

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Омельницького Олега Євгеновича

«Поліпшення маневреності та стійкості руху метробусів»

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.22.02 – Автомобілі та трактори

Актуальність теми дисертації в цілому обґрунтована автором достатньо повно. Так, за останнє десятиліття в США, країнах Південної Америки, Туреччині, Росії та в деяких країнах Європи інтенсивно розвиваються Bus Rapid Transit (BRT) – швидкісні автобусні перевезення. BRT є результатом розвитку мережі автобусного суспільного транспорту. Рухомий склад у цій системі називають метробусом. У порівнянні з метро цей проект володіє явними перевагами: менша вартість створення мережі, менша вартість рухомого складу, мобільність та ін.

Зручність, безпека і покращена організація дорожнього руху – це далеко не все, що зможе дати пасажиром 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. Цей вид пасажирського транспорту дозволяє при менших капіталовкладеннях налагодити пасажирські перевезення на маршрутах найбільших пасажиропотоків.

На-сьогодні, у великих містах, у тому числі і Києві, існує проблема забезпечення попиту пасажирів на перевезення. Існуючі можливості громадського транспорту обмежені, і одним із головних напрямків вирішення цієї проблеми є застосування транспортних засобів великої пасажиромісткості, зокрема метробусів. Вочевидь нові АТЗ мають свої особливості, що викликає необхідність їхнього дослідження з метою вибору раціональних параметрів. Такий підхід дозволяє одержати високі показники експлуатаційних властивостей АТЗ. Тому тема дисертаційної роботи Омельницького О.Є. є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Роботу виконано відповідно до НДР “Дослідження механіки та енергетики автомобілів і автопоїздів” № держреєстрації 0104U003346 та “Теоретичні основи та практичні методи комплексного вирішення проблеми раціонального вибору дво- та триланкових автопоїздів для міжміських та міжнародних перевезень вантажів” № держреєстрації РК 0104U003341, що виконуються кафедрою “Автомобілі” Національного транспортного університету.

Структура, зміст, методологія та оформлення дисертації

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 144 найменувань, містить 12 таблиць, 54 рисунки і 3 додатки. Роботу виконано на 176 сторінках машинописного тексту, з яких 154 сторінки основного тексту.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено новизну і практичну цінність дисертаційної роботи.

Наведено інформацію про апробацію, публікацію результатів досліджень та впровадження в практику.

У першому розділі проаналізовані переваги та недоліки систем (BRT) Bus Rapid Transit. Показано, що система BRT має ряд незаперечних переваг, зокрема висока пасажиромісткість і ефективні платіжні системи забезпечують недорогий проїзд; висока швидкість пересування дозволяє метробусу перевозити вагому частку пасажиропотоку, що сприяє зменшенню кількості автомобілів на дорогах міста і, відповідно, зменшенню викидів відпрацьованих газів; розширена інформаційна система інформує пасажирів про розклад маршрутів.

На лінії метробусів, за звичай, курсують автобуси особливо великої місткості (18 чи 22, 24, 25 м), проте головною відмінністю від звичайних міських маршрутів є те, що метробуси рухаються по окремій (виділеній) полосі з меншими інтервалами.

У метробусах найбільшого поширення серед двигунів отримали дизелі, двигуни на природному газі NPG, гібридні (з дизелями та електричним двигунами), цілком електричні з автономним ходом, або електричні з зовнішнім джерелом струму (тролейбуси), або електричні з комбінованим живленням (автономний хід та зовнішнє живлення).

У системі BRT використовують дво- і триланкові автобусні поїзди (у подальшому автотранспортні засоби - АТЗ). Більш загальним випадком є використання триланкових АТЗ. Розглянуті питання маневреності і стійкості руху дво- і триланкових вантажних автопоїздів, основні закономірності руху яких можуть бути застосовані і для пасажирських автопоїздів або метробусів.

Теоретичні засади аналізу базуються на основі математичних моделей прямолінійного та керованого рухів автомобіля і автопоїзда, що розроблені для автомобілів, дво та триланкових автопоїздів [79-82, 85-108]. На їх основі отримані диференціальні рівняння збуреного руху транспортних засобів, рівняння границь стійкості прямолінійного руху автомобілів та диференціальні рівняння траєкторій характерних точок ланок автопоїзда, за допомогою яких можливо прогнозувати поведінку як керованих, так і некерованих транспортних засобів.

Аналіз літературних джерел показав, що актуальність даної роботи посилюється і тим, що зараз на часі питання можливості експлуатації триланкових автопоїздів у нашій країні, зокрема, при перевезеннях вантажів у транспортних коридорах.

На підставі проведеного аналізу сформульована тема даної дисертаційної роботи, а також мета і задачі проведеного дослідження.

У другому розділі визначені показники маневреності на жорстких і еластичних у бічному напрямку колесах. Так, для метробуса на жорстких у бічному напрямку колесах встановлено, що при неграничному повороті поворот усіх елементарних кінематичних ланок здійснюється на першій стадії послідовно, причому друга ланка забігає більш інтенсивно у внутрішню сторону повороту, збільшуючи другий кут складання у порівнянні з першим. Аналогічні змінюються і швидкості обертання ланок метробуса незалежно від режиму його повороту. Співвідношення кутів γ_0 і γ_1 в кінці першої стадії повороту складає біля 0,47, у той час як співвідношення кутів γ_2 і γ_1 становить більше одиниці. Показано, що кути складання суттєво залежать від режиму криволінійного руху метробуса. 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 керованих коліс метробуса, так як метробус займає при цьому менш “складене” положення. Нормоване значення габаритної смуги руху за реальних конструктивних параметрів триланкового метробуса з урахування усіх його можливих обмежень (бази метробуса, розташування точок зчеплення, бази причепа тощо) може забезпечити триланковий метробус з керованим другим причепом. Наявність керованого причепа показує на досить складні залежності кутів складання від кута повороту керованих коліс метробуса, проте за обраного передаточного відношення приводу управління значно зменшується зміщення траєкторії другого причепа щодо траєкторії метробуса, що дозволить зменшити ширину смуги руху для метробуса на поворотах. Урахування бічного відведення шин коліс метробуса зменшує габаритну смугу руху метробуса на еластичних у бічному напрямку колесах у порівнянні з метробусом на жорстких у бічному напрямку колесах. Так, габаритна смуга руху при русі коловою траєкторією автопоїзда з керованим другим причепом складає 6,58м, а з некерованим – 6,73м, що на 7,65 і 5,21%% відповідно менше, чим для метробуса на жорстких у бічному напрямку колесах.

У третьому розділі проаналізовано вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на показники стійкості руху метробуса. Зокрема, визначена критична швидкість руху триланкових метробусів з керованим і некерованим другим причепом та проаналізовані фактори, що впливають на її чисельне значення. Встановлено, що на підвищення критичної швидкості руху метробуса позитивно позначається зменшення коефіцієнта опору відведенню коліс керованих осей метробуса і другого причепа (наприклад, зменшення тиску повітря в шинах коліс цих осей). Аналогічно до збільшення критичної швидкості руху призводить і підвищення коефіцієнта опору відведення коліс некерованих осей причепа, зменшення відстані між центром мас метробуса і точкою його зчепки з першим причепом. Збільшення маси метробуса і першого причепа при незмінній загальній масі метробуса призводить до збільшення критичної швидкості руху автопоїзда, у той час як збільшення маси останнього причепа призводить до її зменшення.

Встановлено, що швидкість появи коливальної нестійкості метробуса, що

відповідала появі першого додатного кореня при розв'язку характеристичного рівняння, менша його критичної швидкості. За величиною цієї швидкості перевагу слід віддати автопоїзду з некерованим другим причепом. Показано, що при виконанні маневру ISO за швидкості руху метробуса $v=5$ м/с як автопоїзд з керованим другим причепом (автопоїзд №1), так і автопоїзд з некерованим другим причепом (автопоїзд №2) вписуються у нормований коридор руху. При швидкості 10 м/с уже спостерігаються коливання автопоїзда №1, які перевищують допустимі, а при швидкості 15 м/с це явище має місце і для автопоїзда №2.

Визначені бічні прискорення, що діють у центрі мас окремих ланок, шляхом розв'язку вихідної нелінійної системи диференціальних рівнянь. За величиною прискорень визначався режим руху. Режим руху вважався стійким, якщо прискорення будь-якої ланки метробуса не перевищували $4,5 \text{ м/с}^2$. Встановлено, що за швидкості 10 м/с бічні прискорення, що діють на окремі ланки автопоїзда №2 при виконанні маневру „поворот”, менші у порівнянні з автопоїздом №1 на 22... 29 %%. При виконанні маневру „ривок рульового колеса” за швидкості 10 м/с обидва автопоїзди не забезпечують стійкість руху, бо максимальні бічні прискорення у центрі мас другого причепа перевищують порогове значення – $4,5 \text{ м/с}^2$.

Показано, що при аналізі стійкості руху автопоїзда більш інформативним, ніж бічні прискорення, є коефіцієнт посилення бічного прискорення останнього причепа. Аналіз результатів розрахунку показав, що для автопоїзда №1 коефіцієнт посилення значно менший у порівнянні з автопоїздом №2, тобто за показниками стійкості у неусталених режимах перевагу слід віддати метробусу з некерованим другим причепом.

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням моделі триланкового метробуса. Сформульована мета і завдання експериментальних досліджень, описано об'єкт експериментальних досліджень для дослідження маневреності метробуса.

Модель оснащена різними електродвигунами для приводу в рух і повороту керованих коліс метробуса і другого причепа. Програма експериментальних досліджень включала визначення показників маневреності за усталеного руху по колу і повороту на 90° і зміні смуги руху як за відсутності керування колесами другого причепа, так і при їх керуванні. Проведеними експериментальними дослідженнями доведена адекватність розробленої математичної моделі для визначення показників маневреності метробуса на жорстких у бічному напрямку колесах. Максимальні відхилення траєкторії другого керованого причепа щодо траєкторії метробуса не перевищили 8,5% при коловому русі, 6,1% - при повороті на 90° , 7,2% - при виконанні маневру «переставка» і 3,5% - при прямолінійному русі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні важливої науково-практичної задачі підвищення показників маневреності і стійкості руху триланкових метробусів, зокрема:

вперше отримані якісні і кількісні оцінки ступеня впливу різних

конструктивних і експлуатаційних факторів на показники маневреності і стійкості руху триланкових метробусів різних компоновальних схем;

удосконалено багатомасову нелінійну математичну модель динаміки керованого руху триланкових метробусів різних компоновальних схем, на основі якої визначені показники їх маневреності, критичної швидкості і швидкості появи коливальної нестійкості;

отримало подальший розвиток питання порівняльної оцінки показників маневреності триланкових метробусів на жорстких і еластичних у бічному напрямку колесах.

Практичну цінність результатів досліджень складають математична модель керованого руху триланкових метробусів, методика і програма розрахунків оціночних показників і характеристик маневреності і стійкості руху таких транспортних засобів, а також результати розрахунково-теоретичних досліджень, що можуть бути використані заводами і проектними організаціями автомобільної промисловості при їх створенні як на стадії проектування, так і при їх доводці, а також рекомендації щодо покращання показників маневреності і стійкості руху триланкових метробусів, що можуть бути використані підприємствами автомобільного транспорту при оцінці можливості їх експлуатації, виборі раціонального складу, внесенні необхідних змін у конструкцію окремих ланок метробуса, а також виборі безпечних умов і режимів їх руху.

Основні наукові положення та висновки дисертації

Основним науковим положенням дисертації є системний підхід до визначення показників маневреності і стійкості руху триланкових метробусів шляхом вибору раціональної компоновальної схеми та конструктивних параметрів його причіпних ланок.

Основні висновки дисертації достатньо обґрунтовані і логічно впливають із результатів виконаних досліджень.

Перший висновок констатує вирішення важливої науково-практичної задачі підвищення показників маневреності і стійкості руху триланкових метробусів шляхом вибору раціональної компоновальної схеми та конструктивних параметрів його причіпних ланок.

Другий висновок доводить, що габаритна смуга руху метробуса на еластичних у бічному напрямку колесах з керованим другим причепом при русі коловою траєкторією автопоїзда складає 6,78м, а з некерованим – 7,43 м, що на 7,65 і 5,21%% відповідно менше, чим для метробуса на жорстких у бічному напрямку колесах. При виконанні маневру ISO за швидкості руху автопоїздів 5 м/с як метробус з некерованим, так і керованим другим причепом вписуються у нормований коридор руху. При швидкості 10 м/с уже спостерігаються коливання керованого другого причепа, а відповідно і метробуса, які перевищують допустимі, а при швидкості 15 м/с це явище має місце і для метробуса з некерованим другим причепом. Висновок має теоретичне і практичне значення.

Третій висновок показує, що для метробуса з некерованим причепом до швидкості 32,2 м/с, а для метробуса з керованим причепом до швидкості 29,0 м/с усі дійсні власні значення коренів характеристичного рівняння є від'ємними, тобто такий режим руху є стійким. При збільшенні швидкості руху метробуса з керованим причепом понад 29 м/с (до швидкості 29,2 м/с) один із коренів характеристичного рівняння став додатнім, тобто за цієї швидкості метробус з керованим причепом може втратити стійкість. Цю швидкість можна вважати критичною. Висновок мав би більше теоретичне і практичне значення у разі обмежень масових і габаритних параметрів метробуса.

Четвертий висновок констатує, що за швидкості $v=5$ м/с змінні бічна і кутова швидкості центра мас метробуса, кути відведення коліс причепів з плином часу стабілізуються, чим забезпечується стійкість його руху. При збільшенні швидкості руху до $v=15$ м/с, що відповідає випадку $v > v^*$ (v^* - швидкість появи коливальної нестійкості), для поведінки змінних характерним є зростання амплітуд коливального процесу для кутової і бічної швидкості центра мас метробуса, що призводить до порушення стійкості руху метробуса. Висновок мав би більше теоретичне значення у разі обґрунтованого вибору траєкторії руху метробуса.

П'ятий висновок зроблено на основі розрахунку бічних прискорень, що діють у центрі мас окремих ланок, за якими визначався режим руху. Режим руху вважався стійким, якщо прискорення будь-якої ланки метробуса не перевищували $4,5 \text{ м/с}^2$. Встановлено, що за швидкості 10 м/с бічні прискорення, що діють на окремі ланки метробуса з некерованим другим причепом при виконанні маневру „поворот”, менші у порівнянні з керованим метробусом на 22...29 %. При виконанні маневру „ривок рульового колеса” за швидкості 10 м/с обидва варіанти метробуса не забезпечують стійкість руху, бо максимальні бічні прискорення у центрі мас другого причепа перевищують порогове значення – $4,5 \text{ м/с}^2$. Значення висновку було б більш суттєвим у разі просторової моделі метробуса.

Шостий висновок констатує, що при аналізі стійкості руху метробуса більш інформативним, ніж бічні прискорення, є коефіцієнт посилення бічного прискорення останнього причепа. Аналіз результатів розрахунку показав, що для метробуса з некерованим другим причепом коефіцієнт посилення значно менший у порівнянні з керованим метробусом, тобто за показниками стійкості у неусталених режимах перевагу слід віддати метробусу з некерованим другим причепом.

Сьомий висновок доводить адекватність розробленої математичної моделі для визначення показників маневреності метробуса на жорстких у бічному напрямку колесах. Максимальні відхилення траєкторії другого причепа щодо траєкторії метробуса не перевищили 8,5% при коловому русі; 6,1% - при повороті на 90° ; 7,2% - при виконанні маневру «переставка» і 3,5% - при прямолінійному русі.

Недоліком першого, четвертого і шостого висновків є їх констатуючий характер.

Можна відмітити деякі інші недоліки, окрім зауважень, зроблених при аналізі висновків:

1. По першому розділу:
 - при аналізі конструкцій метробусів поза увагою автора залишився аналіз конструкцій приводів управління коліс причіпних ланок;
 - при аналізі маневреності метробусів у повній мірі не розглянуті питання їх руху заднім ходом.
2. По другому розділу:
 - на рисунку 2.4 наведені результати розрахунку кутів складання триланкового метробуса з базою метробуса $L_0=6,0$ м, базою причепів $L_1=L_2=6,39$ м і з задньою керованою віссю другого причепа за прямого приводу на цю вісь і передаточного відношення приводу управління 0,5. При цьому не вказана загальна довжина метробуса і не обґрунтована величина передаточного відношення прямого приводу управління;
 - у висновках до розділу 2.1 вказано, що нормоване значення габаритної смуги руху за реальних конструктивних параметрів триланкового метробуса з урахування усіх його можливих обмежень (бази метробуса, розташування точок зчеплення, бази причепа тощо) може забезпечити триланковий метробус, що розглядається. Тут потрібно уточнення – триланковий метробус з керованою другою ланкою.
3. По третьому розділу:
 - у виразі 3.1 не всі позначення змінних розшифровані;
 - у таблиці 3.2 наведені значення коренів характеристичного рівняння для метробуса з керованим причепом за різних швидкостей руху, з яких слідує, що до швидкості 29 м/с усі дійсні власні значення коренів характеристичного рівняння є від'ємними, тобто такий режим руху є стійким. При цьому не вказано значення критичної швидкості руху метробуса з некерованим другим причепом.
 - у висновках до цього розділу вказано, що збільшення маси метробуса і першого причепа при незмінній загальній масі метробуса призводить до збільшення критичної швидкості руху автопоїзда, у той час як збільшення маси останнього причепа призводить до її зменшення, проте не сказано, як досягти цього в процесі експлуатації.
4. По четвертому розділу:
 - розділ переобтяжений описом програмно-апаратного комплексу.

Загальний висновок

Після аналізу змісту дисертації можна в цілому зазначити:

1. Робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі, пов'язаної з підвищенням показників маневреності і стійкості руху триланкових метробусів шляхом вибору раціональної компоувальної схеми та конструктивних параметрів його причіпних ланок.
2. Дисертація є завершеною науковою працею. Об'єм дисертаційної роботи відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. При її виконанні використані сучасні методи

досліджень, а в результаті отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати та технічні рішення.

3. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

4. Мова й стиль дисертації забезпечують достатню доступність сприйняття викладених матеріалів досліджень, наукових положень, висновків. Дисертація й автореферат написані на високому рівні й оформлені відповідно до вимог Міністерства освіти і науки України.

5. Зміст та основні результати дисертації достатньо повно відображені у наукових працях, а саме: п'яти публікаціях у наукових фахових виданнях України, двох публікаціях у наукових періодичних виданнях іноземних держав, п'яти публікаціях у матеріалах конференцій.

6. Результати дисертації пройшли достатню апробацію та впровадження. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на міжнародних науково-практичних та науково-технічних конференціях: міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту» (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна, 2018 р.); VI міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 2018 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Автомобиле - и тракторостроение» (Білоруський національний технічний університет, м. Мінськ, 2018 р.); IX міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» (Херсонська державна морська академія, м. Херсон, 2018 р.); всеукраїнській науково-практичній конференції «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів» (ТОВ «МІПРО», м. Миколаїв, 2018 р.).

7. Результати дисертації можуть бути використані підприємствами автомобільного транспорту при оцінці можливості експлуатації триланкових метробусів, виборі раціонального складу, внесенні необхідних змін у конструкцію окремих ланок метробуса, а також виборі безпечних умов і режимів їх руху, а також в навчальному процесі Національного транспортного університету.

8. Зауваження щодо дисертації, наведені у відгуку, не ставлять під сумнів вихідні наукові положення та результати досліджень.

9. Дисертаційна робота Омельницького Олега Євгеновича «Поліпшення маневреності та стійкості руху метробусів» є закінченим науковим дослідженням, яке виконано на актуальну тему та містить нові рішення актуальної науково-практичної задачі, має теоретичну та практичну значимість і відповідає паспорту спеціальності 05.22.02 - «Автомобілі та трактори», а саме пункту - «Повороткість, маневреність, керованість і стійкість автопоїздів, типи приводів управління автомобільних поїздів і їх вплив на показники техніко-експлуатаційних властивостей» та вимогам Порядку присудження наукових

ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. і вимогам МОН України.

За актуальністю обраної теми, науковою новизною і практичним значенням отриманих результатів роботи, обсягу та глибині досліджень, наявності реального використання дисертаційна робота відповідає вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, а її автор Омельницький Олег Євгенович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – «Автомобілі та трактори».

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри
автомобілів і транспортних технологій
Луцький національний технічний університет  М.О. Гандзюк

Підпис канд. техн. наук,
доцента М.О. Гандзюка
завіряю:
Вчений секретар Луцького
національного технічного університету



 А.М. Земко