

УДК 504.064.36 : 629.33 : 625.032.82 : 621.43

**Матейчик В.П., д-р техн. наук, Цюман М.П., канд. техн. наук,
Шевчук І.О., Руденко Д.Є., Старинець Л.М.**

ОСОБЛИВОСТІ ВРАХУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНІХ УМОВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА МАРШРУТІ

Анотація. У статті розкрито особливості врахування впливу дорожніх умов, що характеризуються коефіцієнтом дорожнього опору, на швидкісні властивості, витрату палива та викиди шкідливих речовин транспортних засобів на заданих маршрутах. Встановлено вплив коефіцієнта дорожнього опору на показники шляхових витрати палива і викидів шкідливих речовин бензинового транспортного засобу категорії М1 при різних швидкостях усталеного руху.

Ключові слова: коефіцієнт дорожнього опору, транспортний засіб, експлуатаційні показники, дорожні умови, маршрут.

УДК 504.064.36 : 629.33 : 625.032.82 : 621.43

**Матейчик В.П., д-р техн. наук, Цюман Н.П., канд. техн. наук,
Шевчук І.А., Руденко Д.Є., Старинець Л.М.**

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА МАРШРУТЕ

Аннотация. В статье раскрыты особенности учета влияния дорожных условий, характеризующихся коэффициентом дорожного сопротивления, на скоростные свойства, расход топлива и выбросы вредных веществ транспортных средств на заданных маршрутах. Установлено влияние коэффициента дорожного сопротивления на показатели путевых расхода топлива и выбросов вредных веществ бензинового транспортного средства категории М1 при различных скоростях установившегося движения.

Ключевые слова: коэффициент дорожного сопротивления, транспортное средство, эксплуатационные показатели, дорожные условия, маршрут.

UDC 504.064.36 : 629.33 : 625.032.82 : 621.43

Mateichyk V.P., Dr. Tech. Sci., **Tsiuman M.P.**, Cand. Eng. Sci. (Ph.D.),
Shevchuk I.O., **Rudenko D.Ye.**, **Starynets L.M.**

THE PECULIARITIES OF ROAD CONDITIONS CHARACTERISTICS CONSIDERATION FOR THE SIMULATION OF VEHICLES OPERATIONAL PERFORMANCE ON ROUTE

Abstract. The peculiarities of road conditions impact consideration for vehicles speed properties, fuel consumption and harmful emissions on preset routes are presented in this paper. The road conditions are characterized by coefficient of road resistance. The impact of coefficient of road resistance for gasoline M1 category vehicle specific fuel consumption and harmful emissions under different constant speed is found.

Keywords: coefficient of road resistance, vehicle, operational performance, road conditions, route.

Вступ

В сучасних економічних умовах транспортне забезпечення господарської діяльності відіграє важливу роль. Найбільшу частку в транспортних процесах складає автомобільний транспорт. Оскільки переважним типом транспортних енергоустановок є енергоустановки на базі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), найбільш значущими аспектами транспортних процесів є ефективність споживання моторних палив і рівень забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами, що містяться у відпрацьованих газах (ВГ) транспортних засобів (ТЗ). Ці показники суттєво залежать як від рівня досконалості робочих процесів і конструкції ТЗ, що закладається при їх проектуванні, так і від дійсного технічного стану ТЗ, дорожніх і транспортних умов, що визначені умовами експлуатації. Тому актуальною задачею є розробка і впровадження в експлуатацію ефективних заходів, що сприятимуть підвищенню екологічної безпеки транспортних засобів через ефективне паливовикористання і зменшення шкідливого навантаження на навколишнє середовище. Разом з тим, ефективність впровадження таких заходів неможливо оцінити без застосування об'єктивних методів моделювання експлуатаційних показників ТЗ.

Питання дослідження впливу на навколишнє середовище об'єктів дорожньої мережі, окремих ТЗ і транспортних потоків (ТП) та способів підвищення їх екологічної безпеки, розробки методик дослідження і прогнозування екологічної безпеки окремих ТЗ та рівня забруднення придорожного середовища ТП, а також розробки систем екологічного моніторингу на транспорті досліджувались в роботах багатьох вчених [1–5].

На основі результатів цих досліджень в працях [6, 7] висвітлені особливості побудови математичної моделі системи «транспортний потік – дорога» та питання формування окремих елементів інтелектуальної системи моніторингу показників екологічної безпеки ТЗ. Разом з тим, питання застосування розроблених методів для оцінювання експлуатаційних показників ТЗ з урахуванням параметрів дійсних дорожніх умов потребують додаткових досліджень.

Метою статті є аналіз особливостей врахування характеристик дійсних дорожніх умов під час моделювання експлуатаційних показників транспортних засобів в процесі їх руху на маршрутах.

Результати дослідження

У відповідності з законами механіки в кожний момент руху ТЗ сила тяги на його ведучих колесах дорівнює сумі сил опору рухові, що в загальному випадку описується рівнянням тягового балансу:

$$P_p = P_f \pm P_i \pm P_j + P_w, \quad (1)$$

де $P_p = f(M_e, U_{mp})$ - сила тяги на ведучих колесах ТЗ, що є функцією від ефективного крутного моменту двигуна M_e і передаточного числа трансмісії

U_{mp} ; P_f - сила опору коченню; P_i - сила опору підйому; $P_j = f\left(M_a, U_{mp}, \frac{dV_a}{dt}\right)$

- сила інерції ТЗ, що є функцією маси ТЗ M_a , U_{mp} і прискорення ТЗ $\frac{dV_a}{dt}$;

$P_w = f(V_a)$ - сила опору повітря, що є функцією швидкості ТЗ V_a .

Сила опору коченню визначається з рівняння:

$$P_f = G_a \cdot f_a \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

де G_a - сила ваги автомобіля; f_a - коефіцієнт опору коченню; α - кут поздовжнього нахилу полотна дороги.

Сила опору підйому визначається як:

$$P_i = G_a \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

Отже, до суттєвих експлуатаційних факторів впливу на паливну економічність і екологічні показники ТЗ відноситься сумарний коефіцієнт дорожнього опору ψ , що складається із суми коефіцієнтів опору кочення і опору підйому і дає можливість визначити сумарну силу дорожнього опору:

$$P_\psi = G_a (f_a \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) = G_a \cdot \psi. \quad (4)$$

Складові коефіцієнта дорожнього опору значно залежать від конструктивних параметрів елементів ходової частини ТЗ, режиму його руху, стану і якості дорожнього покриття, параметрів повздовжнього і поперечного профілю автомобільної дороги. В умовах експлуатації показники ТЗ суттєво залежать від вказаних параметрів автомобільної дороги, що визначають сумарний коефіцієнт дорожнього опору.

В процесі моделювання експлуатаційних показників ТЗ та визначенні впливу дорожніх умов на витрату палива і викиди шкідливих речовин ТЗ важливо забезпечити достовірність значень коефіцієнта дорожнього опору, що може задаватись різними способами, зокрема, як стохастичним методом, так і з використанням сучасних інформаційних технологій.

Під час руху ТЗ на реальному маршруті величина коефіцієнта ψ змінюється в тих чи інших межах в залежності від зміни дорожніх умов на маршруті. Ця обставина дуже ускладнює задачу визначення експлуатаційних показників ТЗ на маршруті, особливо якщо врахувати, що функціональних залежностей значень ψ від місця знаходження ТЗ на маршруті не існує. Відсутність цих функціональних залежностей примушує розглядати величину ψ як випадкову і описувати розподіл числових значень ψ на маршруті за тим чи іншим імовірнісним законом. Розглянемо детальніше особливості використання даного імовірнісного підходу на прикладі типового робочого маршруту комерційного ТЗ.

Для однотипових дорожніх умов найбільш достовірним є нормальний закон розподілу числових значень коефіцієнта ψ :

$$f(\psi) = \frac{1}{\sigma_\psi \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\psi - m_\psi}{\sigma_\psi} \right)^2}, \quad (5)$$

де m_ψ - математичне очікування величини ψ ; σ_ψ - середнє квадратичне відхилення значень ψ .

Різні типи доріг характеризуються своїми параметрами нормального розподілу, тобто своїми числовими значеннями математичного очікування m_ψ та середнього квадратичного відхилення σ_ψ .

Якщо маршрут руху ТЗ складається з m типів дорожніх умов, то він може бути представлений таким чином:

$$\begin{matrix} l_1, & l_2, & \dots, & l_i, & \dots, & l_m \\ p_1, & p_2, & \dots, & p_i, & \dots, & p_m \\ m_{\psi_1}, & m_{\psi_2}, & \dots, & m_{\psi_i}, & \dots, & m_{\psi_m} \\ \sigma_{\psi_1}, & \sigma_{\psi_2}, & \dots, & \sigma_{\psi_i}, & \dots, & \sigma_{\psi_m} \end{matrix}, \quad (6)$$

де l_i - довжина i -го типу дорожніх умов на маршруті; p_i - частка i -го типу дорожніх умов від загальної довжини L маршруту; m_{ψ_i} , σ_{ψ_i} - параметри нормального розподілу числових значень коефіцієнта ψ в i -му типі дорожніх умов маршруту.

Показники ТЗ визначається спочатку для кожного типу дорожніх умов окремо, а потім для всього маршруту в цілому. На рисунку 1 представлено розрахункову схему визначення показників ТЗ на досліджуваному маршруті [8].

Динамічна характеристика $D(V_a)$ ТЗ для визначеного навантажувального режиму двигуна при змінній вазі доповнюється графіком функції нормального розподілу $f(\psi)$ для i -го типу дорожніх умов, побудованим за правилом «трьох сігма»: $\psi_{\min i} = m_{\psi_i} - 3 \cdot \sigma_{\psi_i}$, $\psi_{\max i} = m_{\psi_i} + 3 \cdot \sigma_{\psi_i}$ (рис. 1).

В загальному випадку автомобіль рухається на маршруті в одному напрямку маючи вагу G_x , а в зворотному - G_y , що враховує розрахункова схема.

Методологічною базою для використання динамічної характеристики є рівняння тягового балансу ТЗ, виражене за допомогою питомих величин, що для випадку усталеного руху має вигляд:

$$D = \psi, \quad (7)$$

де $D = \frac{P_p - P_w}{G_a}$ - динамічний фактор ТЗ.

Вся сукупність значень коефіцієнта ψ від ψ_{\min} до ψ_{\max} поділяється на інтервали, які відповідають гілкам повних навантажень, позначених одним штрихом, та часткових навантажень, позначених двома штрихами, різних передач на динамічній характеристиці. Цей поділ починаємо з ψ_{\max} і здійснюємо

його через промінь, що відповідає розглядуваному ваговому стану (G_x або G_y). Стрілки на вертикальних та горизонтальних лініях вказують на правило визначення граничних значень коефіцієнта ψ та відповідних їм значень швидкості V_a .

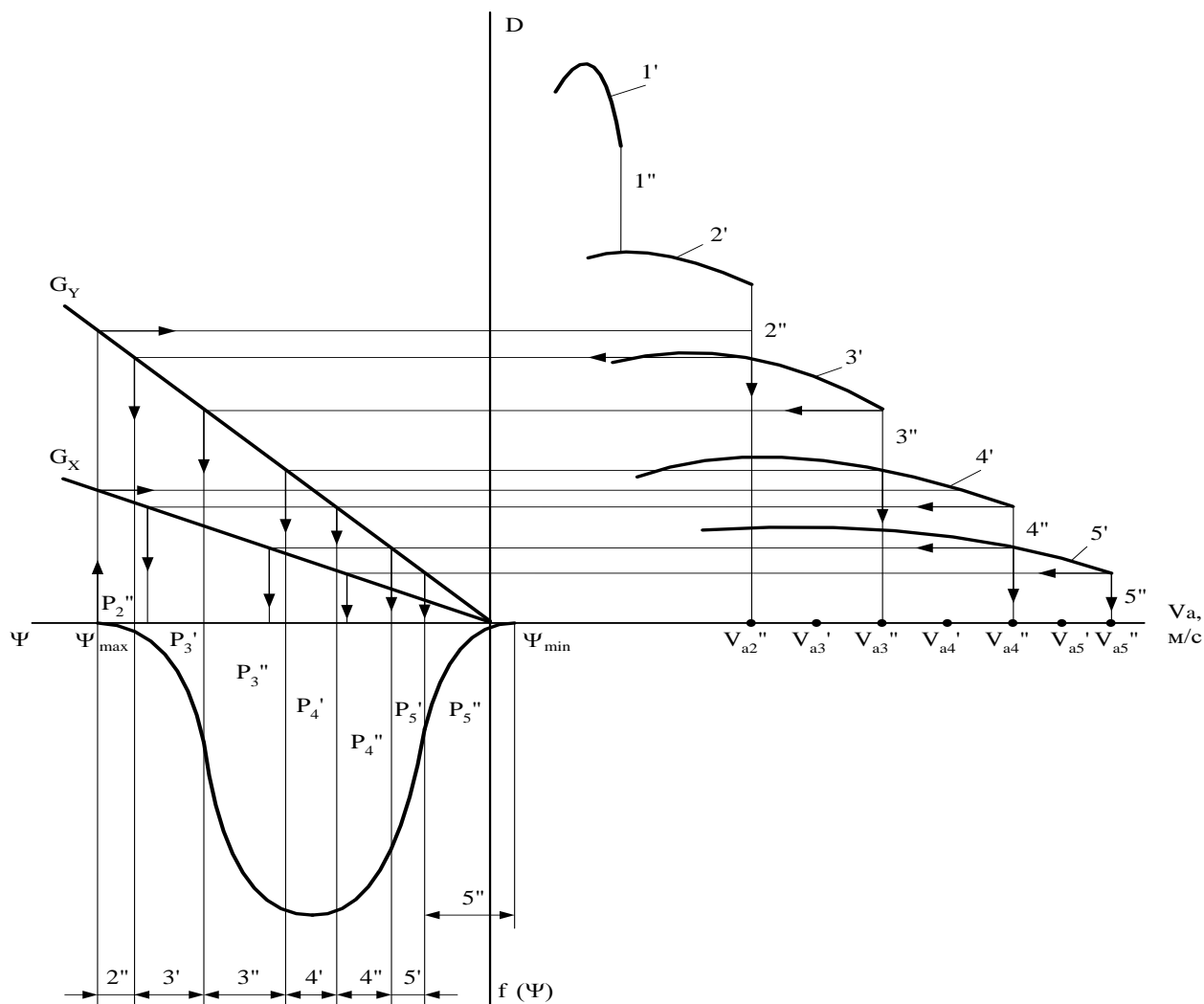


Рисунок 1 – Розрахункова схема визначення показників ТЗ на маршруті

Динамічний фактор згідно (1) описується функціональною залежністю:

$$D = f(M_e, U_{mp}, V_a) = f(M_e, n_\delta, U_{mp}), \quad (8)$$

де n_δ - частота обертання колінчастого валу двигуна ТЗ.

Витрата палива і шкідливі викиди ТЗ також є функціями крутного моменту M_e і частоти обертання колінчастого валу n_δ двигуна ТЗ та передаточного числа трансмісії U_{mp} , що у відповідності до (7) і (8) можна записати як:

$$\{m_{нал}, m_{CO}, m_{CH}, m_{NOx}\} = f(M_e, n_\delta, U_{mp}) = f(D, \psi). \quad (9)$$

Таким чином, на основі приведеної розрахункової схеми можливо встановити відповідність між швидкістю руху автомобіля, дорожніми умовами і

його динамічною характеристикою за алгоритмом $D = \psi \rightarrow V_a$, що є основою моделювання експлуатаційних показників ТЗ.

Значно підвищити достовірність результатів моделювання експлуатаційних показників ТЗ на реальному маршруті дозволяє використання сучасних інформаційних технологій. Зокрема, дійсні поточні значення позовжнього кута нахилу дорожнього полотна, що є визначальними для коефіцієнта дорожнього опору на ділянці автомобільної дороги, можуть бути визначені шляхом експорту даних із Web-додатку *GoogleEarth* (нижня частина рис. 2).

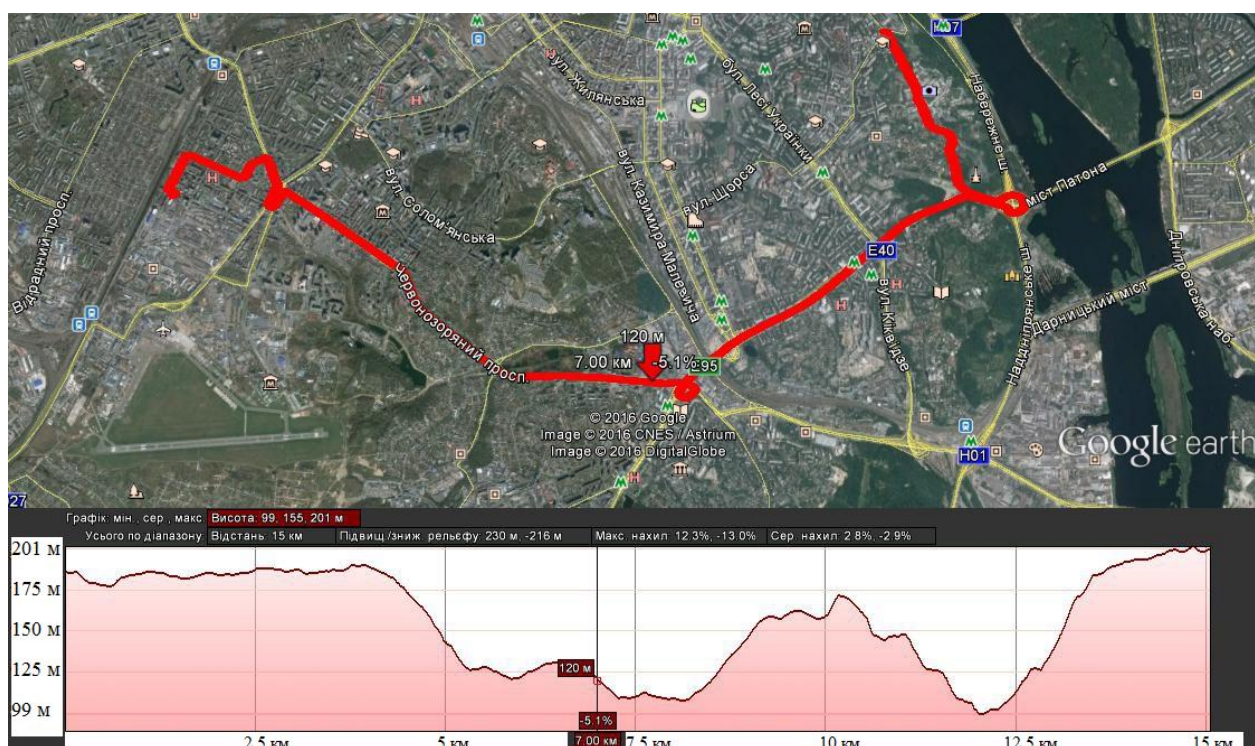


Рисунок 2 – Досліджувана ділянка дороги у місті Києві та її параметри

Поєднання отриманих з використанням сучасних інформаційних технологій значень ψ , даних про поточні координати місця знаходження ТЗ, поточних значень параметрів технічного стану, отриманих від бортової системи діагностики в процесі руху ТЗ, та описаної вище методики моделювання експлуатаційних показників ТЗ під час руху на маршруті дозволяють здійснювати аналіз впливу на ці показники дійсного технічного стану ТЗ, дорожніх і транспортних умов руху.

Теоретичні дослідження впливу швидкісного режиму бензинового ТЗ категорії М1 з повною масою 1500 кг при різних значеннях коефіцієнту дорожнього опору на показники шляхових витрати палива і викидів шкідливих

речовин проведено з використанням представленої вище математичної моделі руху автомобіля (рис. 3).

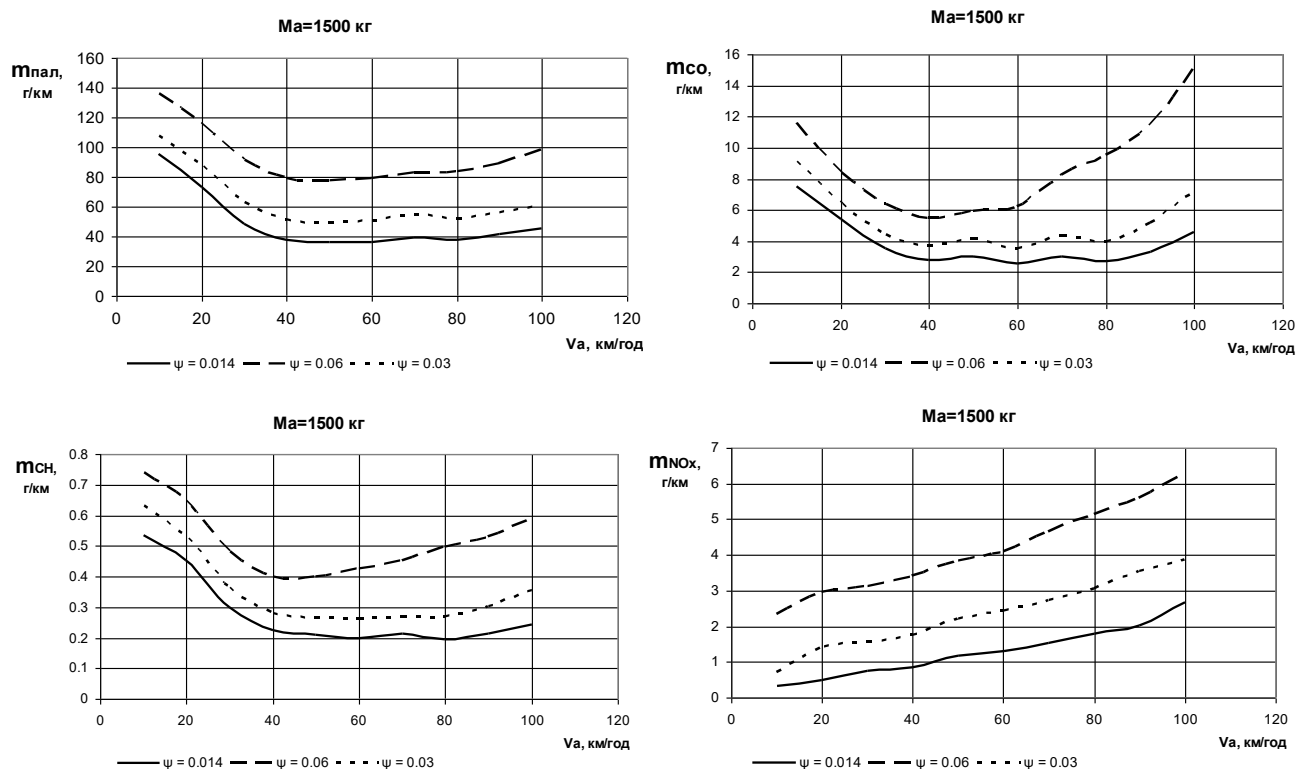


Рисунок 3– Залежності шляхових витрати палива і викидів шкідливих речовин від швидкості бензинового ТЗ категорії М1 з повною масою 1500 кг при різних значеннях коефіцієнта дорожнього опору

Ці дослідження підтверджують суттєвий вплив коефіцієнта дорожнього опору на витрату палива і викиди шкідливих речовин. Зокрема, збільшення коефіцієнта дорожнього опору ψ з 0,014 до 0,03 при постійній швидкості руху ТЗ 100 км/год збільшує витрату палива на 33,3 % (з 45 до 60 г/км), викиди оксиду вуглецю на 55,6 % (з 4,5 до 7 г/км), викиди вуглеводнів на 45,8 % (з 0,24 до 0,35 г/км), викиди оксидів азоту на 50 % (з 2,6 до 3,9 г/км). Подальше збільшення ψ з 0,03 до 0,06 збільшує витрату палива на 59,7%, викиди оксиду вуглецю на 114 %, викиди вуглеводнів на 71,4 %, викиди оксидів азоту на 61,5 %.

Таким чином, забезпечення мінімальних значень коефіцієнта дорожнього опору при проектуванні і будівництві автомобільної дороги є ефективним засобом для поліпшення експлуатаційних показників ТЗ.

Висновки

1. Характеристики автомобільної дороги є суттєвим фактором впливу на показники транспортного засобу в умовах експлуатації.
2. Дорожні умови характеризуються коефіцієнтом дорожнього опору, зокрема опору коченню і опору підйому, який при моделюванні експлуатаційних

показників транспортних засобів на заданих маршрутах може задаватись різними способами: імовірнісним методом і з використанням сучасних інформаційних технологій.

3. Розкрито особливості врахування впливу дорожніх умов, заданих різними способами, на швидкісні властивості, витрату палива та викиди шкідливих речовин транспортних засобів на заданих маршрутах.

4. Встановлено вплив коефіцієнта дорожнього опору на заданому маршруті на показники шляхових витрати палива і викидів шкідливих речовин бензинового транспортного засобу категорії М1 при різних швидкостях усталеного руху.

Література

1. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях: монографія. К., 1991. 179 с.

2. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта // ВИНТИ. Итоги науки и техники. Сер. Автомобильный и городской транспорт. М., 1996. 339 с.

3. Звонов В.А., Козлов А.В., Кутенев В.Ф. Экологическая безопасность автомобиля в полном жизненном цикле. М., 2001. 248 с.

4. Канило П.М. Автотранспорт. Топливо-экологические проблемы и перспективы : монографія. Харків, 2013. 272 с.

5. Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія. К., 2006. 216 с.

6. Матейчик В.П., Цюман М.П., Вайганг Г.О. Моделювання системи «транспортний потік – дорога» // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2014. Вип. 46. С. 371-381.

7. Матейчик В.П., Цюман М.П. Формування структури інтелектуальної системи моніторингу показників екологічної безпеки транспортних засобів на окремих етапах життєвого циклу // Вісник Національного транспортного університету. К., 2015. Вип. 2(32). С. 193-200.

8. Задорожний В., Матейчик В., Клименко О., Куць Н., Методи комплексної оцінки показників роботи автомобілів в експлуатаційних умовах // *Materialy Sympozjumu "Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju systemow pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojezdnych"*. Rzeszow, 1997. P. 255-259.

Рецензенти:

Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ".

Reviewers:

Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.

Nahaichuk V.M. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: 22.03.2017 р.

УДК 001.891.3:629.3:656.7.076:631.11

Соловйова О.О., канд.екон. наук, Пронь С.В., Висоцька І. І., канд.екон. наук

МОДЕЛЮВАННЯ ВИКОНАННЯ АГРАРНИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ТРАНСПОРТНОЇ СКЛАДОВОЇ

Анотація. В даній статті досліджено процес вирощування сільськогосподарських культур як складну динамічну систему, складність якої