

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОБУСІВ КАТЕГОРІЇ М3 ЗА ДОПОМОГОЮ ПНЕВМАТИЧНОЇ ПІДВІСКИ

У статті розглянуто важливу роль пасажирських автобусів категорії М3 у сучасному громадському транспорті та виклики, що пов'язані з їх ефективним управлінням та експлуатацією. В умовах зростання значення оптимізації витрат палива та контролю навантаження автобусів, важливо розглядати перспективи використання експлуатаційних даних з пневматичної підвіски для обчислення робочого навантаження на маршруті в умовах міської агломерації. Це дозволяє отримувати точні та надійні дані у режимі реального часу для математичної моделі, що розраховує норму витрати пального.

Дослідження включає опис та порівняння класичного методу обліку пасажиропотоку з новим підходом, який використовує дані з пневматичної підвіски. Використання пневматичної підвіски для отримання повних та достовірних даних про робоче навантаження автобуса може покращити точність розрахунків паливної витрати за допомогою математичного моделювання.

Одним з ключових аспектів є необхідність визначення робочого навантаження транспортного засобу, оскільки воно має прямий та вагомий вплив на ефективність його роботи і витрату пального.

У статті наведені аспекти реалізації методу обліку навантаження за допомогою пневматичної підвіски автобуса. Також описані додаткові переваги цього методу які можливо використати у математичному моделюванні з метою підвищення точності розрахунку норми витрати пального.

Ключові слова: Паливна економічність, математичне моделювання, оптимізація витрат, норми витрат палива, пасажирські перевезення, транспортні засоби категорії М3, пневматична підвіска, облік пасажиропотоку, експлуатація транспортних засобів.

ВСТУП

У сучасному світі транспортні засоби категорії М3 (надалі – пасажирські автобуси) відіграють ключову роль у громадському транспорті, забезпечуючи міські та міжміські перевезення тисяч пасажирів щодня. З плином часу зростає значення ефективного управління та експлуатації цих автобусів, щоб забезпечити безперебійний рух і задовольнити потреби пасажирів. В сучасних умовах виникають нові виклики, пов'язані з оптимізацією витрат палива та ресурсів, а також потребою зниження викидів. Одним із ключових аспектів є належний контроль над завантаженістю автобусів, який безпосередньо впливає на розрахунок паливної витрати та загальну ефективність перевезень.

Предметом даного дослідження є аналіз перспективності використання експлуатаційних даних з пневматичної підвіски для обчислення робочого навантаження транспортних засобів категорії М3 у міській агломерації за встановленими маршрутами. При цьому увага приділяється можливості позитивного впливу на точність обчислень паливної витрати та зменшення витрат часу, фінансів та людських ресурсів порівняно із класичним методом обліку пасажиропотоку.

Передумовою для розгляду можливості використання пневматичної підвіски для обліку навантаження на маршруті стає поява у містах автобусів з більшою пасажиромісткістю, до 100 та більше місць, що значно підвищує вплив фактору завантаженості на точність розрахунку норми витрати палива. Зокрема, відзначається, що сучасні автобуси майже усі оснащені пневматичною підвіскою, яка дозволяє вирішувати питання діагностики та контролю за нею. На сучасному ринку комерційних послуг надається можливість встановлення бортових систем зважування, які опираються на функціонування пневматичної підвіски. [1]

У світлі постійних змін у галузі громадського транспорту та необхідності вдосконалення його функціонування, цей дослід є актуальним. Він може бути корисним для операторів автобусних перевезень, місцевих органів влади та дослідницьких установ, які працюють у сфері транспортної логістики та експлуатації автобусів.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Згідно з наказом Міністерства інфраструктури України [2], встановлені базові норми витрати палива для дорожньо-транспортних засобів. Однак більшість існуючих моделей автомобілів не включена до цього документу. У зв'язку з цим виникає потреба у використанні альтернативних методів визначення норм витрати палива для транспортних засобів. Пропонується розраховувати значення базової норми витрати палива за допомогою математичних моделей, які базуються на технічних характеристиках автомобіля, доступних з відкритих джерел.

Науковці, такі як Чудаков Є.А., Говорущенко М.Я., Маяк Н.М., Зимелев Г.В., Висоцький М.С., Сахно В.П., Токарев А.А., Фаробін Я.Є., Великанов Д.П., Фалькевич В.С. та інші, займалися розробкою детермінованих методів оцінки паливної економічності автомобілів на дорозі, що враховували конструкцію та умови експлуатації транспортних засобів. На основі робіт зазначених науковців до цього часу проводяться дослідження в галузі паливної економічності.

У роботі [3] наведено результати математичного моделювання руху пасажирського автобусу за заданим маршрутом. Модель, що застосовується у цій роботі, здатна охоплювати не лише технічні параметри роботи транспортного засобу, а й додавати до обчислень параметри навколишнього середовища в експлуатаційній зоні. Додатковою складовою цієї моделі є можливість відслідковувати технічний стан ТЗ за зміною його паливної витрати використовуючи контрольні карти Шухарта.

У літературі [4;5] наведені приклади, що охоплюють різні підходи до математичного моделювання, включаючи мікроскопічне, аналітичне, емпіричне та змінне моделювання, які використовуються для розрахунку споживання палива автомобільними транспортними засобами.

Одним із об'єднуючих факторів для цих моделей є необхідність визначення робочого навантаження транспортного засобу. [3] Зі збільшенням навантаження відбуваються ряд процесів, які мають значний вплив, наприклад, збільшення площі контакту автомобільної шини з дорожнім покриттям призводить до збільшення опору і, відповідно, збільшення витрат пального. Крім того, зі збільшенням навантаження автомобільна шина витрачає більше енергії на пружну деформацію, що також сприяє збільшенню споживання палива. [6]

Ці процеси наочно демонструють важливість розрахунку навантаження транспортного засобу, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність його роботи та витрату пального.

На зображенні 1.1 зображено вплив різних чинників на витрату палива. Звертає на себе увагу те, що найбільший внесок у загальну витрату палива становить опір коченню коліс, який складає 42,2% [7], і саме цей аспект є ключовим для нашого дослідження.

Враховуючи тенденції до збільшення пасажиромісткості автобусів громадського транспорту параметр навантаження набуває більшої ролі у моделюванні паливної витрати. З цього і постає проблематика, яка стала рушієм до вивчення перспективи використання пневматичної підвіски автобуса для моніторингу його завантаженості.

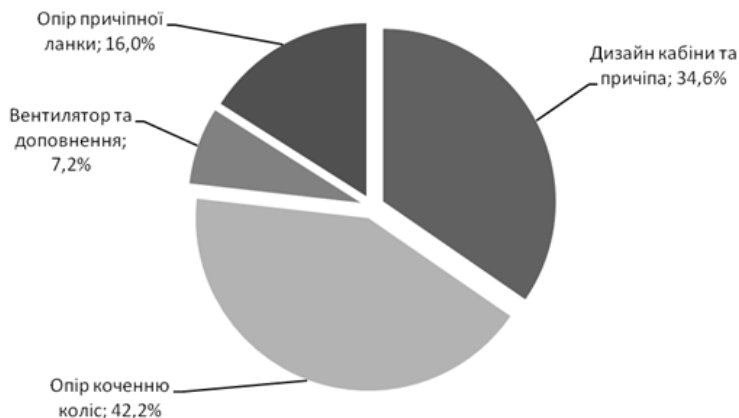


Рисунок 1 Вплив на паливну економічність різних факторів [7]

У стосунку до пасажирських автобусів, зазвичай, використовується метод обстеження пасажиропотоку, що дозволяє розробити схему завантаженості на різних ділянках маршруту та розділити операційні зони за параметром навантаження для підвищення точності математичної моделі. Альтернативною методикою, яка застосовується у літературі [3] є розрахунок завантаженості автобусу базуючись на його повній масі. Розрахунок проводиться із припущень про найбільш ймовірне завантаження на маршруті пасажирами та перемножується на прийнятну середньостатистичну вагу одного пасажера – 68 кг. [8] Цей метод є найменш затратним, проте він допускає накопичування статистичної похибки у випадку, коли застосування моделі для обчислення паливної витрати застосовується як інструмент діагностики автобуса за критерієм зміни його фактичної витрати палива відносно розрахункової. Проте ця проблема вирішується за допомогою методу обліку пасажиропотоку який дозволяє коригувати дані для використання у моделі розрахунку витрати пального.

Отже на основі вище викладеного матеріалу ми можемо описати проблему:

Проблема – чи є можливість отримувати постійне та повне відслідковування даних у режимі реального часу про завантаженість автобуса на ділянках маршруту з метою своєчасного коригування вихідних параметрів математичної моделі для розрахунку норми витрати палива.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є визначення можливості та доцільності використання експлуатаційних даних пневматичної підвіски для контролю за завантаженістю автобуса під час його роботи.

Завданням є порівняння усталеного класичного методу обліку пасажиропотоку із запропонованим методом використання пневматичної підвіски з метою отримання даних про робоче навантаження автобуса.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Облік пасажиропотоку - це процес збирання, аналізу та оцінки даних про кількість пасажирів, які користуються транспортним засобом (наприклад, автобусом, трамваєм, метро тощо) протягом певного періоду часу на певному маршруті або в певній географічній області. Цей процес може включати вимірювання пасажиропотоку за допомогою різних методів, таких як підрахунок пасажирів на зупинках, використання електронних систем обліку, опитування або спостереження. Облік пасажиропотоку є важливою складовою для планування та оптимізації маршрутів та розкладів громадського транспорту, а також для визначення рівня обслуговування пасажирів та встановлення тарифів. Додатково цей процес надає відомості про завантаженість ТЗ, що в подальшому можна визначити як параметр ваги, що перевозиться.[9]

За розповсюдженим сценарієм люди виступають у ролі обсерваторів для збору даних про пасажиропотік. Цей підхід полягає в тому, що спеціально навчені обсерватори перебувають на транспортному засобі (наприклад, автобусі, трамваї або метро) протягом певного часу та реєструють кількість пасажирів, їх рух та інші відомості, якщо такі передбачені завданням.

З наукової точки зору, цей метод дозволяє отримати детальні дані про пасажиропотік, враховуючи такі параметри, як час доби, місце та напрямок подорожі, а також загальну завантаженість ТЗ. Це може забезпечити більш високу точність та достовірність отриманих даних, оскільки можна виявити специфічні особливості обстановки та умов проїзду, які можуть впливати на пасажиропотік.

Цей метод також дозволяє врахувати різноманітні сценарії подорожей та взаємодії пасажирів з ТЗ, що може бути корисним для планування та оптимізації маршрутів та розкладів громадського транспорту. Такий підхід може бути особливо ефективним у випадках, коли електронні системи або інші автоматизовані методи збору даних недостатньо ефективні або не можуть бути застосовані з різних причин, таких як обмежена доступність технічних засобів або складні умови дослідження.

Попри це, облік пасажиропотоку не є методом, що може застосовуватись регулярно у коротких термінах через потребу у залученні значної кількості обліковців. Тому, якщо, стоїть завдання отримувати лише дані про завантаженість ТЗ для математичної моделі, з'являється питання доцільності застосовувати такий обширний інструмент як обстеження пасажиропотоку.

Виходячи із цього, автор розглядає наступне питання: чи можна використати пневматичну підвіску для збору даних про завантаженість?

Пневматична підвіска - це система підвіски транспортного засобу, у якій накачуваний повітрям пневмобалон із прогумованого матеріалу виконує функцію пружних елементів [1]. Основним складовим елементом такої підвіски є пневмосистема, що включає компресор, резервуари, клапани, датчики рівня та трубопроводи для подачі повітря до кожного демпфера. Ця система може працювати як самостійна система амортизації або співпрацювати з традиційними системами (ресорною, пружинною, торсійною) на транспортних засобах. Схематично пневматичну підвіску показано на рисунку 2

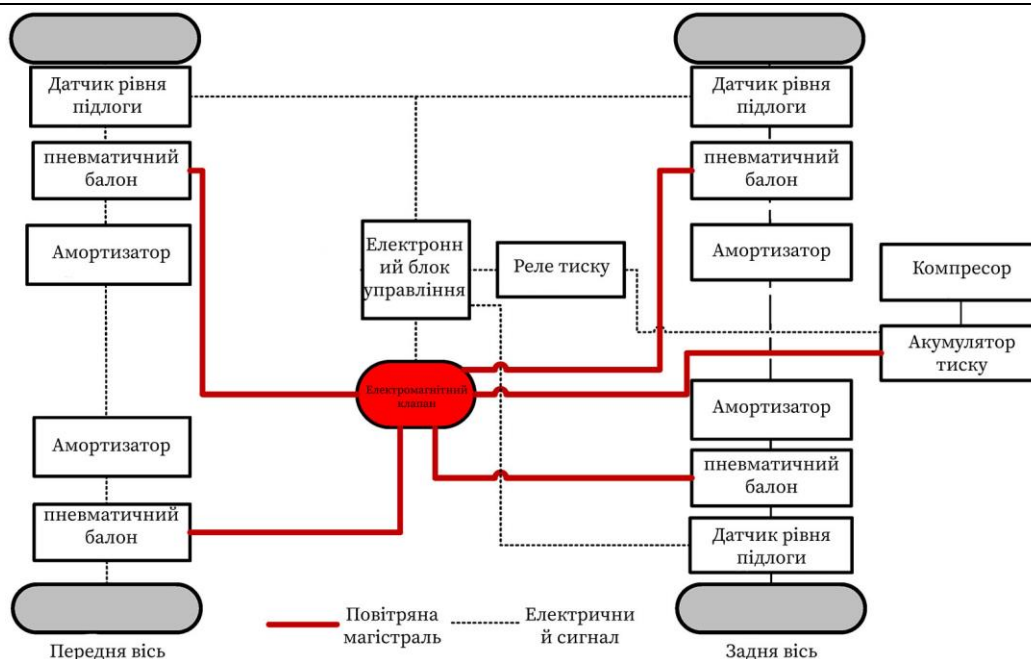


Рисунок 2 – Схема пневматичної підвіски

Теоретично це має сенс, до того ж нам уже відомі випадки де на практиці подібні системи мають використання. Одна із сфер для такого застосування – вантажні перевезення.[1;10] На ринку є в доступі системи, що працюють разом із пневматичною підвіскою вантажівок. Такі системи можна знайти за запитом «Бортові системи зважування».

Бортова система зважування – це спеціалізоване обладнання, встановлене на вантажних автомобілях, яке призначене для вимірювання навантаження на кожну вісь, причіп, а також загальної ваги автомобіля. [1;10]

Принцип дії бортової системи зважування полягає в тому, що вона використовує дані від датчиків, що фіксують зміни в підвісці транспортного засобу. Ці дані калібрують систему зважування та дозволяють вимірювати навантаження на осі автомобіля. Інформація про навантаження виводиться на індикатор у кабіні водія або на мобільний пристрій через спеціальний додаток. [1;10]

Її переваги:

- 1.Точність вимірювань: система надає значення навантаження з точністю від 1 до 3% від загальної маси автомобіля;
- 2.Потік актуальних даних: система здатна працювати безперебійно протягом тривалого терміну експлуатації, що може забезпечити постійне надходження даних для коригування моделі витрат пального;
- 3.Спрощення контролю: інформація про навантаження може бути легко доступною на індикаторі або мобільному пристрої;
- 4.Ефективне управління: дані про навантаження можуть зберігатися для подальшого аналізу та обробки;
- 5.Сумісність з GPS: система може бути інтегрована з системами GPS-моніторингу для стеження за транспортними засобами та вантажами.

У використанні бортових систем зважування на пасажирських автобусах виникають ряд технічних та функціональних складнощів, які варто розглянути. Перш за все, ці системи пристосовані для стабільних умов навантаження, що відрізняється від динамічного характеру завантаження пасажирського автобуса. Особливості конструкції кузова автобуса, такі як передня та задня платформи на значній відстані від осі, а також системи підтримки кузова, ускладнюють точне вимірювання навантаження. У свою чергу, ці обмеження вимагають розробки складних алгоритмів обчислення та визначення точок маршруту, де можливе якісне вимірювання.

Важливо, щоб під час вимірювання автобус перебував на рівній площині та залишався нерухомим, або підтримував прямолінійний рух з сталою швидкістю на рівній поверхні, також процес посадки та висадки пасажирів, коли кузов автобуса змушений опускати праву сторону та піднімати ліву, теж не можна використовувати для зняття точних даних. Без відповідного врахування

цих факторів система не зможе надати достатньо точних даних про завантаження автобуса, що може негативно вплинути на точність розрахунків паливної витрати в подальшому при розрахунку математичної моделі.

У випадку, коли ці вимоги не дотримані, система не зможе із достатньою точністю надавати дані про завантаження автобуса, що в свою чергу знизить, в подальшому, точність розрахунку паливної витрати за математичною моделлю.

Найважчі і додаткові складнощі у використанні цього підходу, а саме питання про використання програмного забезпечення та датчиків. Оскільки пасажирські автобуси є продуктом комерційного ринку, вони використовують своє програмне забезпечення для роботи із внутрішньою електронікою. Подібне ПЗ не можна знайти у відкритому доступі, що може ускладнити здійснення запропонованого методу. Також не усі автобуси, які присутні на ринку перевезень, оснащені штатними датчиками тиску.

З цих причин існує розповсюджений варіант – модернізація ТЗ. Комерційні послуги по встановленню бортової системи зважування пропонують встановлювати власні датчики тиску в повітряні магістралі, та застосовують власне ПЗ яке працює з цими датчиками. У такому варіанті можливе застосування смартфона на базі ОС Android в якості бортового комп'ютера. Пропозиції, по оснащенню ТЗ, вимагають суттєвих витрат капіталу обумовлених вартістю датчиків, ПЗ та послуг із встановлення апаратури на ТЗ з подальшим її калібруванням.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Серед двох розглянутих методів, явним лідером є метод обліку пасажиропотоку. Проте варто зауважити, що цей метод складається з об'ємних модулів його реалізації, таких як планування дослідження, організація дослідження, залучення людей в оптимальній кількості, а потім аналіз отриманих даних. Для створення повної карти завантаження автобуса по його робочому маршруту також потрібно враховувати фактори, які впливають на зміну пасажиропотоку за межами факторів добового циклу, а саме: сезонні зміни пасажиропотоку, зміни внаслідок погодних умов, та зміни, пов'язані зі святами. Це змушує планувати цикл дослідження, яке здатне охопити експлуатаційний рік, та мати змогу оперативно реагувати на зміну погодних умов для охоплення змін пасажиропотоку.

У випадку проведення такого широкомасштабного дослідження є змога отримати повні карти робочого навантаження автобуса за ділянками усталених маршрутів залежно від експлуатаційних умов, що може позитивно відобразитись на результаті обрахунку паливної витрати. З іншого боку, використання методу отримання експлуатаційних даних з пневматичної підвіски автобуса може забезпечити постійний моніторинг змін у навантаженні. Це також є реалізацією задуму про постійний моніторинг змін, що дозволяє оперативно коригувати модель розрахунку витрати пального та своєчасно відслідковувати зміни у технічному стані автобуса з метою підтримки автобуса у справному стані. Ще однією перевагою цього методу є можливість ввести в розрахунок додатковий параметр - коефіцієнт нерівності дорожнього покриття, що як додаткова змінна під час розрахунку може підвищити точність моделі. [11]

З наукової точки зору, достоїнством такого методу є перспектива розраховувати навантаження на осі і на основі цього проводити дослідницьку діяльність над задачами зміни площі контакту шини з дорожнім покриттям в різних варіантах завантаження автобуса. Таким чином відкривається змога працювати з шинами з метою підбору оптимальних їх варіантів за експлуатаційними показниками в залежності від типового характеру завантаження автобуса по осях.

ВИСНОВКИ

Встановлення системи зважування на автобусі, яка ґрунтується на пневматичній підвісці, можливе. Якщо вирішити технічні питання, викладені у статті, ця система забезпечить регулярний, стабільний та дистанційний потік даних про завантаження транспортного засобу, які можна використовувати для розрахунків паливної витрати за математичною моделлю. При цьому не буде потрібно залучати людські ресурси для обліку пасажиропотоку. Однак, вартість розробки, або придбання такої системи породжує сумніви щодо її економічної вигоди порівняно з методом обліку пасажиропотоку, який є вже звичним і ефективним.

Класичний метод обліку пасажиропотоку є досить надійним і ефективним з значно меншими витратами капіталу, який дозволяє отримувати достатньо повну інформацію. Враховуючи швидкий розвиток систем обліку пасажиропотоку на основі медіаданих від камер в салоні, доцільність впровадження бортової системи зважування за допомогою пневматичної підвіски залишається під питанням. Таким чином, на цей час класичний метод обліку пасажиропотоку залишається провідним у забезпеченні даних про завантаженість автобуса. Однак з точки зору дослідницької діяльності

використання пневматичної підвіски з метою обліку завантаженості автобусу виглядає цікавим та перспективним.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бортова система зважування автомобіля - Купити бортові ваги на вантажівку - vis.ua. Ваговимірювальні системи – ваги від виробника, м. Дніпро. URL: <https://vis.ua/product/sistemy-bortovogo-vzveshivaniya-avtomobilya/> (дата звернення: 01.05.2024).
2. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. – 3-я ред., доп. та переробл. / Нормативний документ, затверджений Міністерством інфраструктури України 07.10.2011. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2012. – 120 с.
3. Савостін-Косяк Д. О. Оцінка технічного стану міських автобусів за показником витрати палива. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Національний транспортний університет, Київ, 2019.
4. Mohd Khairi, D., Abas, M. A., Muhamad Said, M. F., & Wan Saiful-Islam Wan Salim. (2021). Fuel consumption mathematical models for road vehicle – A review. Progress in Energy and Environment, 16, 59–71. Retrieved from <https://www.akademiabaru.com/submit/index.php/progee/article/view/3392>
5. Колодницька, Р. В. (2023). Моделювання витрати палива альтернативних дизельних палив для автомобільного транспорту . Технічна інженерія, (1(91), 3–9. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-3-9](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-3-9)
6. Ісак О. С., Ларін О. О. Визначення характеристик жорсткості пневматичних шин методами комп'ютерного тривимірного моделювання. Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування : збірник наукових праць. 2015. №3 (75) С. 95–103. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/17258>
7. Файчук Микола Іванович. Стійкість сидельних автопоїздів з урахуванням кутів встановлення осей напівпричепа. – дис...канд. техн. наук : 05.22.02. Київ, 2013. – 200 с.
8. Про затвердження Порядку затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та обладнання та Порядку ведення реєстру сертифікатів типу транспортних засобів та обладнання і виданих виробниками сертифікатів відповідності транспортних засобів або обладнання : Наказ М-ва інфраструктури України від 17.08.2012 р. № 521 : станом на 8 верес. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1586-12#Text> (дата звернення: 20.04.2024).
9. Організація автомобільних перевезень: навчальний посібник / Кашканов В.А., Кашканов А. А., Варчук В. В. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 139 с.
10. RappTrans (2013) Study on heavy vehicle on-board weighing, Final report, Basel, December 2013. <http://www.transportenvironment.org/publications/weight-sensors-lorries-effective-affordable-reliable>
11. Слатов І. Підвищення точності визначення норми витрати палива пасажирським автобусом шляхом впровадження вагового контролю на маршруті. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : Матеріали XVI-ої Міжнар. науково-практ. конф., м. Вінниця, 23 жовт. 2023 р. Вінниця, 2023. С. 325–328.

REFERENCES

1. Bortova systema zvažuvannia avtomobilia - Kupyty bortovi vahy na vantazhivku - vis.ua. (undated). Vahovymiriuvalni systemy – vahy vid vyrobnyka, m. Dnipro. <https://vis.ua/product/sistemy-bortovogo-vzveshivaniya-avtomobilya/>
2. Normy vytrat palyva i mastylnykh materialiv na avtomobilnomu transporti. (2012). Kyiv: DP «DerzhavtotransNDIproekt».
3. Savostin-Kosiak, D. O. (2019). Otsinka tekhnichnoho stanu miskykh avtobusiv za pokaznykom vytryaty palyva. Kvalifikatsiina naukova pratsia na pravakh rukopysu. Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk za spetsialnistiu 05.22.20 «Ekspluatatsiia ta remont zasobiv transportu». Natsionalnyi transportnyi universytet, Kyiv.
4. Mohd Khairi, D., Abas, M. A., Muhamad Said, M. F., & Wan Saiful-Islam Wan Salim. (2021). Fuel consumption mathematical models for road vehicle – A review. Progress in Energy and Environment, 16, 59–71. Retrieved from <https://www.akademiabaru.com/submit/index.php/progee/article/view/3392>
5. Kolodnytska, R. V. (2023). Modeliuvannia vytryaty palyva alternatyvnykh dyzelynykh palyv dlia avtomobilnoho transportu . Tekhnichna inzheneriia, (1(91), 3–9. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-3-9](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-3-9)

6. Isak, O. S., & Larin, O. O. (2015). Vyznachennia kharakterystyk zhorstkosti pnevmatychnykh shyn metodamy kompiuternoho tryvymirnogo modeliuvannia. Visnyk NTUU «KPI». Mashynobuduvannia : zbirnyk naukovykh prats., 3(75), 95–103. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/17258>

7. Faichuk, M. I. (2013). Stiikist sidelnykh avtopoizdiv z urakhuvanniam kutiv vstanovlennia osei napivprychepa (Publikatsiia № PA402484) [Dys. kand. tekhn. nauk, Natsionalnyi transportnyi universytet]. Natsionalna biblioteka Ukrainy imeni V. I. Vernadskoho.

8. Pro zatverdzhennia Poriadku zatverdzhennia konstruksii transportnykh zasobiv, yikh chastyn ta obladnannia ta Poriadku vedennia reiestru sertyfikatyv typu transportnykh zasobiv ta obladnannia i vydanykh vyrobnykamy sertyfikatyv vidpovidnosti transportnykh zasobiv abo obladnannia, Nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy № 521 (2023) (Ukraina). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1586-12#Text>

9. Kashkanov, V. A., Kashkanov, A. A., & Varchuk, V. V. (2017). Orhanizatsiia avtomobilnykh perevezen: navchalnyi posibnyk. Vinnytsia: VNTU.

10. RappTrans (2013) Study on heavy vehicle on-board weighing, Final report, Basel, December 2013. <http://www.transportenvironment.org/publications/weight-sensors-lorries-effective-affordable-reliable>

11. Slatov, I. (2023). Pidvyshchennia tochnosti vyznachennia normy vytraty palyva pasazhyrskym avtobusom shliakhom vprovadzhennia vahovoho kontroliu na marshruti. U Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu (s. 325–328). VNTU.

Slatov I.M., Fuel efficiency optimization of category M3 passenger buses using pneumatic suspension

The article examines the important role of M3 category passenger buses in modern public transport and the challenges associated with their efficient management and operation. In the context of increasing importance of fuel cost optimization and bus load monitoring, it is crucial to consider the prospects of using operational data from pneumatic suspension to calculate the working load on the route in urban agglomerations. This allows obtaining accurate and reliable real-time data for the mathematical model calculating fuel consumption rates.

The research includes a description and comparison of the conventional passenger flow calculation method with a novel approach utilizing pneumatic suspension data. Employing pneumatic suspension to acquire comprehensive and reliable bus load data can enhance the accuracy of fuel consumption calculations through mathematical modeling.

One of the key aspects is the necessity to determine the working load of the vehicle, as it directly and significantly influences its efficiency and fuel consumption. The article also outlines the implementation aspects of the load calculation method using pneumatic suspension of the bus, along with additional advantages of this method applicable in mathematical modeling to improve the accuracy of fuel consumption rate calculations.

Keywords: Fuel efficiency, mathematical modeling, cost optimization, fuel consumption rates, passenger transportation, M3 category vehicles, pneumatic suspension, passenger flow analysis, vehicle operation.

СЛАТОВ Іван Миколайович, аспірант II року навчання, Луцький Національний Технічний Університет, Факультет Транспорту та Механічної Інженерії, e-mail: ivan.slatov97@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0008-0821-5774>

Ivan SLATOV, PhD student (second year), Lutsk National Technical University, Faculty of Transport and Mechanical Engineering, e-mail: ivan.slatov97@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0008-0821-5774>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1373