третього автобусів є також середина ведучого моста, які позначимо через M_2 і M_3 .

Так як кути складання ланок є функціями від кута повороту керованих коліс усіх автобусів ($\gamma_1 = f(\gamma_0, \gamma_{k1})$, $\gamma_2 = f(\gamma_0, \gamma_1, \gamma_{k1}, \gamma_{k2})$), то траєкторії руху головних точок другого і третього автобуса необхідно будувати в залежності від руху головної точки першого автобуса. Так, згідно схеми (рис. 6) траєкторію руху головних точок усіх автобусів доцільно будувати за двома координатами [11].

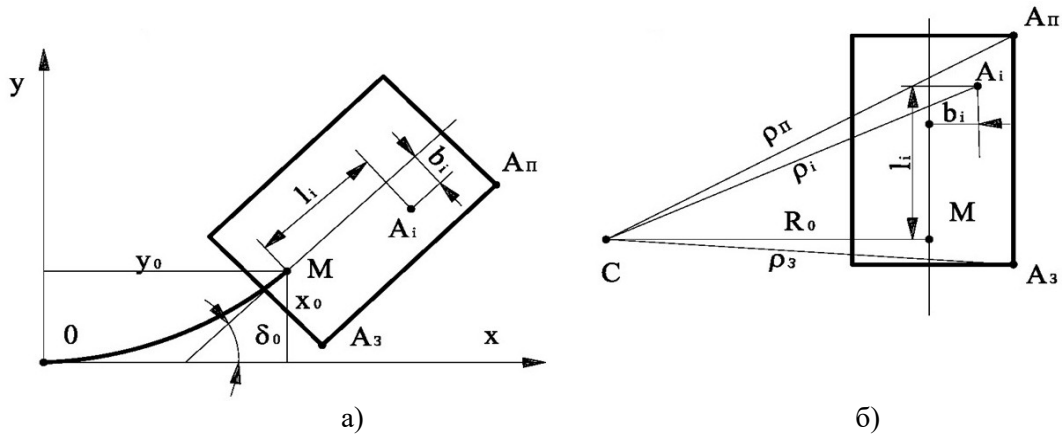


Рисунок 6 – Схеми до визначення радіусів і координат траєкторії будь-якої точки автомобіля [11]: а) на вході в поворот; б) при русі по дузі кола; A_{Π} і A_3 – відповідно передня і задня габаритні точки
Figure 6 – Diagrams to determine the radii and coordinates of the trajectory of any point in the automobile [11]: а) at the turn inlet; б) at movement along circle arc; A_{Π} and A_3 – front and rear position points, respectively

Зважаючи на те, що траєкторія головної точки першого автобуса позначена як x_0 та y_0 , то траєкторії точок другого M_2 і третього автобуса M_3 позначатимемо x_2, y_2 та x_3, y_3 відповідно.

Тоді за рис. 6 отримаємо такі залежності:

$$x_2 = x_0 - c_0 \cdot \cos(\delta_0) - L_1 \cdot \cos(\delta_0 - \gamma_1), \quad (4)$$

$$y_2 = y_0 - c_0 \cdot \sin(\delta_0) - L_1 \cdot \sin(\delta_0 - \gamma_1), \quad (5)$$

$$x_3 = x_2 - c_1 \cdot \cos(\delta_0 - \gamma_1) - L_2 \cdot \cos(\delta_0 - \gamma_1 - \gamma_2), \quad (6)$$

$$y_3 = y_2 - c_1 \cdot \sin(\delta_0 - \gamma_1) - L_2 \cdot \sin(\delta_0 - \gamma_1 - \gamma_2), \quad (7)$$

де δ_0 – кут нахилу дотичної до траєкторії головної точки першого автобуса;

γ_1, γ_2 – відповідно кути складання між першим і другим та другим і третім автобусом;

c_0 – відстань від головної точки першого автобуса до точки зчіпки з другим автобусом;

c_1 – відстань від головної точки другого автобуса до точки зчіпки з третім автобусом.

Розглядаючи перший автобус як плоский прямокутник [11] (рис. 6), можна визначити розташування будь-якої точки в його межах за двома координатами: відстанню від цієї точки до головної точки M уздовж поздовжньої осі зі знаком «+», якщо точка розташована спереду за напрямком руху, і зі знаком «-» – якщо точка розташована позаду. Ця відстань буде позначатися через l_i . Другою координатою буде відстань від заданої точки до поздовжньої осі автобуса по перпендикуляру, що опущений з неї на цю вісь.

Розглянемо три можливі випадки руху:

–прямолінійний, коли усі точки автопоїзда рухаються траєкторіями, що паралельні траєкторії головної точки M ;

–круговий, коли усі точки рухаються по дузі кола з центром в точці С і радіусом головної точки R_0 . Зважаючи на те, що усі точки автопоїзда рухаються по концентричним дугам кіл, простіше за все визначати не координати заданої точки, а її радіус:

$$\rho_i = \sqrt{(R_0 + b_i)^2 + l_i^2} . \quad (8)$$

–по перехідній криволінійній траєкторії. Координати будь-якої точки автопоїзда визначаються як:

$$x_i = x_0 \pm l_i \cdot \cos(\delta_0) \pm b_i \cdot \sin(\delta_0) , \quad (9)$$

$$y_i = y_0 \pm l_i \cdot \sin(\delta_0) \pm b_i \cdot \cos(\delta_0) . \quad (10)$$

При аналізі маневрових властивостей автопоїзда практичне значення мають лише траєкторії його габаритних точок. Так для побудови габаритної смуги руху автопоїзда необхідно лише побудувати траєкторії руху таких двох точок, які рухаються по дугам кіл найбільшого і найменшого радіусів. При цьому слід враховувати, що кожна з ланок автопоїзда обертається навколо власного центру, і тому при визначенні координат внутрішньої і зовнішньої габаритних ліній виникають певні проблеми. Тому для спрощення побудови приймемо, що найбільш віддаленою точкою кожної з ланок буде передня габаритна точка (розташована ззовні від центра повороту) першого автобуса, а найменш віддаленою – точка умовного перетину задньої осі з внутрішнім (по відношенню до центра повороту) бортом третього автобуса.

Оскільки при повороті триланкових автопоїздів спостерігається ситуація, коли перший автобус вже майже виконав поворот, а третій автобус лише його розпочинає, то більш доцільним є визначати зміщення траєкторій головних точок другого і третього автобусів, а потім будувати габаритну смугу руху автопоїзда.

Із застосуванням розробленої методики з використанням програмного забезпечення Mathcad були визначені кути складання та зміщення траєкторій головних точок другого і третього автобусів. Результати розрахунків представлені на рис. 7.

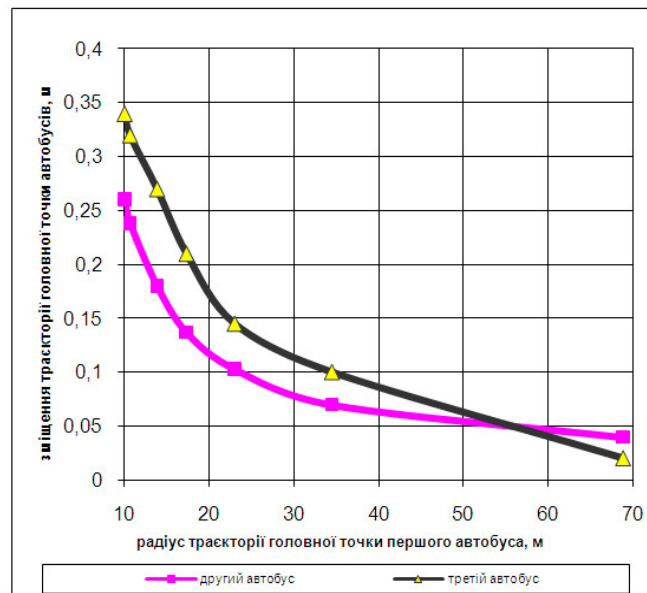


Рисунок 7 – Зміщення траєкторій головних точок другого і третього автобусів
Figure 7 – Displacements of main points of the second and third buses

За отриманими кутами складання і зміщеннями траєкторій головних точок другого і третього автобусів були побудовані габаритні смуги руху триланкового автопоїзда, що складається з трьох однотипних автобусів МА3-206 при виконанні ним різних маневрів (рис. 8).

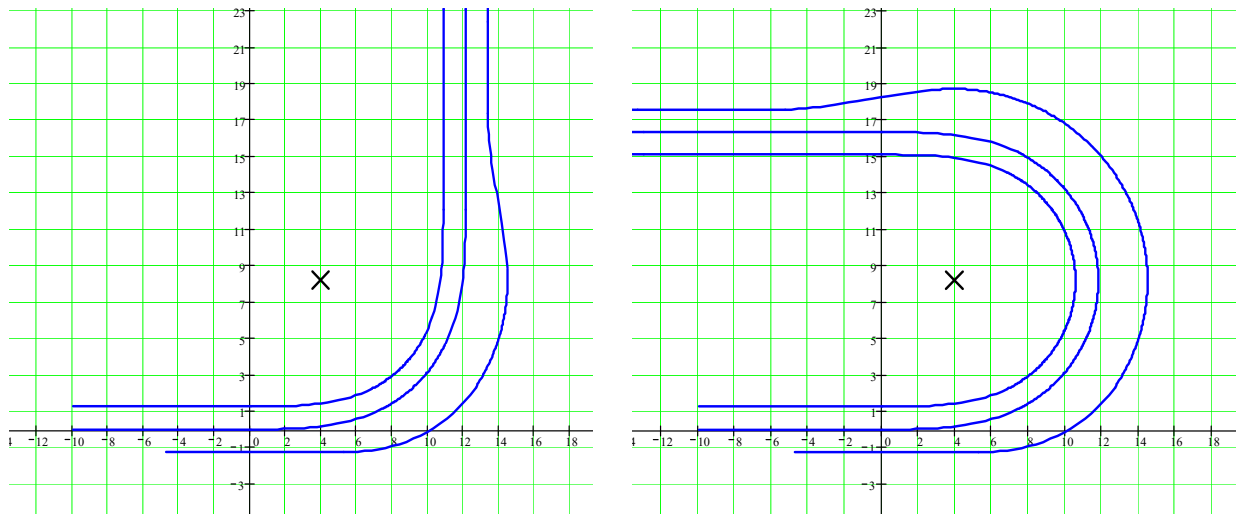


Рисунок 8 – Траекторії руху ланок автопоїзда при повороті на 90° і 180°
 Figure 8 – Paths of road train links at turn by 90° and 180°

Як слідує з графіків, наведених на рис. 8, габаритна смуга руху автобусного поїзда при виконанні ним найбільш типових маневрів при роботі на міському маршруті не перевищує 3,9 і 4,1 м (при поворотах відповідно на 90° і 180°), що значно менше, чим для триланкового шарнірно-зчленованого автобуса загальною довжиною 24 м (6,8; 8,2 м [10]), тобто за показниками маневреності триланковий причіпний автопоїзд у складі трьох однотипних автобусів загальною довжина кожного з них 8 м значно перевищує всі інші автопоїзди.

Висновки. Проведеними дослідженнями доведена доцільність використання триланкового причіпного автопоїзда, що складається з трьох однотипних автобусів загальною довжиною до 26 м і пасажиромісткістю до 220 пасажирів в системі BRT.

Показано, що для руху такого автобусного поїзда зі швидкістю 25 м/с необхідна сумарна потужність двигунів повинна складати 300 кВт, у той час як для одного автобуса при русі з цією ж швидкістю вона повинна бути на рівні 135 кВт. Це свідчить про економічну доцільність використання автобусного поїзда із трьох автобусів, що працюють в зчіпці, бо для їх руху у всьому діапазоні швидкостей достатньо потужності двох двигунів, тобто один з автобусів може використовуватись як пасивний причіп, що призведе до поліпшення паливної економічності автобусного поїзда.

Встановлено, що за показниками маневреності триланковий причіпний автопоїзд значно перевищує триланковий шарнірно-зчленований автобус. Так, габаритна смуга руху причіпного автобусного поїзда при виконанні ним найбільш типових маневрів при роботі на міському маршруті не перевищує 3,9 і 4,1 м при поворотах відповідно на 90° і 180° , що значно менше, чим для триланкового шарнірно-зчленованого автобуса довжиною 24 м (відповідно 6,8 і 8,2 м).

Подальший розвиток. Подальша робота буде присвячена дослідженню стійкості руху триланкового причіпного автопоїзда, що складається з трьох однотипних автобусів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Метробус: скоростной автобус в Стамбуле. Сайт журналу «Октобус. Журнал» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://journal.octobus.io/istanbul_metrobus/.
2. Сахно В.П. До порівняльної оцінки транспортних засобів для міських перевезень пасажирів в системі BRT / В.П. Сахно, В.М. Поляков, Є.М. Місько, О.Є. Омельницький // Автошляховик України. – 2019, №6, С.7-11.
3. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів : [навчальний посібник] / В.П. Сахно, А.В. Костенко, М.І. Загороднов та ін. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 2014. – 444 с.
4. Фаробин Я.Е. Трехзвенные автопоезда / Я.Е. Фаробин, А.М. Якобашвили, А.М. Иванов и др. Под общ. ред. Я.Е. Фаробина. – М.: Машиностроение, 1993. – 224 с.
5. Высоцкий М.С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М.С. Высоцкий, С.И. Кочетков, С.В. Харитончик. – Минск: Беларус. Наука, 2011. – 392 с.

6. Горелов В.А. Математическое моделирование движения многозвенных колесных транспортных комплексов с учетом особенностей конструкции сцепных устройств / 77-30569/34394, No2, февраль 2012 г. – Режим доступа: <http://tecnomag.edu.ru>.

7. Исследование маневренных свойств автопоезда на основе системного подхода: монография. / В.В. Аюпов. – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. – 96 с.

8. Поляков В.М. Триланкові автопоїзди. Маневреність / В.М. Поляков, В.П. Сахно. – Київ: Національний транспортний університет, 2013. – 200 с.

9. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда / Я.Х. Закин. – М.: Транспорт, 1986. – 137 с.

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

11. Сахно В.П. До визначення показників маневреності шарнірно-зчленованих автобусів. / В.П. Сахно, І.С. Мурований, В.Є. Селезньов // Вісник Машинобудування та транспорту. Науковий журнал. Вінницький НТУ, 2016. – № 2. – С. 97-105.

REFERENCES

1. Metrobus: skorostnoy avtobus v Stambule. Sayt jurnalnogo «Oktobus. Jurnal» [Metrobus: express bus in Istanbul. The site of the magazine «Oktobus. Magazine»]. <https://journal.octobus.io>. Retrieved from https://journal.octobus.io/istanbul_metrobus/ [in Russian].

2. Sakhno, V.P., Poliakov, V.M., Misko, Ye.M., & Omelnickij, O.Ye (2019). *Do porivnyalnoyi ocinki transportnih zasobiv dlya miskih perevezen pasazhiriv v sistemi BRT [In comparative estimates of vehicles for city transportations of passengers in the BRT system]. Avtoshliakhovyk Ukrainy – Autoroad builder of Ukraine, №6, 7-11 [in Ukrainian].*

3. Sakhno, V.P., Kostenko, A.V., Zahorodnov, M.I., & Sakno, O.P. (2014). *Ekspluatatsiini vlastyivosti avtotransportnykh zasobiv. Dynamichnist ta palyvna ekonomichnist avtotransportnykh zasobiv [Operational properties of vehicles. Dynamism and fuel profitability of vehicles]. Donetsk: Noulidzh [in Ukrainian].*

4. Farobyn, Ya.E., Yakobashvyly, A.M., & Yvanov, A.M. (1993). *Trehzvennyie avtopoezda [Three-unit road trains]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].*

5. Vyisotskiy, M.S., Kochetkov, S.I., & Haritonchik, S.V. (2011). *Osnovyi proektirovaniya modulnykh magistralnykh avtopoezdov [Basic Design of Modular Highway Trains]. Minsk: Belarus. Navuka [in Russian].*

6. Gorelov, V.A. (2012). *Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya mnogozvennykh kolesnykh transportnykh kompleksov s uchetom osobennostey konstruktivnykh stsepnnykh ustroystv [Mathematical simulation of the movement of multi-link wheeled transport complexes taking into account the peculiarities of the design of coupling devices]. 77-30569/34394, 2. Retrieved from http://tecnomag.edu.ru [in Russian].*

7. Аюпов, В.В. (2012). *Issledovanie manevrennykh svoystv avtopoezda na osnove sistemnogo podhoda [Study of the maneuvering properties of the road train based on the system approach]. Perm: FGBOU VPO Permskaya GSHA [in Russian].*

8. Poliakov, V.M., & Sakhno, V.P. (2013). *Trylankovi avtopoizdy. Manevrenist [Three-link road trains. Maneuverability]. Kyiv: National Transport University [in Ukrainian].*

9. Zakin, Ya.H. (1986). *Manevrennost avtomobilya i avtopoezda [Maneuverability of car and road train]. Moscow: Transport [in Russian].*

10. Sakhno, V.P., Murovaniy, I.S., Stelmashchuk, V.V., Onyshchuk, V.P. & Omelnickij, O.Ye (2019). *Shliakhy polipshennia manevrenosti metrobusa [Ways to improve the maneuverability of the subwaybus]. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti. Naukovyi zhurnal – Modern technologies in mechanical engineering and transport. Scientific journal, 2, 122-133 [in Ukrainian].*

11. Sakhno, V.P., Murovaniy, I.S., & Seleznov, V.E. (2016). *Do vyznachennia pokaznykiv manevrenosti sharnirno-zchlenovanykh avtobusiv [Before determining the maneuverability of articulated buses]. Visnyk Mashynobuduvannya ta transportu. Naukovyi zhurnal – Vesnik engineering on transport. scientific journal, 2, 97-105 [in Ukrainian].*

РЕФЕРАТ

Поляков В.М. До питання щодо вибору рухомого складу в системі BRT / В.М. Поляков, Д.М. Яценко, С.М. Шарай // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2021. – Вип. 1 (48)

У статті розглянуто питання щодо вибору рухомого складу пасажирського автотранспорту в системі BRT, яка передбачає рух автобусів по спеціально виділеним і часто обгородженим смугам, тобто його повна ізоляваність на дорозі від інших видів транспорту. Для підвищення пасажиромісткості в системі BRT використовують триланкові автобуси і тролейбуси.

Поряд з незаперечними перевагами трисекційних зчленованих автобусів і тролейбусів їм притаманні і недоліки – гірші маневреність і стійкість руху у порівнянні з двосекційними. Крім того, ефективність експлуатації таких машин тісно пов'язана з пасажиропотоком, який протягом дня може змінюватися в рази. Тому перспективним може стати автопоїзд у складі двох (або трьох) автобусів або тролейбусів, що працюють у зчіпці, пасажиромісткість яких аналогічна зчленованим автобусам і тролейбусам. У години пік працює автобусний поїзд, а у міжпіковий період – кожен автобус окремо (можлива стоянка одного автобуса на виділеному майданчику).

Зважаючи на обмеження максимальної довжини автобусного поїзда на рівні 24...26 м, у якості автобусів, як складових автопоїзда, приймемо 8-метрові автобуси MAZ-206. Пасажиромісткість такого автобуса складає 72 пасажирів, потужність тягового двигуна – 160 кВт.

Проведеними дослідженнями доведена доцільність використання триланкового причіпного автопоїзда, що складається з трьох однотипних автобусів MAZ-206 загальною довжиною до 26 м і пасажиромісткістю до 220 пасажирів в системі BRT.

Показано, що для руху такого автобусного поїзда зі швидкістю 25 м/с необхідна сумарна потужність двигунів повинна складати 300 кВт, у той час як для одного автобуса при русі з цією ж швидкістю вона повинна бути на рівні 135 кВт. Це свідчить про економічну доцільність використання автобусного поїзда із трьох автобусів, що працюють в зчіпці, бо для їх руху у всьому діапазоні швидкостей достатньо потужності двох двигунів, тобто один з автобусів може використовуватись як пасивний причіп, що призведе до поліпшення паливної економічності автобусного поїзда.

Встановлено, що за показниками маневреності триланковий причіпний автопоїзд значно перевищує триланковий шарнірно-зчленований автобус. Так, габаритна смуга руху причіпного автобусного поїзда при виконанні ним найбільш типових маневрів при роботі на міському маршруті не перевищує 3,9 і 4,1 м при поворотах відповідно на 90^0 і 180^0 , що значно менше, чим для триланкового шарнірно-зчленованого автобуса довжиною 24 м відповідно 6,8 і 8,2 м.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРИЛАНКОВИЙ АВТОПОЇЗД, АВТОБУС, ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНИЙ АВТОБУС, СИСТЕМА BRT, ПОТУЖНІСТЬ, МАНЕВРЕНІСТЬ, ТРАЄКТОРІЯ, ГАБАРИТНА СМУГА РУХУ

ABSTRACT

Poliakov V.M., Yaschenko D.N., Sharai S.M. To a question at the choice of the rolling stock in the BRT system. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2021. – Issue 1 (48).

In article the question at the choice of the rolling stock of passenger motor transport in the BRT system which provides movements of buses on specially allocated and often obgorodzheny strips, that is its full isolation on the road from other means of transport is considered. For increase in passenger capacity in the BRT system use *three-link* buses and trolleybuses.

Along with indisputable advantages of three-link buses and trolleybuses also shortcomings – the worst maneuverability and stability of the movement in comparison with two-link are inherent in them. Besides, the efficiency of operation of such cars is provided with a passenger traffic which during the day can change many times. Therefore the road train as a part of two (or three) the buses or trolleybuses working in connection, i which passenger capacity similar to the jointed buses and trolleybuses can become perspective. In rush hours the bus train, and in interpeak the period – each bus separately works (the possible parking of one bus at allocated to the platform).

In view of restriction of the maximum length of the bus train at the level of 24...26 m, as buses as making road trains, we will accept the 8th meter buses MAZ 206. Passenger capacity of such bus is 72 passenger, the power of the traction engine – 160 kW.

The expediency of use of three-link hook-on road train is proved by the conducted researches that MAZ 206 with a total length up to 26 m and with a passenger capacity up to 220 passengers in the BRT system consists of three same buses.

It is shown that the total power of engines is necessary for the movement of such bus train with a speed of 25 m/s has to make 300 kW while for one bus at the movement with the same speed it has to be at the level of 135 kW. It demonstrates about economic feasibility of use of the bus train from three buses

working in connection because for their movement in all range of speeds there is enough power of two engines, that is one of buses can be used as the passive trailer that will lead to improvement of fuel profitability of the bus train.

It is established that on maneuverability indicators three links the hook-on road train considerably exceeds three links pivotally – the jointed bus. So, the dimensional lane of the hook-on bus train at execution of the most typical maneuvers by it during the work on a city route does not exceed 3.9 and 4.1 m at turns respectively on 90^0 and 180^0 that it is much less, than for three links pivotally the jointed bus 24 m long respectively of 6.8 and 8.2 m.

KEYWORDS: THREE-UNIT THE ROAD TRAIN, THE BUS, PIVOTALLY-THE JOINTED BUS, THE BRT SYSTEM, POWER, MANEUVERABILITY, A TRAJECTORY, OVERALL STRIP

РЕФЕРАТ

Поляков В.М. К вопросу выбора подвижного состава в системе BRT / В.М. Поляков, Д.Н. Яценко, С.М. Шарай // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2021. – Вып. 1 (48).

В статье рассмотрены вопросы выбора подвижного состава пассажирского автотранспорта в системе BRT, которая предусматривает движения автобусов по специально выделенным и часто огороженным полосам, то есть его полная изолированность на дороге от других видов транспорта. Для повышения пассажироместимости в системе BRT используют трехзвенные автобусы и троллейбусы.

Наряду с несомненными преимуществами трехсекционных сочлененных автобусов и троллейбусов им присущи и недостатки – хуже маневренность и устойчивость движения по сравнению с двухсекционными. Кроме того, эффективность эксплуатации таких машин тесно связана с пассажиропотоком, который в течение дня может меняться в разы. Поэтому перспективным может стать автопоезд в составе двух (или трех) автобусов или троллейбусов, работающих в сцепке, пассажироместимость которых аналогична сочлененным автобусам и троллейбусам. В часы пик работает автобусный поезд, а в межпиковый период – каждый автобус отдельно (возможна стоянка одного автобуса на выделенном площадке).

Несмотря на ограничения максимальной длины автобусного поезда на уровне 24...26 м, в качестве автобусов, как составляющих автопоезда, примем 8-метровые автобусы МАЗ-206. Пассажироместимость такого автобуса составляет 72 пассажира, мощность тягового двигателя – 160 кВт.

Проведенными исследованиями доказана целесообразность использования трехзвенного прицепного автопоезда, состоящего из трех однотипных автобусов МАЗ-206 общей длиной до 26 м и вместимостью до 220 пассажиров в системе BRT.

Показано, что для движения такого автобусного поезда со скоростью 25 м/с необходимо суммарная мощность двигателей должна составлять 300 кВт, в то время как для одного автобуса при движении с этой же скоростью она должна быть на уровне 135 кВт. Это свидетельствует об экономической целесообразности использования автобусного поезда из трех автобусов, работающих в сцепке, так как для их движения во всем диапазоне скоростей достаточно мощности двух двигателей, то есть один из автобусов может использоваться как пассивный прицеп, что приведет к улучшению топливной экономичности автобусного поезда.

Установлено, что по показателям маневренности трехзвенный прицепной автопоезд значительно превышает трехзвенный шарнирно-сочлененный автобус. Так, габаритная полоса движения прицепного автобусного поезда при исполнении им наиболее типичных маневров при работе на городском маршруте не превышает 3,9 и 4,1 м при поворотах соответственно на 90^0 и 180^0 , что значительно меньше, чем для трехзвенного шарнирно-сочлененного автобуса длиной 24 м соответственно 6,8 и 8,2 м.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТРЕХЗВЕННЫЙ АВТОПОЕЗД, АВТОБУС, ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННЫЙ АВТОБУС, СИСТЕМА BRT, МОЩНОСТЬ, МАНЕВРЕННОСТЬ, ТРАЕКТОРИЯ, ГАБАРИТНАЯ ПОЛОСА ДВИЖЕНИЯ

АВТОРИ:

Поляков Віктор Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри «Автомобілі», e-mail: poljakov_2006@ukr.net, тел. +38(044)280-42-52, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 301, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Ященко Дмитро Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Автомобілі», e-mail: y_d@ukr.net, тел. +38(044)280-42-52, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 301, orcid.org/0000-0003-3674-0089

Шарай Світлана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри «Міжнародні перевезення та митний контроль»; e-mail: svetasharai@gmail.com, +38(067)783-31-80, Україна, 01010, г. Київ, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к. 437, orcid.org/0000-0001-6568-4990

AUTHORS:

Poliakov Viktor Mihailovich, Doctor of Engineering, assistant of professor, National transport university, professor of Avtomobili chair, e-mail: poljakov_2006@ukr.net, ph. +38(044)280-42-52, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 301, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Yaschenko Dmitriy Nikolaevich, Doctor of Engineering, National transport university, associate professor of Avtomobili chair, e-mail: y_d@ukr.net, ph. +38(044)280-42-52, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 301, orcid.org/0000-0003-3674-0089

Sharai Svitlana Mihailovich, Doctor of Engineering, assistant of professor, National transport university, Professor of Department of International Transportation and Customs Control, E-mail: Svetasharai@gmail.com, tel. (067) 783-31-80, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 437, orcid.org/0000-0001-6568-4990

АВТОРЫ:

Поляков Виктор Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Автомобили», e-mail: poljakov_2006@ukr.net, тел. +38(044)280-42-52, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к. 301, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Ященко Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Автомобили», e-mail: y_d@ukr.net, тел. +38(044)280-42-52, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к. 301, orcid.org/0000-0003-3674-0089

Шарай Светлана Михайловна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Международные перевозки и таможенный контроль»; e-mail: svetasharai@gmail.com, +38(067)783-31-80, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к. 437, orcid.org/0000-0001-6568-4990

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів та теплотехніки, Київ, Україна

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, державний університет «Житомирська політехніка», завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомир, Україна

REVIEWERS:

Hutarevych Yu.F., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head of the Department of engines and heat engineering, Kyiv, Ukraine.

Kravchenko A.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Zhytomyr Polytechnic state university, head of the department of automobiles and transport technologies, Zhytomyr, Ukraine