

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Савостін-Косяк Данило Олександрович



УДК 629.341:629.017

**ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ
ЗА ПОКАЗНИКОМ ВИТРАТИ ПАЛИВА**

Спеціальність: 05.22.20 – «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті (НТУ) Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Сахно Володимир Прохорович,
Національний транспортний університет, м. Київ,
завідувач кафедри «Автомобілі».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кравченко Олександр Петрович,
Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир,
завідувач кафедри «Автомобілі і транспортні технології»;

кандидат технічних наук, доцент
Мурований Ігор Сергійович,
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк,
завідувач кафедри «Автомобілі і транспортні технології».

Захист відбудеться "25" жовтня 2019 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, аудиторія 333.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий "17" вересня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.В. Ковбасенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

Актуальність теми. Автомобільний транспорт є одним з основних та найбільш поширених видів пасажирського транспорту країни, який обслуговує транспортні потреби населення в міських, приміських та міжміських перевезеннях, у переважній більшості, автобусами. Забезпечення роботоздатності рухомого складу автобусних парків та підтримання його в належному технічному стані при раціональних витратах всіх видів ресурсів, нормативних рівнях дорожньої та екологічної безпеки, дотримуючись визначених законодавством умов праці персоналу, є одним з основних завдань технічної експлуатації, як галузі практичної діяльності. Останнім часом спостерігається тенденція до стрімкого поширення дистанційних систем контролю технічного стану транспортних засобів. Що ж стосується моніторингових систем, які доступні для встановлення на міські автобуси на території України, більшість з них має досить обмежений функціонал та пропонує можливість обліку витрати палива шляхом встановлення додаткових датчиків у систему живлення та контролю швидкісних режимів і маршруту руху через GPS передавач, в той час як оцінка технічного стану залишаються поза увагою. Частковим вирішенням представлених проблем може стати пошук методики оцінки технічного стану міських автобусів за узагальненим критерієм, який достатньо чутливий до змін технічного стану. Одним із таких критеріїв може бути шляхова витрата палива в літрах на 100 кілометрів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Представлена дисертаційна робота є завершеним дослідженням, що виконане автором згідно з планами науково-дослідних робіт НТУ в рамках наукової теми кафедри «Підвищення ефективності роботи підприємств автомобільного транспорту шляхом удосконалення виробничих процесів, систем технічного обслуговування та покращення експлуатаційних характеристик дорожніх транспортних засобів» (№ держ. реєстрації 0114U000120).

Мета дослідження – оцінка технічного стану міських автобусів категорії М3 класу І за показником витрати палива.

Завдання дослідження Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися такі завдання:

1. Аналіз можливості оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива.
2. Розробка методики визначення витрати палива, як ключового критерію для оцінки змін у технічному стані міських автобусів.
3. Розробка методики та критеріїв прийняття рішення про наявність відхилення у технічному стані міських автобусів за показником витрати палива.
4. Проведення оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива у визначених умовах експлуатації.
5. Встановлення впливу характерних несправностей міських автобусів на витрату палива за запропонованою методикою.
6. Розробка рекомендацій щодо впровадження та використання методики оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива в умовах діючих підприємств.

Об'єкт дослідження: процес зміни технічного стану міських автобусів під час експлуатації.

Предмет дослідження: взаємозв'язок між технічним станом та витратою палива міських автобусів категорії М3 класу І.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети були використані такі теоретичні методи дослідження як аналіз, індукція, апроксимація експериментальних даних та формалізація залежностей витрати палива від температури навколишнього середовища та періоду експлуатації. Серед емпіричних методів дослідження було використано експеримент, прямі вимірювання, спостереження та математичне моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання оцінки технічного стану міських автобусів категорії М3 класу І за показником витрати палива.

Вперше встановлено взаємозв'язок типових несправностей міських автобусів, що виникають в процесі їх експлуатації, з витратою палива, враховуючи особливості маршруту, температуру навколишнього середовища та зміни технічного стану внаслідок нормального використання за призначенням.

Удосконалено методику розрахунку витрати палива міськими автобусами шляхом урахування особливостей умов експлуатації на конкретному маршруті.

Отримало подальший розвиток застосування контрольних карт Шухарта для виявлення відхилень у технічному стані міських автобусів за показником витрати палива.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено рекомендації щодо виявлення несправностей міських автобусів за критерієм витрати палива, в основу якої покладено використання контрольних карт Шухарта та яка враховує особливості конкретного маршруту експлуатації, кліматичні умови та зміни технічного стану внаслідок нормального використання за призначенням.

Результати досліджень прийняті до впровадження Державним підприємством «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (м. Київ), Автобусним парком №2 КП «Київпастранс» (м. Київ) та в навчальному процесі Національного транспортного університету (м. Київ) при підготовці фахівців спеціальності 274 «Автомобільний транспорт».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, подані до захисту, отримано здобувачем самостійно та опубліковано у 8 наукових працях. Роботи [1, 8] виконані одноосібно. У роботах, виконаних у співавторстві, здобувачу належить: аналіз засобів моніторингу технічного стану транспортних засобів та розробка класифікаційної схеми способів моніторингу технічного стану транспортних засобів за періодичністю контролю параметрів [2]; порівняльний аналіз методів нормування витрати палива та експериментальне визначення параметрів маршруту [3]; розрахунки за математичною моделлю Physical Emission Rate Estimator (PERE) [5]; збір експериментальних даних про витрату палива автобусами МАЗ 203.065 і МАЗ 203.069, аналіз графічних залежностей витрати палива від терміну експлуатації автобуса та формалізація рівняння для

коефіцієнту коригування витрати палива за терміном експлуатації [4]; експериментальне дослідження витрати палива міськими автобусами різних років експлуатації [6]; визначення характеру впливу температури навколишнього середовища на витрату палива міськими автобусами [7].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації були представлені та отримали позитивну оцінку на: міжнародній науково-технічній конференції «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин» (с. Волосянка, Львівська обл., Україна, 2017 р.); міжнародній науковій конференції «Systemy i srodki transportu samochodowego. SAKON 17» (м. Жешув, Польща, 2017 р.); LXXIV науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, Україна, 2018 р.); міжнародній науковій конференції «Systemy i srodki transportu samochodowego. SAKON 18» (м. Жешув, Польща, 2018 р.); 17-ій міжнародній науково-технічній конференції «Наука – образованию, производству, экономике» (м. Мінськ, Білорусь, 2019 р.); LXXV науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, Україна, 2019 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано у 8 наукових працях, у тому числі: 4 – у наукових фахових виданнях України, 2 – в закордонних виданнях, 2 – у матеріалах вітчизняних науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить: вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел (119 найменувань), додатки. Дисертаційна робота викладена на 174 сторінках машинописного тексту, проілюстрована 43 рисунками та 30 таблицями. Основна текстова частина становить 115 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета, задачі, об'єкт і предмет дослідження, викладені наукова новизна, практичне значення, інформація про апробацію та публікацію основних положень дисертації.

У першому розділі проведено аналіз особливостей умов експлуатації міських автобусів, впливу транспортних, дорожніх та природно-кліматичних умов на технічний стан транспортних засобів, результатів попередніх досліджень, які ілюструють взаємозв'язок технічного стану транспортних засобів з витратою палива, підходів до нормування витрати палива в умовах експлуатації, сучасних форм та способів організації моніторингу технічного стану транспортних засобів, методів контролю витрати палива та паливної економічності.

За результатами аналізу особливостей умов експлуатації та попередніх досліджень щодо їх впливу на технічний стан та витрату палива встановлено, що:

– міські автобусні пасажирські перевезення характеризуються досить специфічними умовами експлуатації і врахування максимально повної кількості

факторів, які визначають ці умови, дозволить більш точно виявляти характерні зміни технічного стану рухомого складу;

- витрата палива є достатньо чутливим показником як до зміни технічного стану транспортного засобу, так і до особливостей умов експлуатації;

- деякі з існуючих підходів до нормування витрати палива в процесі експлуатації не враховують ряд параметрів умов експлуатації в той час як деякі з них є досить складними та потребують значних витрат часу або статистичної інформації, що обмежує сферу їх застосування;

- розвиток інформаційних технологій та їх доступність широкому загалу дозволяє перейти до нових моделей контролю технічного стану рухомого складу, які базуються на безперервному спостереженні за ключовими експлуатаційними параметрами, що дає можливість оперативно реагувати на їх зміну та попереджувати ряд несправностей.

Встановлено, що перспективним напрямком реалізації концепції безперервного контролю технічного стану міських автобусів є використання методики виявлення несправностей за показником витрати палива.

У другому розділі визначена загальна методика оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива.

За результатами кількісного аналізу рухомого складу КП «Київпастрас» було встановлено, що переважну більшість формують автобуси категорії МЗ класу І марки МАЗ, зокрема, МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069.

Спираючись на тенденції у зміні експлуатаційних параметрів транспортного засобу, які відбуваються в процесі його використання за призначенням при дотриманні регламенту та періодичності технічних обслуговувань, а також на результати досліджень витрати палива автомобілями впродовж їх життєвого циклу, було запропоновано використовувати контрольні карти Шухарта для контролю витрати палива міських автобусів в процесі експлуатації та прийняття рішення щодо зміни їх технічного стану на основі даного показника.

Принцип побудови контрольних карт. Припустимо, що послідовно беруться вибірки обсягу n , і для кожного їх елементу вимірюється характеристика x . Для всіх вибірок обчислюються середнє арифметичне \bar{x} і розмах варіювання R досліджуваних значень. Позначимо ці величини для i -ї вибірки через x_i . Значення \bar{x}_i відкладаються на одній карті, R_i – на іншій. Середнє арифметичне всіх R , \bar{R} , помножене на константу, що залежить від обсягу вибірки, використовується потім як оцінка $u_{1-\alpha/2}\sigma_{\bar{x}}$. Ця величина, в свою чергу, додається до загальної середньої $\bar{\bar{x}}$ і віднімається від неї. В результаті виходять межі регулювання: $\bar{\bar{x}} \pm$ (оцінка $u_{1-\alpha/2}\sigma_{\bar{x}}$).

По k вибіркам обсягу n обчислимо математичне очікування сукупності $E(X)$.

$$E(X) = k^{-1} \sum_i \bar{x}_i = (kn)^{-1} \sum_{i,j} x_{i,j} . \quad (1)$$

Даному математичному очікуванню відповідає так звана *центральна лінія* (ЦЛ). Оскільки поступові відмови, для яких доцільно застосовувати профілактичні заходи,

підпорядковуюються нормальному закону розподілу, межами регулювання служитимуть значення $3\sigma_{\bar{x}}$, відкладені вгору і вниз від \bar{x} . Для отримання $3\sigma_{\bar{x}}$ -меж були розраховані таблиці величин A_2 , що залежать від обсягу вибірки і таких, що $A_2\bar{R}$ відповідає значенню $3\sigma_{\bar{x}}$. Верхня (ВКМ) і нижня (НКМ) межі карти рівні:

$$\bar{x} \pm A_2\bar{R}, \quad (2)$$

$$\text{де } \bar{R} = k^{-1} \sum_i R_i.$$

Критерії виявлення несправностей. Основним критерієм є «Правило Шухарта», згідно якого спеціальний чинник, наявність якого робить виробничу систему нестабільною, присутній тоді, коли значення контрольованого параметру виходить за межі будь-якої з контрольних границь. Крім того, згідно з критеріями Нельсона сигналом наявності спеціального чинника також є розташування 9 точок поспіль з однієї сторони центральної лінії, або безперервне збільшення чи зменшення контрольованої величини в 6 послідовних точках.

Також автобус доцільно направляти на поглиблене діагностування з метою виявлення несправності якщо має виконуватися одна з умов: точка розташована вище ВКМ; шість підряд зростаючих точок; дві із трьох або дві із чотирьох послідовних точок розташовані вище або нижче лінії $+2\sigma$; із п'яти послідовних точок три розташовані вище лінії $+\sigma$ та одна вище лінії $+2\sigma$; точка розташована нижче НКМ; шість підряд спадаючих точок; дві із трьох або три із чотирьох послідовних точок розташовані нижче лінії -2σ ; із п'яти послідовних точок три розташовані нижче лінії $-\sigma$ та одна нижче лінії -2σ .

Оскільки витрата палива є ключовим критерієм, на основі якого приймається рішення про відхилення у технічному стані міських автобусів, то було запропоновано методіку визначення базової витрати палива, яка є еталонним значенням, відносно якого будуть визначатися контрольні межі та оцінюватися фактичні значення.

Методика визначення базової витрати палива. Однією з ключових особливостей міських пасажирських перевезень є жорстко сплановані за часом та протяжністю маршрути з частими зупинками, гальмуваннями, поворотами та прискореннями, інтенсивним рухом автотранспорту і стійким середнім пасажиропотоком. Виходячи з цього можна припустити, що для кожного з маршрутів є певні характерні умови експлуатації, які циклічно повторюються. Врахувати ці умови експлуатації можливо через інтегральний показник складності маршруту k_{cm} . Інакше кажучи, витрата палива новим автобусом на певному маршруті буде дорівнювати:

$$Q_i' = Q_{nac} \cdot k_{cm}, \quad (3)$$

де Q_i' – фактична витрата палива на i -му маршруті при 20°C ;

Q_{nac} – витрата палива за технічною характеристикою.

Тоді:

$$k_{cm} = \frac{Q_i'}{Q_{nac}}. \quad (4)$$

Даний коефіцієнт можна отримати розрахунковим методом, шляхом визначення витрати палива Q_i' на конкретному маршруті за допомогою математичної моделі.

Вплив атмосферно-кліматичних умов можна врахувати через коефіцієнт коригування за температурою навколишнього середовища k_t . У науковій літературі наведені дані про те, що зміна витрати палива від температури навколишнього середовища описується поліномом другого ступеня. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що якщо проводити корегування паспортної витрати палива за критерієм температури навколишнього середовища, то температурний коефіцієнт повинен описуватись рівнянням:

$$k_t = a_1 t^2 + b_1 t + c_1, \quad (5)$$

де t – температура навколишнього середовища, °С;

a_1, b_1, c_1 – коефіцієнти полінома.

Зміни технічного стану, які виникають в процесі використання автобуса за призначенням, можна врахувати за допомогою коефіцієнта коригування витрати палива за терміном експлуатації, який позначимо k_T .

В основу методики визначення даного коефіцієнта покладемо, те, що залежність витрати палива від пробігу описується квадратичним рівнянням. Оскільки мова йде про міські автобуси, які виконують соціальне замовлення на пасажирські перевезення, а отже постійно знаходяться в роботі, справедливим буде припустити, що період експлуатації та пробіг, в даному випадку, мають пряму кореляцію. Тоді:

$$k_T = a_2 T_e^2 + b_2 T_e + c_2, \quad (6)$$

де T_e – період експлуатації автобуса в місяцях;

a_2, b_2, c_2 – коефіцієнти полінома.

Оскільки більшість з режимів руху автобуса за заданим маршрутом є неусталеними, тому для математичного моделювання даного процесу доцільно використати диференціальне рівняння руху:

$$\frac{dv}{dt} \cdot G_a \cdot \delta_{об} = P_{ко} - \sum P_i, \quad (7)$$

де $\delta_{об}$ – коефіцієнт урахування обертових мас;

$P_{ко}$ – повна колова сила на ведучих колесах, Н;

$\sum P_i$ – сума сил опору руху, Н.

На основі рівняння (7) було отримано залежності для визначення параметрів розгону та вибігу, а саме шлях та час розгону і вибігу в діапазоні швидкостей $v_n \dots v_k$.

Також в математичній моделі враховуються обмеження швидкості при усталеному криволінійному русі та гальмівні властивості згідно вимог ДСТУ 3649:2010.

Витрата палива на ділянці зі змінною швидкістю в діапазоні $v_n \dots v_k$ визначається за формулою, запропонованою А.С. Литвиновим:

$$Q_i = a_{Qc} G_a \delta_{об} \left(\frac{v_k - v_n}{a_i} - \frac{b_i}{2a_i^2} \ln \left| \frac{a_i v_k^2 + b_i v_k + c_i}{a_i v_n^2 + b_i v_n + c_i} \right| \right) + \tau_i (c_{Qc} + a_{Qc} \frac{b_i^2 - 2a_i c_i}{2a_i^2}) + b_{Qc} S_i, \quad (8)$$

де a_{Qc}, b_{Qc}, c_{Qc} – коефіцієнти апроксимуючого рівняння секундної витрати палива.

Витрата палива при частковому використанні потужності визначається на основі математичної моделі двигуна, яка може бути побудована за дванадцятьма відомими (опорними) значеннями годинної витрати палива двигуна, виміряними при

випробуваннях за Правилком ЄЕК ООН № 49 в умовах випробувального циклу ESC. Для побудови даної математичної моделі, поліноміальні коефіцієнти при поточних значеннях крутних моментів визначаються за універсальними для дизеля рівняннями. Витрату палива на холостому ході можна отримати за допомогою оборотної економічної характеристики.

Витрата палива при вибігу та гальмуванні визначається виходячи з припущення, що після набору швидкості автобус переходить в режим вибігу і гальмує робочою гальмівною системою перед зупинками. Вибіг та гальмування умовно відбуваються з від'єднаним двигуном, тому витрата палива на цих режимах буде розраховуватись за тою самою методикою, що і при холостому ході.

Витрати палива Q_i автобусом на певному маршруті буде визначатися як сума витрат палива на i -му режимі руху. Фактичні режими руху на заданому маршруті можна отримали експериментальним шляхом.

Базова витрата палива автобусом певного періоду експлуатації за певної температури навколишнього середовища, що експлуатується на заданому маршруті, дорівнює добутку витрати палива Q_i та коригуючих коефіцієнтів k_i та k_T .

У третьому розділі наведено мету, об'єкт, методику та результати експериментальних досліджень.

Метою експериментального дослідження є встановлення взаємозв'язку між технічним станом та витратою палива міських автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069 у визначених умовах експлуатації.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

1. Визначення параметрів маршрутів руху автобусів.
2. Збір та обробка статистичних даних щодо динаміки зміни погодних умов впродовж року.
3. Збір та обробка статистичних даних щодо несправностей автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069, які виникають в процесі їх експлуатації.
4. Збір та обробка статистичних даних про експлуатаційну витрату палива автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069.
5. Встановлення взаємозв'язку між експлуатаційною витратою палива, умовами експлуатації та технічним станом автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069.
6. Отримання вихідних даних для розрахунку показників паливної економічності на математичній моделі руху автобуса за фактичними швидкісними режимами міських пасажирських перевезень міста Києва.

Об'єктами експериментальних досліджень були 41 автобус МАЗ 203.065, 2011...2012 років випуску та 26 автобусів МАЗ 203.069, 2017...2018 років випуску. Усі досліджувані автобуси було об'єднано в групи, у відповідності до початку їх експлуатації.

Збір даних про витрату палива проводився в період з 1.01.2017 по 31.06.2018. Дані про відмови були зібрані на підприємстві АП№2 КП Київпастрас в період з 11.01.2018 по 16.05.2018 шляхом обробки журналу звернень до служби технічного контролю.

Збір даних про параметри маршруту руху автобусів для математичного моделювання проводився на двох маршрутах – 55-му та 48-му як таких, що

характеризують найскладніші (55-й) та найпростіші (48-й) умови руху. За результатами аналізу режимів руху автобуса за маршрутами було складено перелік ділянок, які характеризуються однаковими умовами експлуатації, а саме радіусом повороту та поздовжнім кутом нахилу дороги.

За період проведення експериментальних досліджень було зібрано дані про температуру навколишнього середовища та величину атмосферного тиску. Температура навколишнього середовища змінюється за синусоподібним законом, а величина атмосферного тиску має рівномірний розподіл упродовж року і знаходиться на рівні 99,3 кПа.

Для визначення впливу температури навколишнього середовища на витрату палива було обрано 5-ту та 6-ту групу автобусів для того, щоб технічний стан більш старих одиниць рухомого складу не впливав на результати дослідження. Більшість автобусів цих груп виконують перевезення пасажирів на 55-ому та 62-ому маршрутах (рис. 1 та 2). Загальний діапазон температур – $-13...+26^{\circ}\text{C}$.

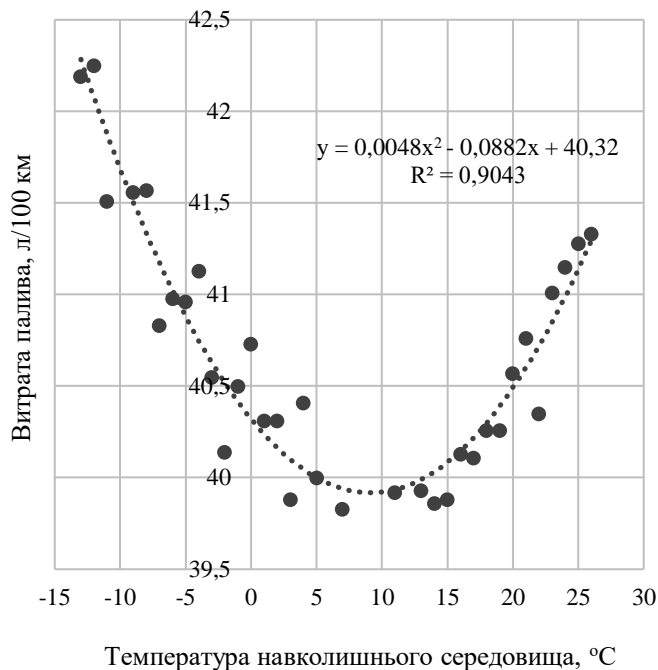


Рисунок 1 – Залежність витрати палива від температури навколишнього середовища.
Маршрут №55

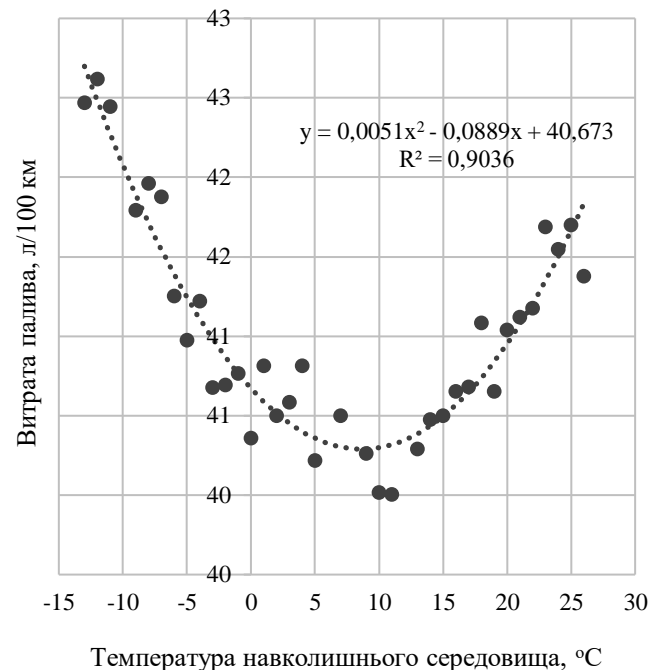


Рисунок 2 – Залежність витрати палива від температури навколишнього середовища.
Маршрут №62

Як видно з графіків, апроксимуючі рівняння мають дуже близькі значення коефіцієнтів a та b . В той же час, коефіцієнт c пропорційний початковій витраті палива Q_{s0} при експлуатації на даному маршруті. При чому, і в першому, і в другому випадку ці значення більші на $1,15...1,45\%$. Це дає нам привід припустити, що така розбіжність є нормальною і має бути врахована в подальших розрахунках.

Отже, з усього вищесказаного можна зробити висновок, що в загальному вигляді, рівняння залежності витрати палива від температури навколишнього середовища матиме вигляд:

$$Q_s(t) = 0,005 \cdot t^2 - 0,0885 \cdot t + 1,013 \cdot Q_{s0}. \quad (9)$$

Також, оскільки характер зміни кривої однаковий для обох випадків, на що вказує подібність коефіцієнтів полінома a та b , а різниця лише в її початковій точці, то можна зробити висновок, що залежність (9) доцільно використати для визначення коефіцієнта коригування лінійної витрати палива за температурою навколишнього середовища k_t :

$$k_t = \frac{0,005 \cdot t^2 - 0,0885 \cdot t + 1,013 \cdot Q_{s0}}{Q_{s0}} = 1,013 + \frac{0,005 \cdot t^2 - 0,0885 \cdot t}{Q_{s0}}. \quad (10)$$

Тоді витрата палива за певної температури навколишнього середовища визначаємо за формулою:

$$Q_s(t) = Q_{s0} \cdot k_t. \quad (11)$$

При розрахунках за формулою (9) коефіцієнт детермінації становить 0,899...0,921 та 0,898...0,920 – при розрахунках за формулою (11).

Для встановлення залежностей між витратою палива та терміном експлуатації міських автобусів, з усього масиву експериментальних даних було виокремлено значення витрати палива автобусів, що здійснювали рейси на маршрутах №55, №20 (рис. 3), №118 (рис. 4), №62 та згруповано їх відповідно до місяця перебування автобуса в експлуатації.

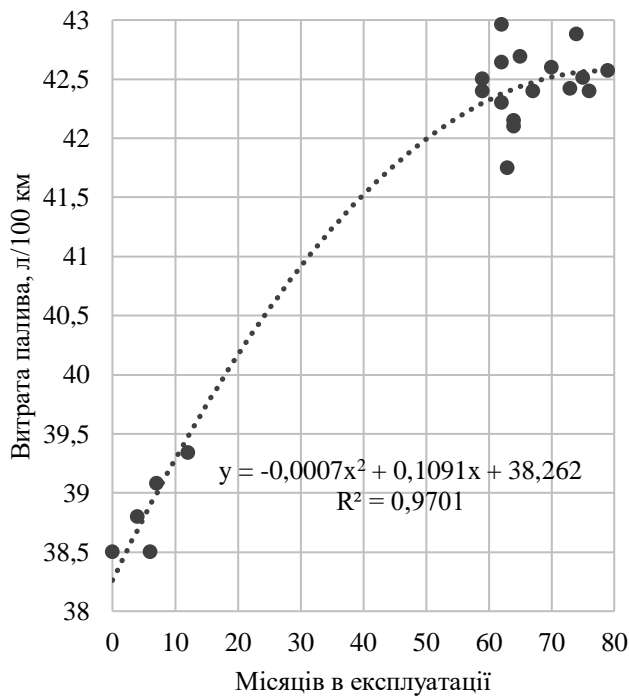


Рисунок 3 – Витрата палива від терміну експлуатації. Маршрут №118

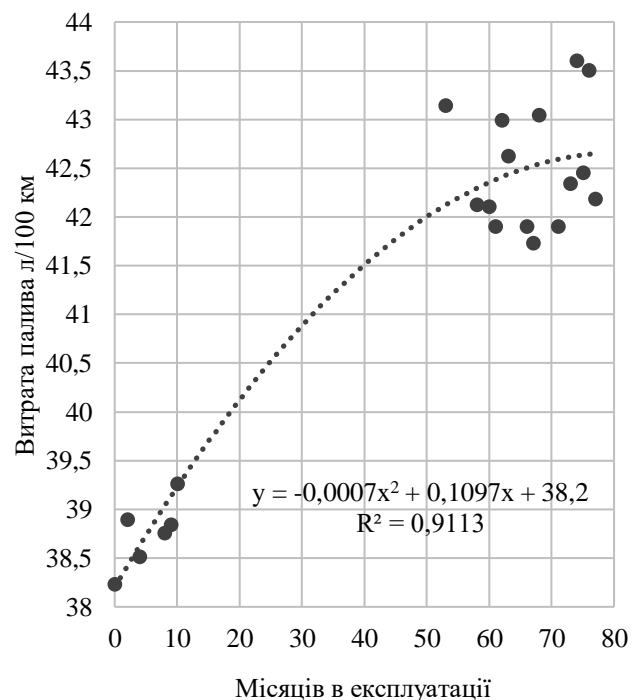


Рисунок 4 – Витрата палива від терміну експлуатації. Маршрут №20

Як видно з графіків, апроксимуючі рівняння мають однаковий коефіцієнт a та досить близькі значення коефіцієнта b . В той же час, коефіцієнт c практично рівний початковій витраті палива Q_{s0} при експлуатації на певному маршруті. З цього можна зробити висновок, що в загальному вигляді, рівняння залежності витрати палива від терміну експлуатації для всіх маршрутів матиме вигляд:

$$Q_s(T_e) = -0,0007 \cdot T_e^2 + 0,1080 \cdot T_e + Q_{s0}. \quad (12)$$

Також, оскільки характер зміни кривої однаковий для всіх чотирьох випадків, на що вказує подібність коефіцієнтів полінома a та b , а різниця лише в її початковій точці, то можна зробити висновок, що залежність (12) доцільно використати для визначення коефіцієнта коригування лінійної витрати палива за терміном експлуатації, який позначимо k_T :

$$k_T = \frac{-0,0007 \cdot T_e^2 + 0,1080 \cdot T_e + 1,013 \cdot Q_{s0}}{Q_{s0}} = 1,0 + \frac{-0,0007 \cdot T_e^2 + 0,1080 \cdot T_e}{Q_{s0}}. \quad (13)$$

Тоді витрата палива в певний місяць експлуатації буде визначатись за формулою:

$$Q_s = Q_{s0} \cdot k_T. \quad (14)$$

При розрахунках за формулами (12) та (14) коефіцієнт детермінації становить 0,895...0,958.

Наступною частиною дослідження було встановлення переліку несправностей, які виникають в процесі експлуатації міських автобусів. Усі відмови за дослідний період було згруповано за приналежністю їх до певної системи чи складника. Після цього було підраховано загальну кількість відмов, кількість відмов на одиницю рухомого складу в групі та відсоток від загальної кількості відмов у групі для кожної з груп, що досліджувались.

За результатами розрахунку можна зробити висновок, що усі відмови, які виникають в процесі експлуатації автобусів, доцільно розділити на дві групи:

- відмови, кількість яких збільшується зі збільшенням терміну експлуатації. До них відносяться електрообладнання, система охолодження, колеса, гальмівна система, підвіска, коробка передач, двигун;
- відмови, які виникають рівномірно упродовж всього терміну експлуатації. До них відносяться система випуску відпрацьованих газів; система мащення; система живлення; кузов, рульове керування.

Окремо виділено утруднений запуск двигуна, викликаний якістю паливо-мастильних матеріалів та періодичне технічне обслуговування, оскільки, дані категорії не відносяться до змін технічного стану автобуса.

На рисунку 5, в якості прикладу, наведені характерні графіки розподілу кількості відмов на одиницю рухомого складу для обох категорій відмов на прикладі коліс та рульового керування.

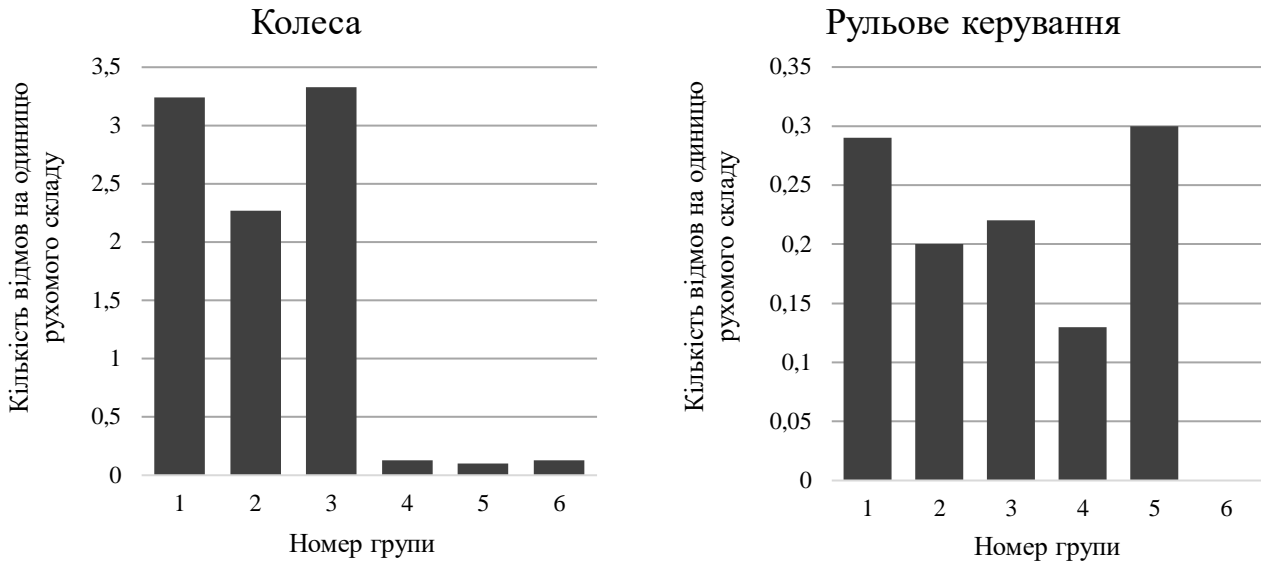


Рисунок 5 – Розподіл кількості відмов на одиницю рухомого складу по групах і складниках

Узагальнюючи отримані результати, слід зазначити, що найбільша кількість відмов припадає на електрообладнання (22,4%), систему охолодження (13,0%) та колеса (10,7%). Найменшу кількість відмов має рульове керування (1,2%), система випуску відпрацьованих газів (0,7%) та система мащення (0,7%).

Також було визначено найбільш характерні несправності в кожній з систем та складників, до яких належать: несправності зовнішніх світлових приладів – 18,84%, зменшення тиску в шинах – 5,38%, негерметичність системи охолодження – 10,66%, негерметичність пневмосистеми гальм – 4,41%, несправності супортів і дисків – 4,41%, несправності дверей салону – 5,06%, несправності люка салону – 3,77%, негерметичність пневмосистеми підвіски – 4,41% від загальної кількості несправностей за дослідний період.

У четвертому розділі проведено аналітичне дослідження взаємозв'язку між технічним станом та витратою палива міських автобусів та наведено рекомендації щодо впровадження методики оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива в умовах діючих підприємств автомобільного транспорту.

На основі результатів експериментальних досліджень та технічних характеристик автобуса МАЗ 203.069 було сформовано вихідні дані для розрахунку руху автобуса по маршруту №48 на математичній моделі. Також, з усього масиву експериментальних даних було обрано автобуси, які експлуатувалися на даному маршруті, та на певний момент часу, мали характерні несправності. Для імітації цих несправностей в процесі математичного моделювання було обґрунтовано параметри, що їх описуватимуть.

Першим етапом математичного моделювання був розрахунок руху автобуса за маршрутом №48 без урахування несправностей. Приймаючи для розрахунків значення густини палива рівною 825 кг/м^3 , отримаємо $35,17 \text{ л/100 км}$. Дане значення відповідає

витраті палива нового автобуса на даному маршруті (33,63 л/100 км) з відносною похибкою 4,38%.

Наступним етапом моделювання була імітація несправностей з урахуванням періоду експлуатації транспортного засобу та температури навколишнього середовища.

Для кожного випадку, описаного в таблиці 1, було визначено коригуючі коефіцієнти k_t та k_T . В математичну модель були внесені параметри, які імітували певну несправність. Далі, отримане значення витрати палива було помножене на k_t та k_T . Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків на математичній моделі характеру впливу типових несправностей на витрату палива

№ п/п	Борт. номер	T_e , місяців	t , °C	k_t	k_T	Витрата палива		
						Розрахункова, л/100 км	Фактична, л/100 км	Відносна похибка, %
1	7279	74	18,4	1,015	1,127	40,69	38,95	4,28
2	7288	70	-6	1,034	1,126	42,64	39,32	7,79
3	7281	71	1,7	1,009	1,127	42,39	39,9	5,87

Як видно з таблиці 1, відносна похибка не перевищує 8%.

Першим етапом впровадження методики оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива є визначення лінійної витрати палива за еталонним режимом руху на певному маршруті. Даний параметр отримується за допомогою розрахунків на математичній моделі.

Фактична очікувана витрата палива автобуса певного періоду експлуатації за певної температури навколишнього середовища, яку запропоновано називати базовою витратою палива для заданого маршруту, буде визначатися як добуток лінійної витрати палива та коригуючих коефіцієнтів k_t та k_T :

$$Q_s = Q_i' \cdot k_t \cdot k_T. \quad (15)$$

Кількість палива, яку автобус витратить за зміну у літрах, буде визначатись за формулою:

$$Q_m = (Q_s \cdot S) / 100, \quad (16)$$

де S – загальний пробіг за зміну, км.

Порівняння розрахункових значень витрати палива, отриманих за формулою (15), з фактичними показав, що відносна похибка складає 4,84...7,82%.

Процес оцінки технічного стану за показником витрати палива в л/100 км, використовуючи контрольні карти Шухарта, проводиться у такій послідовності:

1. Визначаємо базову витрату палива для заданого маршруту. Отримане значення приймаємо за центральну лінію.
2. Визначаємо верхню (ВКМ) та нижню (НКМ) контрольні межі.

3. Визначаємо проміжні контрольні межі, які знаходяться на рівні $\pm\sigma$ та $\pm 2\sigma$.

4. В кінці зміни фіксуємо витрату палива в л/100 км, приводячи її до значення при температурі 20 °С та наносимо на контрольну карту.

5. Перевіряємо наявність статистичного сигналу про відхилення в роботі транспортного засобу за рядом критеріїв.

6. За наявності статистичного сигналу про відхилення, направляємо автобус на поглиблене діагностування для виявлення несправності.

Приклади деяких несправностей, які були виявлені за допомогою карт Шухарта в період проведення експериментальних досліджень, наведено на рисунках 6 та 7.



Рисунок 6 – Контрольна карта Шухарта витрати палива в л/100 км при несправності проміжного охолоджувача повітря



Рисунок 7 – Контрольна карта Шухарта витрати палива в л/100 км при спусканні лівого внутрішнього колеса

В результаті проведених досліджень було виявлено характер вилучу типових несправностей міських автобусів на зміну величини витрати палива.

Цікавим є те, що частина несправностей призводить до майже миттєвого збільшення витрати палива, а частина – до поступового, в той час, як зустрічаються несправності, вплив яких на витрату палива не було виявлено статистичними методами дослідження.

Наприклад, заклинювання коліс призводить до майже миттєвого збільшення витрати палива оскільки викликане, як правило, неповним розгальмуванням. В окремих випадках, таке збільшення сягало до 16%. Зменшення тиску в шинах призводить до поступового збільшення витрати палива. В середньому, внаслідок зменшення тиску в шинах, було зафіксовано збільшення витрати палива до 8%.

Характерні несправності системи охолодження можна розділити на дві групи: раптовий вихід з ладу окремих її елементів та підтікання в системі. Так, відмова гідромуфти вентилятора чи циркуляційного насосу призводить до миттєвого збільшення витрати палива внаслідок різкого зменшення ефективності охолодження двигуна та підвищення діапазону його робочих температур. В залежності від характеру несправності, спостерігається збільшення витрати палива 6...13%. Підтікання в системі охолодження призводить до збільшення витрати палива до 5% і в результаті дослідження не було виявлено статистичних сигналів, які б дозволили зафіксувати несправності даного виду.

Втрата герметичності пневмосистеми підвіски та гальм, яка проявляється у вигляді витіку повітря через з'єднувальні елементи, в більшості випадків, провокує збільшення витрати палива в межах 5%, за винятком витіку повітря у вологовідділювачі, який призводить до збільшення витрати палива до 12%.

Обриви приводного ремня навісного обладнання двигуна супроводжувались різким збільшенням витрати палива на рівні 6...8%, яке трималося 3...6 днів до моменту настання відмови. Підтікання в системі живлення характеризуються різким збільшенням витрати палива (до 30% в залежності від інтенсивності підтікання) і, як правило, настають раптово.

До відмов, які не вдалося визначити за допомогою показника витрати палива відносяться: несправності зовнішніх світлових приладів, генератора, стартера, відсутність заряджання акумуляторної батареї та живлення на споживачах панелі приладів, несправності дверей, люків, елементів салону та підлоги, тріщини скла, люфт рульового керування, підтікання гідравлічної рідини з підсилювача керма, підтікання в системі мащення, прогорання глушника.

Серед несправностей коробки передач на витрату палива найбільш суттєво впливає відсутність можливості увімкнення третьої передачі, оскільки режим руху міського автобуса такий, що більшу частину часу він рухається на I...III передачах. Якщо не вмикається 3-я передача, це означає, що ділянки, які б водій міг проїхати на ній, він змушений долати на 2-й передачі на підвищених обертах, що в свою чергу, призводить до збільшення витрати палива (до 8% за результатами дослідження).

Підсумовуючи результати проведених досліджень, можна зробити висновок, що несправності, які виникають в процесі експлуатації міських автобусів суттєво впливають на витрату палива та призводять до її збільшення в межах 6...16%, в залежності від типу несправності. Окремим випадком є підтікання в системі живлення, оскільки такі несправності можуть викликати досить суттєву перевитрату (до 30% за результатами досліджень).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання оцінки технічного стану міських автобусів категорії МЗ класу I за показником витрати палива, що дозволить попередити частину відмов, які супроводжуються перевитратою палива і, як наслідок, зменшити загальнорічну його витрату, і дещо зменшити загальну собівартість перевезень. Вирішення поставленої задачі дозволило одержати наступні наукові та практичні результати:

1. В результаті аналізу наукових джерел було встановлено, що показник витрати палива достатньо чутливий до змін умов експлуатації, має пряму кореляцію з рядом несправностей та конструктивних параметрів рухомого складу і тому може бути використаний в якості критерію для оцінки технічного стану міських автобусів категорії МЗ класу I.

2. Для визначення базової витрати палива автобусом удосконалено методику, яка враховує особливості режимів руху на заданому маршруті, зміни температури

навколишнього середовища та погіршення технічного стану його складових частин з часом внаслідок нормального використання за призначенням.

3. Для оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива запропоновано методику, яка базується на використанні контрольних карт Шухарта та враховує особливості умов експлуатації міських автобусів за певним маршрутом.

4. Підтверджено залежність витрати палива міськими автобусами від кліматичних умов та отримано рівняння для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за температурою навколишнього середовища, яке забезпечує значення коефіцієнту детермінації на рівні 0,898...0,921.

5. Підтверджено залежність витрати палива міськими автобусами від терміну їх експлуатації та отримано рівняння для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за терміном експлуатації, яке забезпечує значення коефіцієнту детермінації на рівні 0,895...0,958.

6. Уточнено, що зі збільшенням терміну експлуатації міських автобусів збільшується кількість відмов електрообладнання, системи охолодження, коліс, гальмівної системи, підвіски, коробки передач та двигуна, в той час як відмови системи випуску відпрацьованих газів, системи мащення, системи живлення, кузова та рульового керування виникають рівномірно впродовж усього періоду експлуатації. Загальна кількість відмов на одиницю рухомого складу за дослідний період лежить в межах 0,12...3,81.

7. Встановлено найбільш характерні несправності, які виникають в процесі експлуатації міських автобусів, до яких належать: несправності зовнішніх світлових приладів – 18,84%, зменшення тиску в шинах – 5,38%, негерметичність системи охолодження – 10,66%, негерметичність пневмосистеми гальм – 4,41%, несправності супортів і дисків – 4,41%, несправності дверей салону – 5,06%, несправності люка салону – 3,77%, негерметичність пневмосистеми підвіски – 4,41% від загальної кількості несправностей за дослідний період. Наявність цих несправностей призводить до збільшення витрати палива від 5% до 16%.

8. Проведено аналітичне дослідження взаємозв'язку між технічним станом та витратою палива міських автобусів на математичній моделі в результаті якого встановлено, що розрахункові значення витрати палива в л/100 км відповідають фактичному її значенню для нових автобусів на певному маршруті з відносною похибкою на рівні 4,38%. Відносна похибка розрахункових значень витрати палива при імітації характерних несправностей лежить в межах 4,28...7,79%. Запропонована методика визначення базової витрати палива забезпечує похибку на рівні 4,84...7,82%.

9. Підтверджено доцільність використання контрольних карт Шухарта як інструменту для виявлення несправностей коліс, системи охолодження, пневмосистеми підвіски та гальм. Встановлено, що для виявлення несправностей електрообладнання, люфтів у рульовому керуванні, підтікань в системі мащення та несправностей системи випуску відпрацьованих газів використання контрольних карт Шухарта недоцільне.

10. Результати теоретичних та експериментальних досліджень прийняті до впровадження Державним підприємством «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (м. Київ), Автобусним парком №2 КП «Київпастранс» (м. Київ) та в навчальному процесі Національного транспортного університету (м. Київ) при підготовці фахівців спеціальності 274 «Автомобільний транспорт».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях

1. Савостін-Косяк Д. О. Оцінка технічного стану міських автобусів в умовах експлуатації. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник*. Київ : НТУ, 2019. Вип. 3 (45), С. 146-153.
2. Сахно В. П., Свостін-Косяк Д. О. Форми організації моніторингу технічного стану транспортних засобів. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник*. Київ : НТУ, 2017. Вип. 1 (37), С. 373-380.
3. Сахно В. П., Свостін-Косяк Д. О. Нормування витрати палива для міських автобусів з дизельним двигуном. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник*. – Київ : НТУ, 2017. – Вип. 3 (39), С. 141-150.
4. Сахно В. П., Савостін-Косяк Д. О., Кудашева В. О. До обґрунтування взаємозв'язку витрати палива та періоду експлуатації міських автобусів з дизелем. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник*. Київ : НТУ, 2019. Вип. 1 (43), С. 178-186.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

5. Савостін-Косяк Д., Сахно В. Дослідження витрати палива міських автобусів з дизелем шляхом математичного моделювання. *Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy*. Seria Transport № 9. Rzeszów : Politehnika Rzeszowska, 2017. С. 95–103.
6. Іванушко О., Савостін-Косяк Д. До обґрунтування взаємозв'язку між витратою палива та технічним станом транспортних засобів на прикладі міських автобусів з дизелем. *Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy*. – Seria Transport № 14. Rzeszów : Politehnika Rzeszowska, 2018. С. 61–68.

Публікації апробаційного характеру

7. Сахно В. П., Савостін-Косяк Д. О. Дослідження впливу умов експлуатації на паливну економічність міських автобусів. *Матеріали LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ : НТУ, 2018. с. 70
8. Савостін-Косяк Д. О. Дослідження паливної економічності міських автобусів, використовуючи імітаційне математичне моделювання. *Матеріали LXXV наукової конференції професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ : НТУ, 2019. с. 88.

АНОТАЦІЯ

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.

Метою дисертаційного дослідження є оцінка технічного стану міських автобусів категорії МЗ класу І за показником витрати палива.

Запропоновано методика оцінки технічного стану міських автобусів, яка базується на використанні контрольних карт Шухарта, з попереднім визначенням базової витрати палива за уточненою методикою, що враховує особливості умов експлуатації конкретного автобусу на певному маршруті. Наведено порядок побудови контрольних карт та сформовано критерії виявлення відхилень у технічному стані рухомого складу.

З метою встановлення взаємозв'язку витрати палива та технічного стану міських автобусів було проведено експериментальні дослідження на базі Автобусного парку №2 КП Київпастрас. Об'єктами досліджень були 41 автобус МАЗ 203.065 та 26 автобусів МАЗ 203.069.

Запропоновано рівняння для визначення коефіцієнти коригування лінійної витрати палива за температурою навколишнього середовища k_t , та за терміном експлуатації k_T .

Встановлено найбільш характерні несправності, що виникають в процесі експлуатації міських автобусів та підтверджено доцільність використання контрольних карт Шухарта для виявлення відхилень у технічному стані рухомого складу. Розроблено рекомендації щодо впровадження і використання контрольних карт для оцінки технічного стану в умовах діючих підприємств автомобільного транспорту.

Ключові слова: міський автобус категорії МЗ класу І, витрата палива, оцінка технічного стану, умови експлуатації, контрольні карти Шухарта, температура навколишнього середовища, період експлуатації.

АННОТАЦИЯ

Савостин-Косяк Д. А. Оценка технического состояния городских автобусов по показателю расхода топлива. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 «Эксплуатация и ремонт средств транспорта». – Национальный транспортный университет, Киев, 2019.

Целью исследования является оценка технического состояния городских автобусов категории МЗ класса I по показателю расхода топлива.

По результатам анализа научных источников были установлены особенности условий эксплуатации городских автобусов, их влияние на техническое состояние и

расход топлива, что позволило обобщить ключевые критерии, которые были положены в основу разработанной методики и экспериментальных исследований.

Для оценки технического состояния городских автобусов за показателем расхода топлива была предложена методика, основанная на использовании контрольных карт Шухарта с предварительным определением базового расхода топлива путем расчета на математической модели. Приведена методика построения контрольных карт и сформированы критерии выявления отклонений в техническом состоянии подвижного состава.

Уточнена математическая модель для определения базового расхода топлива, которая позволяет учесть особенности скоростного режима на конкретном маршрута, колебания температуры окружающей среды и изменения в техническом состоянии подвижного состава, которые происходят вследствие использования его по назначению с соблюдением регламента технических обслуживаний.

С целью определения взаимосвязи расхода топлива и технического состояния городских автобусов были проведены экспериментальные исследования на базе автобусного парка №2 КП «Киевпастранс». Объектами исследований были 41 автобус МАЗ 203.065 и 26 автобусов МАЗ 203.069.

Исследование влияния температуры окружающей среды и периода эксплуатации автобусов на расход топлива подтвердили, что данные зависимости, с достаточно высокой точностью, описываются полиномом второй степени. И обеспечивают значение коэффициентов детерминации на уровнях 0,898...0,921 и 0,895...0,958 соответственно. Такие результаты позволили сформулировать уравнение для определения коэффициентов корректировки линейного расхода топлива по температуре окружающей среды k_t и по сроку эксплуатации k_T .

Путем обработки статистических данных об отказах городских автобусов, полученных в результате эксперименте, было определено системы и узлы подвижного состава, количество отказов по которым увеличивается с увеличением периода эксплуатации. Общее количество отказов на единицу подвижного состава за период исследования лежит в пределах 0,12...3,81.

По каждой из систем и узлов были определены наиболее характерные неисправности, их количество и доля в общем количестве отказов. Так, наибольшая доля отказов приходится на внешние световые приборы (18,84%) и негерметичность системы охлаждения (10,66%). Наименьшая доля приходится на негерметичность пневмосистемы тормозов (4,41%), неисправности суппортов и дисков (4,41%), негерметичность пневмосистемы подвески (4,41%) и неисправности люка салона (3,77%).

Определение характерных неисправностей, позволило обосновать их связь с расходом топлива и провести аналитическое исследование этой связи на математической модели, в результате которого было установлено, что расчетные значения расхода топлива в л/100 км соответствуют фактическому ее значению для новых автобусов на определенном маршруте с относительной погрешностью 4,38%.

Относительная погрешность расчетных значений расхода топлива при имитации типовых неисправностей лежит в пределах 4,28...7,79%. Предложенная методика определения базовой расхода топлива обеспечивает погрешность на уровне 4,84...7,82%.

Подтверждена целесообразность использования контрольных карт Шухарта для выявления отклонений в техническом состоянии подвижного состава по показателю расхода топлива и разработаны рекомендации по внедрению и использованию предложенной методики оценки технического состояния в условиях действующих предприятий автомобильного транспорта.

Ключевые слова: городской автобус категории М3 класса I, расход топлива, оценка технического состояния, условия эксплуатации, контрольные карты Шухарта, температура окружающей среды, период эксплуатации.

SUMMARY

D. Savostin-Kosiak. Evaluation of the city buses technical condition in terms of fuel consumption. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the candidate of technical sciences degree in specialty 05.22.20 «Operation and repair of transport means». – National Transport University, Kyiv, 2019.

The purpose of the study is to assess the technical condition of M3 category (class I) city buses by fuel consumption.

The method of the technical condition estimation for city buses based on the use of Schuhart control charts is proposed, with preliminary determination of the base fuel consumption by the specified methodology, which takes into account the peculiarities of operating conditions of a particular bus on a certain route. The procedure of control charts creation is given and the criteria for detecting deviations in the technical condition of rolling stock are formed.

In order to establish the relationship between fuel consumption and the technical condition of city buses, experimental studies were carried out on the basis of bus depot No. 2 of the Kyivpastrans CP. The objects of research were 41 buses MAZ 203.065 and 26 bus MAZ 203.069.

The equations for determining the correction coefficients depend on ambient temperature k_t and operational period k_T for linear fuel consumption were formulated.

The most typical malfunctions of city buses which occur during the operation period have been established and the expediency of using Schuhart control charts to identify the deviations in the technical condition of the rolling stock was confirmed. Recommendations on implementation and use of control charts for the assessment of technical condition of rolling stock for existing road transport enterprises were developed.

Key words: M3 category (class I) city bus, fuel consumption, technical condition assessment, operating conditions, Shewhart control charts, ambient temperature, operating period.