

Сахно В.П., д.т.н.¹, Веремчук О.А.², Горбаха М.М., к.т.н.³, Лагошна О.О.⁴

1 — НТУ, м. Київ, 2 — УДУ ВГП, м. Київ,
3 — «ДержавтотрансНДПроект», м. Київ, 4 — НГУ, м. Київ

ВПЛИВ ЕКСЦЕНТРИСИТЕТУ ЦЕНТРУ МАС НА ПОКАЗНИКИ СТІЙКОСТІ АВТОБУСІВ ОСОБЛИВО ВЕЛИКОГО КЛАСУ

Розроблено математичну модель плоско паралельного руху тривісного автобуса. Встановлено вплив ексцентриситету центру мас на показники стійкості руху автобуса. Показано, що за наявності ексцентриситету центру мас область припустимих значень кута повороту керованих коліс за одних і тих же значень кутової чи бічної швидкості центра мас різко звужується.

Вступ

В умовах розрізненості виробництва й обмеженості випуску автобусів при широкій гамі їх типорозмірів і модифікацій важлива роль належить швидкому створенню конструкцій, що можливо лише за умови широкої уніфікації автобусів. На цій основі привабливою виглядає ідея створення одиночного автобуса надвеликої місткості загальною довжиною 15 м. Хоча законодавство багатьох європейських країн не дозволяє експлуатувати одиночні автобуси довжиною понад 12 м, країнами-учасницями ЄС була прийнята директива № 2002/7, що стосується максимальної довжини автобуса 15 м [1]. Деякі країни вже ввели в законодавство відповідну директиву. В Англії, наприклад, створений перехідний період, виробники готові розпочати випуск нової техніки. В Швейцарії закон діє з листопаду 2002 року, в Німеччині аналогічний закон введений в дію в кінці 2003 року, але ще до прийняття закону допускалася експлуатація автобусів довжиною 15 м [2].

Ідея застосування надвеликих автобусів представляється доцільною, оскільки дозволяє зекономити на деяких речах, а саме:

- автобус має меншу габаритну довжину у порівнянні зі зчленованим, та, як наслідок, займає менше місця на дорозі та на зупинці, хоча його пасажиромісткість ненабагато менша;
- відсутність причіпної ланки спрощує керування таким автобусом;
- за відсутності вузла зчленування у такого автобуса спрощується його електрообладнання, система опалення, гальмова система тощо, а в цілому знижується число деталей, що призводить до зниження вартості автобуса на 30-35% у порівнянні зі зчленованим автобусом;
- існує ряд міських маршрутів, на яких застосування 12-метрових автобусів призведе до їх перевантаження, а використання 18-метрових зчленованих автобусів може призвести до недоавантаження автобусів, або до збільшення інтервалів руху.

На даний час в друкованих та інтернет-виданнях можна зустріти велику кількість робіт, що стосуються 15-метрових автобусів. У них описується ергономіка салону, рівень комфорту водія та пасажирів, поведінка на дорозі, але досить мало приділяється уваги маневреності та стійкості руху такого транспортного засобу.

Метою роботи є визначення показників стійкості автобусів надвеликого класу з урахуванням реальної схеми їх завантаження.

Основна частина

Однією із характерних особливостей роботи у містах є нерівномірність завантаження автобуса як по його осям, так і по бортам. Нерівномірність завантаження по бортам призводить до ексцентриситету центру мас автобуса і, як наслідок цього, до зміни показників стій-

кості його руху. Тому розглянемо вплив ексцентриситету центру мас автобуса на показники стійкості його руху.

Дослідимо плоскопаралельний рух одноколісної (велосипедної) моделі тривісного автобуса, вид якого в плані показаний на рис. 1.

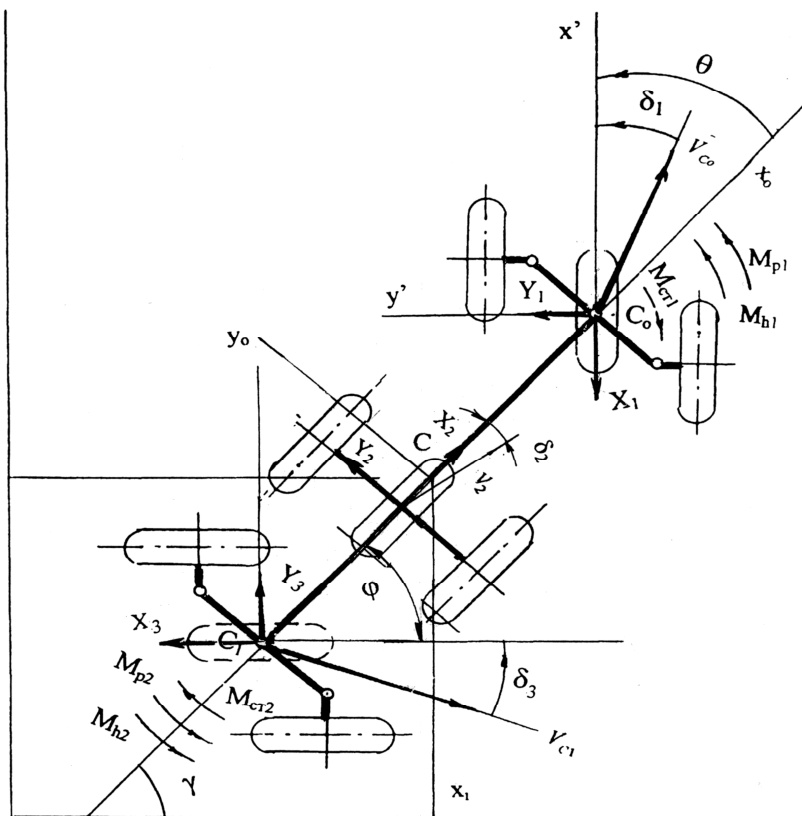


Рис.1. Схема сил та моментів, що діють на автобус

Диференціальні рівняння з урахуванням ексцентриситету центру мас для визначення невідомих функцій v, u, ω, φ записані у вигляді [3]:

– для змінної v

$$(m + m_1)\dot{v} - m_1(d_1 \sin \varphi + \varepsilon)\dot{\omega} + m_1 d_1 \sin \varphi \ddot{\varphi} = (m_1 + m)\omega u - m_1 d_1 \omega^2 - m_1 d_1 \cos \varphi \times (\omega - \dot{\varphi})^2 + X_1 \cos \theta - Y_1 \sin \theta + X_2 + X_3 \cos \varphi + Y_3 \sin \varphi ; \quad (1)$$

– для змінної u

$$(m + m_1)\dot{u} - m_1(c_1 + d_1 \cos \varphi)\dot{\omega} + m_1 d_1 \cos \varphi \ddot{\varphi} = -(m_1 + m)\omega v + m_1 \varepsilon \omega^2 + m_1(d_1 \sin \varphi - \varepsilon \cos \varphi) \times (\omega - \dot{\varphi})^2 + X_1 \sin \theta + Y_1 \cos \theta + Y_2 - X_3 \sin \varphi + Y_3 \cos \varphi ; \quad (2)$$

– для змінної ω

$$\left\{ I + m_1[b^2 + \varepsilon^2 + b d_1 \cos \varphi] \right\} \dot{\omega} - m_1 \varepsilon \dot{v} - m_1 b \dot{u} - m_1 b d_1 \cos \varphi \ddot{\varphi} = m_1 b v \omega - m_1 \varepsilon u \omega - m_1 b d_1 \times \sin \varphi \times (\omega - \dot{\varphi})^2 + X_1(a \sin \theta - \varepsilon \cos \theta) + Y_1(a \cos \theta + \varepsilon \sin \theta) - X_2 \varepsilon - Y_2 b + X_3(c \sin \varphi - \varepsilon \cos \varphi) - Y_3(c \cos \varphi + \varepsilon \sin \varphi) ; \quad (3)$$

– для змінної φ

$$m_1 d_1^2 \ddot{\varphi} - (I_1 + m_1 d_1^2 + \varepsilon d_1 \sin \varphi) \dot{\omega} + m_1 d_1 \sin \varphi \dot{v} + m_1 d_1 \cos \varphi \dot{u} = m_1 (d_1 \sin \varphi - \varepsilon \cos \varphi) \omega u - m_1 (d_1 \cos \varphi + \varepsilon \sin \varphi) v \omega - m_1 [c d_1 \sin \varphi - \varepsilon d_1 \cos \varphi] \omega^2 - (d_1 + b)(X_3 \sin \varphi - Y_3 \cos \varphi) \quad (4)$$

У записаних рівняннях прийняті такі позначення:

θ і φ – кути повороту коліс передньої й задньої осей;

ε – ексцентриситет центра мас C автобуса.

Щоб оцінити вплив ексцентриситетів центрів мас ланок, розглянемо рівняння, яке можна отримати при $c \neq 0$ з (1) і (2), помноживши (1) на c і склавши з (2) :

$$\{I + m_1 \varepsilon d_1 \sin \varphi\} \dot{\omega} + m_1 b \dot{u} - m_1 \varepsilon \dot{v} - m_1 \varepsilon d_1 \sin \varphi \ddot{\varphi} = -m_1 b v \omega + m_1 b \varepsilon \omega^2 - m_1 \varepsilon u \omega + m_1 \varepsilon d_1 \cos \varphi (\omega - \dot{\varphi})^2 + X_1 [(a + c) \sin \theta - \varepsilon \cos \theta] + Y_1 [(a + c) \cos \theta + \sin \theta] - Y_2 (b - c) - \varepsilon X_3 \quad (5)$$

При $\varepsilon=0$ рівняння (5) істотно спрощується:

$$I \dot{\omega} + m c (\dot{u} + v \omega) = (a + c)(X_1 \sin \theta + Y_1 \cos \theta) - (b - c) Y_2 \quad (6)$$

Якщо $c=0$, то зв'язки між змінними v, u, ω, φ системи (1) – (4) значно слабшають, хоча й не губляться. Найбільш істотні зміни перетерплює рівняння (3), що у цьому випадку приймає вид

$$\{I + m_1 \varepsilon^2\} \dot{\omega} = m_1 \varepsilon \dot{v} - m_1 \varepsilon u \omega + m_1 \varepsilon d_1 \omega^2 + X_1 (a \sin \theta - \varepsilon \cos \theta) + Y_1 (a \cos \theta + \varepsilon \sin \theta) - X_2 \varepsilon - Y_2 b - \varepsilon X_3 \quad (7)$$

Якщо до того ж й $\varepsilon = 0$, з (6) маємо

$$I \dot{\omega} = a (X_1 \sin \theta + Y_1 \cos \theta) - Y_2 b \quad (8)$$

Наявність ексцентриситету ε порушує непарність функцій $\delta_i = \delta_i(\theta, \theta_1, u, \omega, \varphi)$. Але й при $\varepsilon = 0$ система диференціальних рівнянь (1-4) для знаходження значень $v(t), u(t), \omega(t)$ перстає бути симетричною через змінну v , тому що $v \in R^+$, а інші величини u, ω є знакозмінними. Якщо в диференціальних рівняннях для знаходження величин u, ω покласти $X_1 = X_2 = X_3 = 0$, то навіть при $\varepsilon = 0$ система втрачає симетричність, тому що тільки X_2 парним чином залежить від u, ω . При зсуві центра мас автобуса в зовнішню щодо миттєвого центра його повороту (вправо при повороті вліво й уліво при правобічному повороті автобуса) область припустимих значень кута θ за одних і тих же значень кутової чи бічної швидкості центра мас різко звужується (рис. 2).

Пояснюється це характером зміни бічних реакцій на колесах осей автобуса (рис. 3). У випадку автобуса з недостатньою повороткістю кругові рухи можливі при будь-яких значеннях θ від $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$ з усіма швидкостями. У випадку автобуса з надлишковою повороткістю обмеження на область припустимих значень кута θ в круговому русі різко звужуються, починаючи зі швидкості руху $v > v_{**}$.

Висновки

Розроблено математичну модель плоскопаралельного руху автобуса як трьохмасової системи, яка враховує вплив керуючих колісних модулів передніх і задніх коліс. Система дозволяє дослідити вплив конструктивних параметрів автобуса, переднього і заднього ККМ на показники його маневреності і стійкості руху. Показано, що за наявності ексцентриситету центра мас область припустимих значень кута повороту керованих коліс за одних і тих же

значень кутової чи бічної швидкості центру мас різко звужується. Це необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації тривісних автобусів з передніми і задніми керованими колесами.

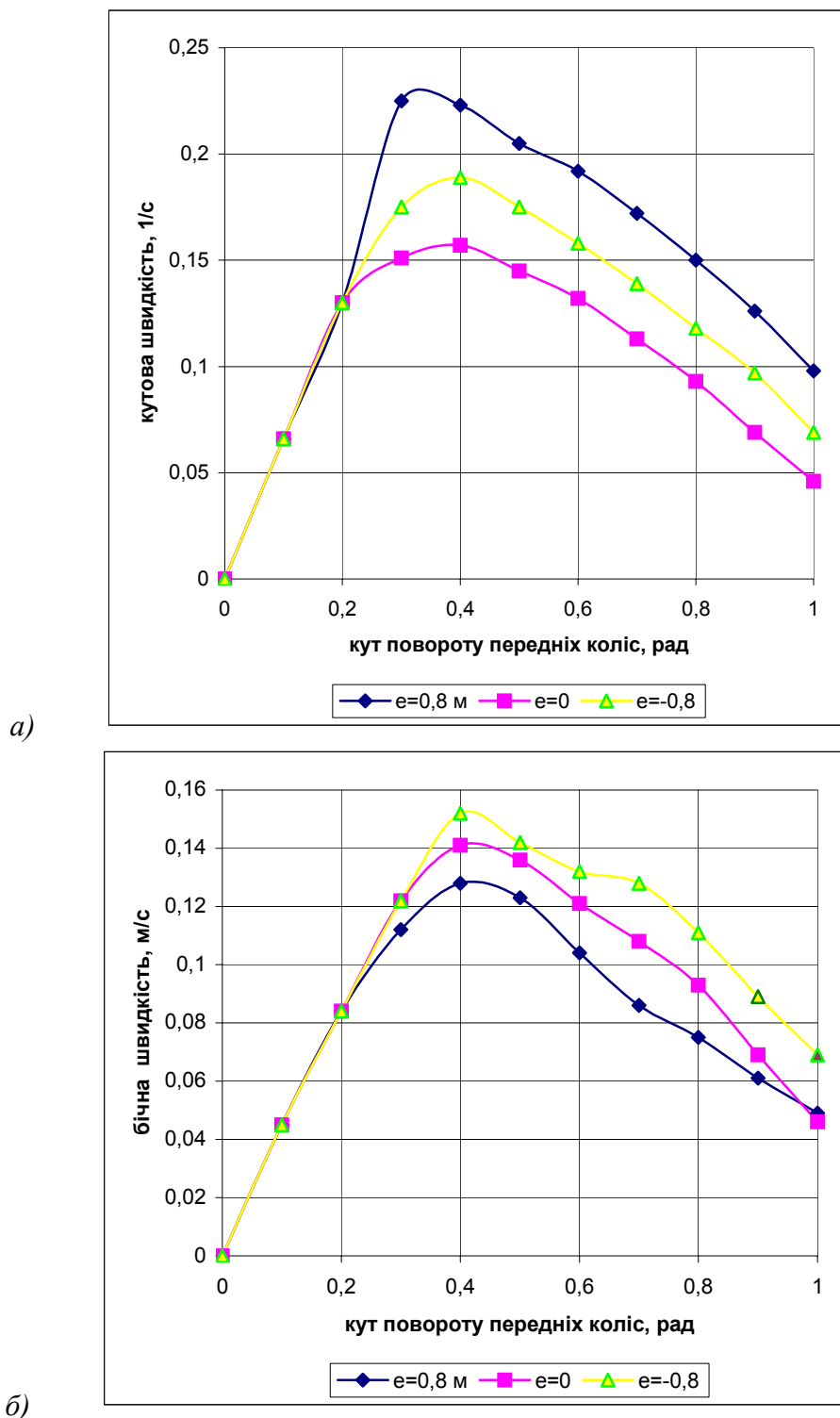


Рис. 2. Залежність кутової (а) і бічної (б) швидкості центра мас автобуса від кута повороту його передніх коліс

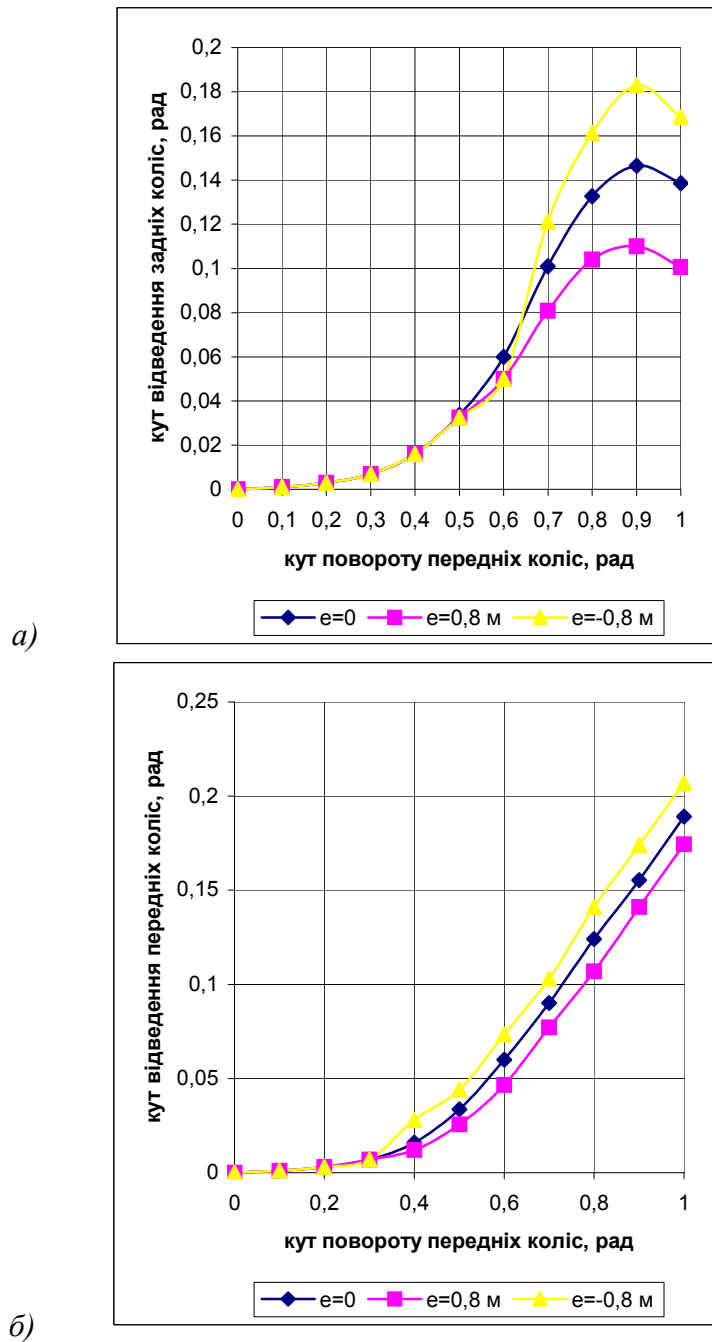


Рис. 3. Залежність кутів відведення коліс задньої осі (а) і передньої осі (б) від кута повороту керуваних коліс передньої осі

Список літератури

1. Directive 2002/7 EC of the European Parliament and of the Council of 18 February 2002. — 8 p.
2. Гранд парад больших автобусов. На автомобиле в XXI век. 5-й Российский международный автосалон. — М., 2004. — 13 с.
3. Сахно В.П., Лобас Л.Г., Барилевич Є.Л., Зав'ялова Л.І. Вплив ексцентриситету центра мас автомобіля (автопоїзда) із всеколісним керуванням на стійкість руху// Вісник: Збірник наукових праць Транспортної академії України та Українського транспортного університету. — К.: РВВУТУ, 1999. — Випуск 3. — С. 149-154.

Стаття надійшла до редакції 08.06.07

© Сахно В.П., Веремчук О.А., Горбаха М.М., Лагошна О.О., 2007