

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу Місько Євгена Михайловича «Поліпшення показників поворотності та стійкості руху зчленованого міського автобуса особливо великого класу», подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – «Автомобілі та трактори»

Актуальність роботи. Основною рисою розвитку сучасного суспільства в глобальних масштабах стала урбанізація. Число міст з більш ніж мільйонним населенням за останні 25 років зросло з 270 до 400. Разом з тим слід зазначити, що зростання чисельності міського населення, є основною причиною гострих транспортних проблем у містах як в країнах, що розвиваються, так і в індустріально розвинених країнах. Це приводить до різкого погіршення показників транспортного обслуговування населення, виникненню транспортних заторів, росту рівня шуму і забруднення повітряного басейну, практичного падіння швидкості пересування, зростанню енергетичних витрат, збільшенню числа жертв дорожньо-транспортних подій. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування сучасних автобусів особливо великого класу, ефективність використання яких залежить від їх здатності вписуватися в необхідну смугу руху і можливості не створювати перешкоди для транспортного потоку. Вирішення цієї проблеми реалізується за рахунок вибору відповідних конструкторських схем приводу ведучих осей, а також застосування керованих коліс причіпної секції. Вибір, аналіз і обґрунтування оптимальних конструктивних параметрів автобуса і причіпної секції є актуальним і першочерговим завданням маневреності зчленованих міських автобусів.

Представлена дисертаційна робота виконана 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» № РК 0104U003341, що виконуються кафедрою «Автомобілі» Національного транспортного університету в період з 01 грудня 2014 р. по 30 листопада 2016р.

Сформульовані в роботі наукові положення та рекомендації достатньою мірою науково обґрунтовані та підтверджуються отриманими результатами. Достовірність результатів дослідження забезпечена коректним використанням існуючих математичних методів і основних положень теоретичної механіки і теорії автомобіля, застосуванням сучасної контрольної-вимірної апаратури і засобів математичного опрацювання результатів експериментальних досліджень зчленованого автобуса і підтверджується задовільним збігом результатів аналітичних і експериментальних досліджень, а також узгодженням їх із результатами, отриманими іншими авторами.

Основний результат дисертаційної роботи полягає у вирішенні важливої науково-практичної задачі, пов'язаної з урахуванням впливу конструкторських параметрів та експлуатаційних режимів на показники маневреності та стійкості



руху автобусів особливо великого класу за різних способів прикладення тягового зусилля - або на другу вісь першої ланки, або на вісь другої ланки.

Тому одержані і винесені на захист основні положення дисертації мають наукову новизну, суть якої полягає в наступному:

- виконана верифікація нелінійної моделі зчленованого автобуса на різних рівнях та проведено її порівняння з лінійними моделями різного ступеня складності. Отримані рівняння повороткості та кута складання, аналітичні співвідношенням яких визначають множину стаціонарних станів в залежності від параметру поздовжньої швидкості та кута повороту керованих коліс. За малих значень кута повороту та поздовжньої швидкості зчленованого автобуса відповідні характеристики лінійної і нелінійної моделей співпадають, що свідчить про внутрішнє протиріччя у цих моделях;

- встановлено, що у випадку прикладання тягового зусилля до другої осі першої ланки $X_2 \neq 0$ повороткість змінюється від надлишкової до недостатньої при достатньо великих значеннях бокового прискорення центра мас першої ланки, у той час як у випадку $X_3 \neq 0$ - ведуча друга ланка, надлишкова повороткість має тенденцію до збільшення при зростанні бокових прискорень. При цьому встановлені межі втрати дивергентної стійкості моделі, які відбуваються за величини бокового прискорення $A_y = 0,4$.

- порівняльний аналіз двох варіантів прикладання тягових зусиль або до другої осі першої ланки, або до осі другої ланки приводить до однозначного висновку про більш раціональну схему, яка відповідає випадку $X_2 \neq 0$, як з точки зору повороткості і стійкості, так і реалізації меншого габаритного коридору за стаціонарних кругових рухів.

Дисертаційне дослідження має теоретичну цінність, що полягає у поліпшенні показників маневреності і стійкості зчленованих автобусів особливо великого класу шляхом вибору оптимальних конструктивних параметрів автобуса і причепа, а також раціональної схеми прикладання тягових зусиль.

Практичне значення одержаних результатів полягає в узагальненні математичної моделі просторового руху зчленованого автобуса за різних варіантів прикладання тягових зусиль або на другій осі першої ланки, або на осі другої ланки; раціональній схемі реалізації тягових зусиль на осях ланок зчленованого автобуса, яка дозволяє зменшити мінімальні радіуси повороту на 10-20% та підвищити стійкість та маневреність автобуса у неусталених режимах руху; визначенні найбільш сприятливих варіантів завантаження автобуса, які підвищують його маневреність та стійкість руху.

Результати досліджень прийняті до використання відділом конструкторських розробок та науково-технічних експертиз ДП «ДержавтотрансНДІпроект» при розробці перспективних транспортних засобів для перевезення пасажирів у великих містах.

Дисертаційна робота пройшла достатню апробацію на міжнародних та всеукраїнських наукових і науково-практичних конференціях. Дисертант опублікував 13 наукових праць, серед яких 8 статей – у фахових виданнях України та 5 тез доповідей. Дві наукові праці видано одноосібно.

Структура роботи чітка й логічно вмотивована. Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 96 позицій. Повний обсяг дисертації становить 172 сторінки, з них 160 сторінок основного тексту, 68 рисунків на 42 сторінках, 6 таблиць на 6 сторінках, список використаних джерел на 9 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформовано мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення, інформацію про публікації основних положень дисертації.

У **першому розділі «Стан питання та завдання дослідження»** розглянуто питання розвитку автобусів особливо великого класу на конкретних прикладах з оглядом особливостей конструкції та компонувальних схем. Огляд вітчизняних і закордонних публікацій по дослідженню маневреності і стійкості транспортних засобів і динамічного поведіння їхніх ланок показує на відсутність уніфікованих математичних моделей і підходів до визначення і аналізу показників маневреності і стійкості руху. Крім того, проведений аналіз визначення бічних сил відведення, що запропоновані: Д.А. Антоновим - напівемпіричний метод визначення сил відведення; Е. Fiala - «магічна формула» на основі тригонометричних функцій та сталих коефіцієнтів; І. Рокаром з гіпотезою лінійного відведення; Н. Sakai з моделю щітки. З проведеного аналізу для визначення бічних сил в роботі використовується апроксимація у вигляді дрібно-іраціональної функції, яка є розвитком лінійної теорії відведення Рокара

У **другому розділі «Побудова математичної моделі та аналіз повороткості зчленованого автобуса»** проведена верифікація нелінійної моделі на різних рівнях та порівняння нелінійної з лінійною моделями за параметрам складання, повороткості з урахуванням точки прикладання тягових зусиль ($X_2 \neq 0$ та $X_3 \neq 0$). Отримані рівняння повороткості та кута складання, аналітичні співвідношення яких визначають множину стаціонарних станів в залежності від параметру поздовжньої швидкості та кута повороту керованих коліс. За малих значень кута повороту та поздовжньої швидкості зчленованого автобуса відповідні характеристики лінійної і нелінійної моделей співпадають, що свідчить про відсутність внутрішнього протиріччя у цих моделях.

Встановлені аналітичні співвідношення, які визначають множину стаціонарних станів лінійної одноколісної моделі для випадку при $X_3 \neq 0$, коли тягове зусилля прикладається до осі другої ланки.

Порівняльний аналіз двох варіантів прикладання тягових зусиль приводить до однозначного висновку про більш раціональну схему, яка відповідає випадку $X_2 \neq 0$ – ведуча перша ланка як з точки зору повороткості і стійкості, так і реалізації меншого габаритного коридору за стаціонарних кругових рухів

У **третьому розділі «Побудова просторової математичної моделі**

зчленованого автопоїзда та аналіз повороткості для різних точок прикладання тягових зусиль» проведено і порівняльний аналіз різних моделей, який вказує на спадкоємність послідовності низки уточнень моделі від лінійної плоскої до двоколіїної просторової з урахуванням вертикальних коливань та перерозподілом вертикальних навантажень та відповідною корекцією коефіцієнтів опору відведення коліс. При цьому до $\theta = 0,2$ рад можна користуватися простою лінійною моделлю, а при більших значеннях бажано використовувати просторову модель, яка звужує області стійкості для попередніх моделей.

До вагомих здобутків Місько Є.М. у цьому розділі належить проведений аналіз просторової моделі і плоскої нелінійної моделі, в результаті якого отримані суттєві наукові висновки:

- випадок $X_2 \neq 0$, коли перша ланка ведуча, залишається більш раціональним з точки зору інтервалу стійкості на кривій повороткості;

- випадок $X_3 \neq 0$ (ведуча друга ланка) призводить до збільшення надлишкової повороткості, зростає ширина коридору для реалізації руху в стаціонарних кругових режимах (збільшується кут складання в порівнянні з випадком коли $X_2 \neq 0$).

- у порівнянні з плоскою моделлю інтервал стійкості для просторової моделі (реалізація руху зі сталим радіусом руху) – зменшується.

- з точки зору динамічних характеристик автопоїзда в кривих зі сталим кутом Акермана, розташування тягового зусилля на другій осі є більш раціональним як з точки зору покращення стійкості системи, так і зменшення величин кутів відведення на осях і відповідних бокових зусиль.

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження зчленованого автобуса» наведені результати експериментальних досліджень маневреності і стійкості руху зчленованого міського автобуса МАЗ-205 з приводом на другу вісь, які підтвердили результати математичного моделювання при вирішенні задач ідентифікації жорсткісних параметрів підвіски міського автобуса. За результатами експериментально отриманих залежностей по куту крену першої і другої ланки, що реалізувалися під час маневру повороту на 90° , його максимальне значення відповідало величині $\psi = 2^\circ$. Існуючі незначні розбіжності з розрахунками можливо пояснити нерівністю дорожнього покриття. А характер просторових затухань відповідають результатами, які отримані математичним моделюванням. Теж саме можна сказати про процес виникнення кутів тангажу при моделюванні гальмування в прямолінійному русі.

Найбільш повну картину адекватності математичної моделі просторового руху з реальним прототипом було отримано при співставленні результатів маневру «поворот на 90° ». При цьому маневрі залежності курсового кута першої ланки та кута складання між першою та другою ланками повністю підтвердилось в процесі математичного моделювання, причому вхідними параметрами, які використовувались при математичному моделюванні, були середня швидкість позовжнього руху прототипу та залежність зміни кута

повороту керованих коліс як функції часу, що були отримані відповідним датчиком під час експерименту. На виході математичної моделі ми отримували весь набір фазових змінних, серед яких були інтегральні криві кута складання та курсового кута, які повністю співали з даними натурного експерименту.

Загальні **висновки** в дисертації переконливі, логічні та у повному обсязі відображають реалізацію поставлених завдань.

Належно оцінюючи дисертаційну роботу Місько Євгена Михайловича, водночас можна висловити деякі зауваження й міркування, які, на мою думку, спонукатимуть до дискусії.

1. У першому розділі дисертації, п.1.1, наведено аналіз різних компоновальних схем шарнірно-зчленованих автобусів. При цьому вказується, що фірма MAN, а пізніше і Renault розробили автобуси з розміщенням двигуна у задній секції і приводом одночасно на колеса середньої та задньої осі – у відповідності із так званою концепцією “тягни-штовхай”. Ця схема приваблива, тому що, так само як і попередня, забезпечує курсову стійкість руху та керованість без додаткових пристроїв. Бажано було б розглянути і цю схему при проведенні подальших досліджень.

П.1.2 перевантажений визначеннями поняття «стійкість».

2. У рівняннях 2.1 і 2.2 не всі позначення розшифровані.

3. На рис. 2.4 не розшифрована поздовжня вісь (A_y ?!).

4. Не зрозуміло, як моделювалася робота протискладального пристрою автобуса ЛАЗ А691.

5. Графіки рівноважних кривих на рис. 2.7, 2.8, 2.9 до значення кута $\theta=0,5$ рад співпадають між собою, тому було б краще розпочинати ці графіки зі значення $\theta=0,5$, де розбіжності явно виражені.

6. Не зрозуміло як враховується динаміка колеса при визначенні вертикальних коливань автобуса?

7. Не зрозуміло, як враховувались реальні конструктивні особливості підвіски автобуса (зміна її геометрії) в кругових режимах руху?

8. Розділ 4 перевантажений розрахунковими формулами для визначення та ідентифікації жорсткісних характеристик підвіски.

9. При визначенні завантаження автобуса – повне або споряджена маса слід було б розглянути і деякі проміжні варіанти.

Загальні зауваження по оформленню дисертації.

Дисертацію оформлено згідно вимог МОН України. Слід відзначити чітко викладання матеріалу, добру мову написання, добре знання предмету дослідження.

Публікації

Основний зміст дисертаційної роботи повно відображено у 8 статтях, що входять до переліку ВАК України. Дві статті написані одноосібно

Загальний висновок по дисертаційній роботі

Аналізуючи зміст дисертації в цілому, можна відзначити наступне.

1. Робота присвячена вирішенню актуальної задачі, пов'язаної з урахуванням впливу компоновальних параметрів та експлуатаційних режимів на показники маневреності та стійкості руху автобусів особливо великого класу за різних способів прикладення тягового зусилля - або на другу вісь першої ланки, або на вісь другої ланки.

2. На основі аналізу отриманих закономірностей щодо маневреності та стійкості руху автопоїзда розроблена методика обґрунтованого вибору типу приводу до ведучих осей (другої або третьої) автобуса, використання якої дозволяє скоротити терміни проектно-конструкторських і доводочних робіт, а також проводити порівняльну оцінку параметрів маневреності і стійкості різних конструкцій шарнірно-зчленованих автобусів стосовно до заданих експлуатаційних умов.

3. Дисертація є закінченою науковою працею, що виконана з використанням сучасних методів дослідження, містить нові результати, впровадження яких сприяє прискоренню науково-технічного прогресу в автомобілебудуванні.

4. Автореферат і публікації достатньо повно відтворюють зміст і основні результати виконаного дослідження.

5. Зауваження по роботі, відзначені у відгуку, не ставлять під сумнів вихідні наукові положення й основні результати дослідження, що одержали достатню апробацію.

Робота відповідає вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, відповідає фаху 05.22.02 - "Автомобілі та трактори", а її автор Місько Євген Михайлович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент

кандидат технічних наук, доцент
кафедри автомобілів і транспортних технологій
Луцького національного технічного університету

В.В.Стельмашук




ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ:

Учений секретар
ЛУЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
доц. А.Земко

