

Ф.І. Абрамчук, д.т.н., проф.

В.В. Кривда, к.т.н., доц.

О.П. Сакно, к.т.н., доц.

К.І. Корніленко, ст. викладач

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

С.П. Чуйко, доктор філософії, доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Підвищення ефективності роботи підприємства автотранспорту на основі нормування експлуатаційних показників графоаналітичним методом в умовах декарбонізації міського таксі

Сучасний розвиток міського транспорту супроводжується підвищеними вимогами до екологічності, енергоефективності та оптимізації роботи транспортних підприємств. У межах глобальної політики декарбонізації транспортного сектору особливу увагу приділяють системам міських таксомоторних перевезень, оскільки вони формують значну частку транспортних потоків та викидів CO₂ у містах. У статті розглянуто проблему підвищення ефективності роботи підприємств міського таксі в умовах зростаючих екологічних вимог та необхідності декарбонізації транспортної галузі. Встановлено, що значна частка викидів CO₂ формується не лише через тип силової установки, а й внаслідок нераціональної експлуатації рухомого складу, підвищеного холостого простоя, нераціональної логістики. Запропоновано системний підхід до підвищення екологічної та економічної ефективності автотранспортного підприємства на основі нормування експлуатаційних показників графоаналітичним методом. Розроблено інтегральний показник екологічної ефективності, що враховує коефіцієнт технічної готовності, питому витрату палива, частку холостого ходу, витрати на технічне обслуговування та питомі викиди парникових газів. Обґрунтовано можливість скорочення непродуктивного пробігу та впровадження цифрової маршрутизації. Доведено, що комплексна реалізація запропонованих заходів дозволяє досягти синергетичного ефекту та забезпечити зменшення викидів CO₂ без повної заміни рухомого складу. Отримані результати можуть бути використані при формуванні програм екологічної модернізації підприємств таксомоторних перевезень.

Ключові слова: міське таксі; декарбонізація; експлуатаційні показники; графоаналітичний метод; технічна готовність; логістична оптимізація; викиди CO₂.

Актуальність дослідження. Автотранспортний комплекс є одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища. На частку автомобільного транспорту припадає близько третини від загального обсягу викидів шкідливих речовин, а у великих містах ця величина може досягати 80–90 %, що створює проблеми для здоров'я населення та погіршення стану екологічного довкілля [1].

Інтенсифікація міських перевезень та зростання екологічних вимог до транспортного сектору зумовлюють необхідність пошуку ефективних механізмів декарбонізації автомобільного транспорту. Сегмент міського таксі характеризується високою щільністю експлуатації, значною часткою холостого простоя та нерівномірністю навантаження рухомого складу, що призводить до підвищених питомих викидів CO₂.

У більшості випадків заходи з декарбонізації зосереджуються на електрифікації автопарку, однак експлуатаційні резерви традиційних транспортних засобів з двигуном внутрішнього згорання залишаються недостатньо використаними. Це зумовлює актуальність розроблення системного підходу до підвищення ефективності роботи підприємств автомобільного транспорту, які надають послуги таксомоторних перевезень шляхом нормування експлуатаційних показників та впровадження графоаналітичної моделі оцінювання екологічної ефективності.

Метою дослідження є підвищення екологічної та економічної ефективності підприємства міського таксі шляхом розроблення методики нормування експлуатаційних показників рухомого складу із застосуванням графоаналітичного методу та формування інтегрального показника декарбонізації.

Основні завдання полягають в аналізі актуальних технічних, організаційних та економічних рішень, формуванні системи критеріїв оцінювання, встановленні взаємозв'язку між експлуатаційними параметрами та рівнем викидів, розробленні інтегральної моделі оцінки ефективності, обґрунтуванні практичних заходів зниження викидів без заміни типу силової установки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика підвищення ефективності автомобільного транспорту та зниження екологічного навантаження активно досліджується вітчизняними та зарубіжними

науковцями. У працях, присвячених технічній експлуатації транспортних засобів, обґрунтовано залежність економічності від технічного стану агрегатів та організації технічного обслуговування. Зокрема, дослідження експлуатаційної надійності рухомого складу вказують на необхідність переходу від календарного до адаптивного нормування технічних впливів.

У сучасних дослідженнях, присвячених декарбонізації транспортного сектору, переважає техніко-технологічний підхід, що орієнтований на електрифікацію рухомого складу, використання альтернативних видів палива (біопаливо, зріджений природний газ, водень) та впровадження гібридних силових установок. Перспективи і сучасний стан автомобілів на паливних комірках описані в роботах [2, 3].

Водночас результати прикладних досліджень у сфері транспортної експлуатації свідчать, що значний потенціал скорочення шкідливих викидів пов'язаний не лише зі зміною типу силової установки, а й з оптимізацією режимів руху та управління перевезеннями. Так, у працях, опублікованих у журналі *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, доведено, що адаптивне керування швидкісними режимами та зменшення часу холостого ходу дозволяє скоротити споживання палива на 8–15 %. Дослідження, представлені в [4], підтверджують, що скорочення непродуктивного пробігу в системах міського таксі та сервісів спільних поїздок може забезпечити додаткове зниження сумарних викидів до 20 % без структурної модернізації автопарку [5]. Поряд із довгостроковими інвестиційними заходами, такими як електрифікація, значний резерв декарбонізації міститься у вдосконаленні експлуатаційних процесів, цифровій маршрутизації та оптимізації організації руху, що особливо актуально для підприємств, які здійснюють таксомоторні перевезення, з високою інтенсивністю використання рухомого складу.

Створення нових підходів до інтеграції системи технічної експлуатації автомобілів в інтелектуальні транспортні системи (ITS) може бути здійснено у вигляді віртуальних підприємств в структурі автомобілів загального користування. Інтелектуальна транспортна система у світовій практиці визнана як загальнотранспортна ідеологія, мета якої – інтеграція досягнень телематики в транспортну діяльність з метою вирішення проблем як соціального так і економічного характеру, тобто значне скорочення аварійності, зростання ефективності перевезень громадським транспортом, забезпечення високого рівня транспортної безпеки країни, покращення існуючих екологічних показників [6].

Проблеми логістичної оптимізації міських перевезень розглядаються в роботах [7–8]. Доведено, що застосування алгоритмів динамічного розподілу замовлень та мінімізації порожнього пробігу дозволяє скоротити непродуктивний пробіг на 10–15 %, що еквівалентно зменшенню споживання палива на 6–12 %. Аналіз масштабування сервісів спільних поїздок показав, що оптимізація маршрутів у міських агломераціях забезпечує істотне зниження транспортної роботи без зміни структури автопарку [9]. Однак у більшості зазначених праць логістичні параметри розглядаються ізольовано від технічних показників експлуатації, що не дозволяє сформулювати інтегральну систему оцінювання екологічної ефективності.

Отже, проведений аналіз наукових джерел свідчить про наявність вагомого наукового доробку щодо окремих аспектів енергетичної, технічної та логістичної ефективності транспорту. Проте комплексна методика інтегральної оцінки екологічної ефективності підприємств міського таксі на основі нормування експлуатаційних показників та їх графоаналітичної інтерпретації потребує подальшого наукового обґрунтування та практичної апробації.

Об'єктом дослідження є процес технічної експлуатації автомобілів підприємства міського таксі в умовах інтенсивного міського циклу руху.

Предметом дослідження виступають експлуатаційні, економічні та екологічні показники функціонування рухомого складу та їх взаємозв'язок із рівнем декарбонізації підприємства.

Викладення основного матеріалу. Експлуатація міського таксі відбувається в умовах інтенсивного міського циклу руху, який характеризується частими розгонами та гальмуванням, короткими інтервалами стабілізованої швидкості, значною часткою холостого простою та нерівномірним завантаженням рухомого складу. Зазначені особливості суттєво впливають як на паливну економічність, так і на екологічні показники експлуатації.

У зазначених негативних аспектах автомобілізації особливо важливим є питання надмірного техногенного навантаження на навколишнє середовище, у якому постійно перебуває міське населення. Це навантаження в умовах обмеженого простору руху міських транспортних потоків вимагає визначення меж допустимого впливу на навколишнє середовище [10].

З метою формування інтегральної оцінки ефективності підприємства запропоновано системний підхід, що базується на нормуванні експлуатаційних показників із подальшою їх графоаналітичною інтерпретацією. На першому етапі визначено сукупність ключових параметрів, які найбільш повно відображають технічний, економічний та екологічний стан підприємства:

До складу інтегральної моделі включено п'ять базових показників: K_t – коефіцієнт технічної готовності; K_{fuel} – нормована питома витрата палива; K_{idle} – нормована частка холостого простою; K_{maint} – нормовані витрати на технічне обслуговування; K_{CO_2} – нормовані питомі викиди CO_2 .

Кожен із цих показників безпосередньо або опосередковано впливає на сумарний екологічний результат діяльності підприємства. Оскільки зазначені показники мають різну розмірність, їх приведено до

безрозмірної форми шляхом нормування, нормування здійснюється з урахуванням характеру оптимізації. Для показників, що підлягають мінімізації, використано залежність:

$$K_i = \frac{X_{\min}}{X_i}, \quad (1)$$

де X_i – фактичне значення, X_{\min} , X_{\max} – еталонні межі.

Для показників, що підлягають максимізації, де вагові коефіцієнти визначаються методом експертних оцінок або методом аналізу ієрархій:

$$K_i = \frac{X_i}{X_{\max}}. \quad (2)$$

Такий підхід дозволяє привести всі критерії до єдиної шкали оцінювання в інтервалі [0;1].

Екологічна ефективність підприємства міського таксі не може оцінюватися одним параметром, оскільки рівень викидів формується під впливом сукупності технічних, експлуатаційних і логістичних факторів. Тому доцільним є формування інтегрального показника, що агрегує нормовані критерії в єдину систему оцінювання.

З урахуванням вагових коефіцієнтів, що відображають пріоритетність кожного критерію, інтегральний показник визначається як:

$$K_{int} = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot K_i, \quad (3)$$

де ω_i – ваговий коефіцієнт ($\sum \omega_i = 1$); K_i – нормований показник.

Вагові коефіцієнти визначаються методом експертної оцінки або на основі аналізу чутливості системи. Для підприємств міського таксі доцільно надавати підвищену вагу показникам питомої витрати палива та викидів CO₂.

Для візуалізації використовується радіальна діаграма (багатокутник ефективності). Графоаналітична інтерпретація здійснюється шляхом побудови багатокутника ефективності, вершини якого відповідають нормованим критеріям. Площа багатокутника використовується як додатковий узагальнений критерій рівня ефективності, де збільшення площі свідчить про підвищення екологічної та експлуатаційної збалансованості системи:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n K_i \cdot K_{i+1} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right). \quad (4)$$

Рівень викидів парникових газів автомобілем із двигуном внутрішнього згоряння безпосередньо визначається кількістю спаленого палива. Це пояснюється тим, що вуглець, який міститься в паливі, у процесі повного згоряння практично повністю окислюється до діоксиду вуглецю. Таким чином, маса утвореного CO₂ пропорційна масі спаленого палива. Для практичних розрахунків використовують питомий коефіцієнт емісії: для бензину він становить приблизно 2,31 кг CO₂ на 1 літр, для дизельного палива – близько 2,64 кг CO₂ на 1 літр. Це означає, що кожен додатковий літр палива автоматично генерує фіксовану кількість викидів.

Тому базова залежність має вигляд: маса викидів дорівнює витраті палива, помноженій на коефіцієнт емісії. Однак ця формула не пояснює, чому змінюється сама витрата палива. Саме тому моделювання викидів фактично зводиться до моделювання витрати палива як функції умов експлуатації транспортного засобу. У роботі використано графоаналітичний метод аналізу експлуатаційних показників таксомоторних перевезень, що передбачає побудову залежностей між основними параметрами роботи транспортних засобів.

Особливістю міського циклу є динамічний характер руху. Автомобіль постійно розганяється та гальмує. Під час розгону двигун повинен надати транспортному засобу кінетичну енергію, яка пропорційна масі та квадрату швидкості. Під час гальмування ця енергія в автомобілях без систем рекуперації повністю перетворюється на тепло і втрачається. Таким чином, кожен новий розгін потребує додаткового спалювання палива. Чим частіше повторюється цикл «розгін – гальмування», тим більша сумарна витрата палива та, відповідно, рівень викидів.

Окремо слід враховувати втрати в трансмісії та самому двигуні. Не вся індикаторна потужність, що утворюється в циліндрах, перетворюється на корисну роботу на колесах. Частина енергії витрачається на подолання внутрішнього тертя в парах тертя двигуна та в елементах трансмісії. Механічний коефіцієнт корисної дії показує, яка частка індикаторної потужності перетворюється на ефективну. Зношування деталей, підвищена в'язкість мастильних матеріалів або порушення режимів технічного обслуговування збільшують механічні втрати. Це означає, що для забезпечення тієї самої потужності на колесах необхідно спалити більшу кількість палива.

Важливим фактором у міських умовах є робота двигуна на холостому ходу. У цьому режимі паливо спалюється, однак корисна механічна робота не виконується, оскільки автомобіль не переміщується. З енергетичної точки зору це найбільш неефективний режим експлуатації. Якщо частка часу холостого

простою становить значну частину зміни, сумарні викиди підприємства зростають без збільшення транспортної роботи.

Сукупний вплив усіх зазначених факторів можна розглядати як багатофакторну функцію, у якій витрата палива залежить від маси автомобіля, швидкості руху, прискорення, коефіцієнта опору коченню, аеродинамічних характеристик, механічного коефіцієнта корисної дії двигуна та тривалості холостого простою. Відповідно, рівень викидів є добутком цієї функції на коефіцієнт емісії конкретного виду палива.

З наукової точки зору така модель дозволяє перейти від простого констатування факту підвищених викидів до аналізу їх причин. Змінюючи окремі параметри – наприклад, зменшуючи масу автомобіля, оптимізуючи тиск у шинах, скорочуючи тривалість холостого простою або підвищуючи механічний ККД двигуна – можна оцінити чутливість системи до цих змін. Чутливість визначається як ступінь зміни викидів при незначній зміні певного параметра. Це дає можливість ранжувати фактори за їх впливом і визначати пріоритетні напрямки управлінських рішень.

Отже, рівень викидів CO₂ є результатом не лише типу двигуна чи виду палива, а наслідком складної взаємодії експлуатаційних параметрів. Саме тому підвищення екологічної ефективності автотранспортного підприємства можливе не лише через оновлення рухомого складу, але й через оптимізацію режимів руху, удосконалення технічного обслуговування та раціональну організацію експлуатаційного процесу. Для бензинових двигунів питомий коефіцієнт емісії становить приблизно 2,31 кг CO₂ на 1 літр палива, для дизельних – близько 2,64 кг CO₂/л, базовим рівнянням оцінки викидів є:

$$E = G \cdot EF, \quad (5)$$

де E – маса викидів CO₂, кг; G – витрата палива, л; EF – коефіцієнт емісії, кг/л.

Ця формула відображає прямий хімічний зв'язок між кількістю спаленого палива та масою утвореного CO₂. Оскільки під час повного згоряння весь вуглець переходить у CO₂, маса викидів є строго пропорційною витраті палива.

Запишемо залежність витрати палива від потужності, необхідної для руху:

$$G = \frac{P_{eng}}{\eta_e \cdot H_u}, \quad (6)$$

де P_{eng} – середня ефективна потужність двигуна, кВт; η_e – ефективний ККД двигуна; H_u – нижча теплота згоряння палива, кДж/л.

Отже, будь-яка зміна експлуатаційного фактора, яка впливає на витрату палива, автоматично змінює й рівень викидів, моделювання викидів фактично зводиться до моделювання витрати палива як функції експлуатаційних факторів. Фізичний зміст пояснюється наступним, двигун перетворює хімічну енергію палива у механічну, якщо для руху потрібна більша потужність через більшу масу, швидкість або часті розгони, двигун змушений спалювати більше палива.

З формули видно, при збільшенні необхідної потужності витрата палива зростає пропорційно, при зниженні ККД двигуна витрата палива зростає, при покращенні технічного стану (зростанні η_e) витрата палива зменшується. Для графоаналітики тут доцільно будувати залежність: $G = f(P_{eng})$ – пряма лінія; $G = f(\eta_e)$ – обернено пропорційна залежність. Надалі розглянемо потужність, яка необхідна для руху в міському циклі:

$$P_{eng} = \frac{1}{\eta_t} \left(m \cdot g \cdot f_r \cdot V + \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot A \cdot V^3 + m \cdot a \cdot V \right), \quad (7)$$

де m – маса автомобіля, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с²; f_r – коефіцієнт опору коченню; ρ – густина повітря, кг/м³; C_d – коефіцієнт аеродинамічного опору; A – площа фронтальної проекції, м²; V – швидкість руху, м/с; a – прискорення, м/с²; η_t – ККД трансмісії.

У дужках знаходиться сумарна механічна потужність, що витрачається на подолання опору коченню – пропорційно масі та швидкості, подолання аеродинамічного опору – пропорційно кубу швидкості, забезпечення розгону – пропорційно масі та прискоренню. Формула показує, чому збільшення маси підвищує витрати, зростання швидкості різко збільшує витрати через V^3 , інтенсивний міський рух із частими розгонами значно підвищує споживання палива. Підставивши формулу потужності в формулу витрати палива, а потім у формулу викидів, отримуємо узагальнену залежність:

$$E = \frac{EF}{\eta_e \cdot H_u} \cdot \frac{1}{\eta_t} \left(m \cdot g \cdot f_r \cdot V + \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot A \cdot V^3 + m \cdot a \cdot V \right). \quad (8)$$

Отже, модель дозволяє перейти від якісного аналізу до кількісної оцінки впливу кожного експлуатаційного параметра на сумарні викиди CO₂, що є основою для подальшого формування інтегрального показника екологічної ефективності автотранспортного підприємства (рис. 1). На основі побудованих графічних залежностей визначаються раціональні межі експлуатаційних параметрів роботи автомобілів таксі. Такий підхід дозволяє встановити оптимальні значення показників використання рухомого складу та сформулювати нормативи ефективної роботи підприємства.

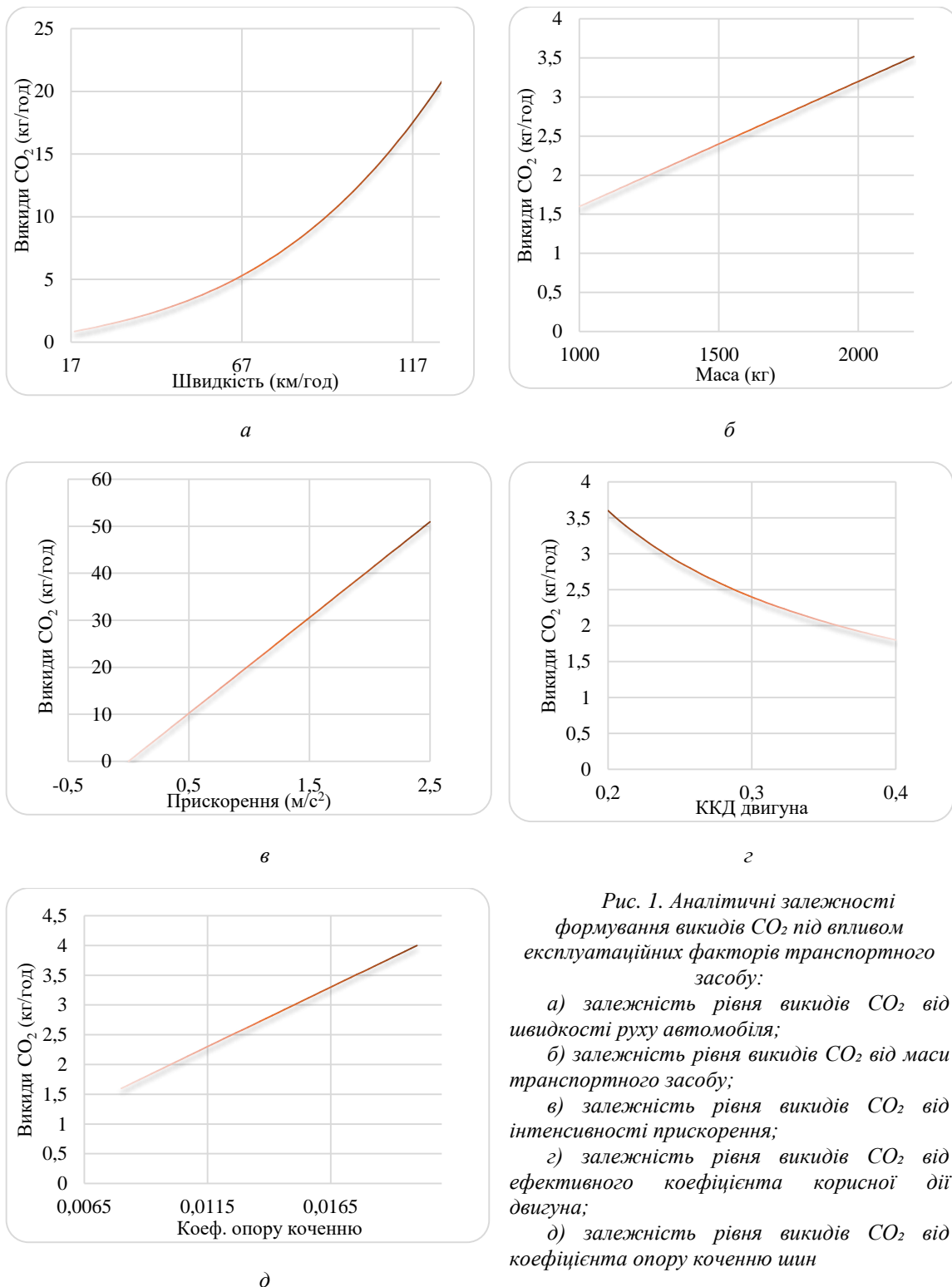


Рис. 1. Аналітичні залежності формування викидів CO₂ під впливом експлуатаційних факторів транспортного засобу:

- а) залежність рівня викидів CO₂ від швидкості руху автомобіля;*
- б) залежність рівня викидів CO₂ від маси транспортного засобу;*
- в) залежність рівня викидів CO₂ від інтенсивності прискорення;*
- г) залежність рівня викидів CO₂ від ефективного коефіцієнта корисної дії двигуна;*
- д) залежність рівня викидів CO₂ від коефіцієнта опору коченню шин*

На рисунку 1, а продемонстровано нелінійне зростання викидів CO₂ зі збільшенням швидкості руху транспортного засобу. У діапазоні малих і середніх швидкостей приріст викидів є помірним, однак після досягнення певного порогу спостерігається різке зростання кривої. Отримана крива підтверджує, що швидкісний режим є одним із найвагоміших факторів формування екологічного навантаження. Рисунок 1, б свідчить про те, що графік має лінійний характер, пряма пропорційна залежність між масою автомобіля та рівнем викидів. Збільшення маси призводить до підвищення сили опору коченню, а також до збільшення енергетичних витрат під час розгону. За умов сталої швидкості та однакового режиму руху кожне додаткове збільшення маси спричиняє пропорційне зростання витрати палива. Графік на рисунку 1, в відображає пряму пропорційність між прискоренням та рівнем викидів CO₂. Чим інтенсивніший розгін,

тим більша потужність необхідна для збільшення кінетичної енергії автомобіля. Лінійний характер залежності підтверджує, що стиль керування транспортним засобом є суттєвим експлуатаційним фактором, який безпосередньо впливає на екологічну ефективність. Рисунок 1, з, де графік має обернено нелінійний характер зі збільшенням ефективного коефіцієнта корисної дії двигуна рівень викидів зменшується. Рисунок 1, д показує лінійну залежність між коефіцієнтом опору коченню та рівнем викидів CO₂. Зростання коефіцієнта опору коченню означає збільшення енергетичних втрат у зоні контакту шини з дорожнім покриттям, що вимагає додаткової потужності від двигуна. Внаслідок цього витрата палива та відповідні викиди зростають пропорційно.

Висновки. У результаті графоаналітичного моделювання встановлено, що найбільш суттєво нелінійно впливає на рівень викидів CO₂ швидкість руху транспортного засобу через зростання аеродинамічних втрат. Маса автомобіля, коефіцієнт опору коченню та інтенсивність прискорення формують переважно лінійну залежність збільшення викидів, що підтверджує можливість їх прогнозованого регулювання. Підвищення ефективного ККД двигуна забезпечує зворотну нелінійну залежність і є одним із найбільш результативних напрямів зниження екологічного навантаження.

Застосування графоаналітичного методу нормування експлуатаційних показників дозволяє підвищити ефективність роботи підприємств автотранспорту та забезпечити більш раціональне використання рухомого складу. В умовах декарбонізації транспортної галузі та переходу до електричного транспорту такі підходи є важливим інструментом планування діяльності таксомоторних підприємств та зменшення екологічного навантаження міського транспорту.

Список використаної літератури:

1. Колومیєць С.В. Оцінка ефективності управлінських рішень щодо підвищення рівня екологічної безпеки автотранспортного підприємства / С.В. Колومیєць, А.С. Колومیєць // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. Технології захисту навколишнього середовища. – 2021. – № 4 (487). – С. 92–97.
2. Колодницька Р.В. Проблеми і перспективи використання дизельного біопалива та водню в автомобільному транспорті / Р.В. Колодницька // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту : матеріали ІХ міжнародної науково-технічної інтернет-конференції, 14–15 квітня. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – С. 139–144.
3. Колодницька Р.В. Автомобілі на водневих паливних комірках. Мрія чи реальність для України? / Р.В. Колодницька, В.П. Шумляківський // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : тези XIII міжнародної науково-практичної конференції, 26–28 жовтня. – Житомир, 2020. – С. 34–36.
4. A review of the role of spatial resolution in energy systems modelling: Lessons learned and applicability to the North Sea region / R.Martínez-Gordón, G.Morales-España, J.Sijm, A.P.C. Faaij // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. – Vol. 141. DOI: 10.1016/j.rser.2021.110857.
5. Impact of Driver Behavior on Fuel Consumption: Classification, Evaluation and Prediction Using Machine Learning / P.Peng, W.Qin, Y.Xu, C.Miyajima // IEEE Access. – 2019. – P. 1–1. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2920489.
6. Основи інтеграції системи технічної експлуатації транспортних засобів в інтелектуальні транспортні системи / В.Волков, Т.Волкова, В.Кужель та ін. // Журнал машинобудування та транспорту. – 2024. – № 10 (2). – P. 21–30. DOI: 10.63341/vjmet/2.2024.21.
7. Василюшин П.А. Інформаційно-вимірювальна система для контролю стану транспортних засобів з використанням технології Internet of Things / П.А. Василюшин, А.В. Редчук, А.М. Паламар // Інформаційні моделі, системи та технології : матеріали VIII науково-технічної конференції, 9–10 грудня. – Т. : ТНТУ, 2020. – 97 с.
8. Оперативний контроль технічного стану транспортних засобів : монографія / І.В. Гришук, В.П. Волков, І.В. Худяков та ін. – Харків ; Херсон ; Вінниця : Едельвейс і К, 2022. – 197 с.
9. Rovai F. Lubricant Viscosity Impact in Fuel Economy: Experimental Uncertainties Compensation / F.Rovai, E.Tomanik // Lubricants. – 2025. – Vol. 13. – 49 p. DOI: 10.3390/lubricants13020049.
10. Ісаєнко В.М. Інженерна екологія : підручник / В.М. Ісаєнко ; за заг. ред. В.М. Ісаєнка. – 2-ге вид. – К. : НАУ, 2019. – 452 с.

References:

1. Kolomiets, S.V. and Kolomiets, A.S. (2021), «Otsinka efektyvnosti upravlinskykh rishen shchodo pidvyshchennia rivnia ekolohichnoi bezpeky avtotransportnoho pidpriemstva», *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho universytetu korablebuduvannia*, *Tekhnologii zakhystu navkolyshnoho seredovyshcha*, No. 4 (487), pp. 92–97.
2. Kolodnytska, R.V. (2021), «Problemy i perspektyvy vykorystannia dyzelnoho biopalyva ta vodniu v avtomobilnomu transporti», *Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu*, materialy IX mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii, 14–15 kvitnia, VNTU, Vinnytsia, pp. 139–144.
3. Kolodnytska, R.V. and Shumliakivskyi, V.P. (2020), «Avtomobilni na vodnykh palyvnykh komirkakh. Mriia chy realnist dlia Ukrainy?», *Suchasni tekhnologii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu : tezy XIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, 26–28 zhovtnia, Zhytomyr, pp. 34–36.
4. Martínez-Gordón, R., Morales-España, G., Sijm, J. and Faaij, A.P.C. (2021), «A review of the role of spatial resolution in energy systems modelling: Lessons learned and applicability to the North Sea region», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 141, doi: 10.1016/j.rser.2021.110857.
5. Peng, P., Qin, W., Xu, Y. and Miyajima, C. (2019), «Impact of Driver Behavior on Fuel Consumption: Classification, Evaluation and Prediction Using Machine Learning», *IEEE Access*, pp. 1–1, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2920489.

6. Volkov, V., Volkova, T., Kuzhel, V. et al. (2024), «Osnovy intehratsii systemy tekhnichnoi ekspluatatsii transportnykh zasobiv v intelektualni transportni systemy», *Zhurnal mashynobuduvannia ta transportu*, No. 10 (2), pp. 21–30, doi: 10.63341/vjmet/2.2024.21.
7. Vasylyshyn, P.A., Redchuk, A.V. and Palamar, A.M. (2020), «Informatsiino-vymiriuvalna sistema dlia kontroliu stanu transportnykh zasobiv z vykorystanniam tekhnolohii Internet of Things», *Informatsiini modeli, systemy ta tekhnolohii*, materialy VIII naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 9–10 hrudnia, TNTU, T., 97 p.
8. Hrytsuk, I.V., Volkov, V.P., Khudiakov, I.V. et al. (2022), *Operatyvnyi kontrol tekhnichnoho stanu transportnykh zasobiv*, monohrafiia, Edelveis i K, Kharkiv, Kherson, Vinnytsia, 197 p.
9. Rovai, F. and Tomanik, E. (2025), «Lubricant Viscosity Impact in Fuel Economy: Experimental Uncertainties Compensation», *Lubricants*, Vol. 13, 49 p., doi: 10.3390/lubricants13020049.
10. Isaenko, V.M. (2019), *Inzhenerna ekolohiia*, pidruchnyk, in Isaenko. V.M. (ed.), 2nd ed., NAU, Kyiv, 452 p.

Абрамчук Федір Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри автомобільного транспорту Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0001-7430-7484>.

Наукові інтереси:

– надійність автомобілів; оптимізація процесу декарбонізації ДВЗ.

E-mail: fedor.abramchuk@gmail.com.

Кривда Віталій Валерійович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобільного транспорту Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-8304-2016>.

Наукові інтереси:

– технічна експлуатація автомобілів.

E-mail: krivda.v.v@nmu.one.

Сакно Ольга Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-4672-6651>.

Наукові інтереси:

– технічна експлуатація автомобілів.

E-mail: sakno-olga@ukr.net.

Корніленко Костянтин Ігорович – асистент кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-0567-8534>.

Наукові інтереси:

– розробка вібраційного обладнання.

E-mail: Kornilenko.K.I@nmu.one.

Чуйко Сергій Петрович – доктор філософії з автомобільного транспорту, доцент кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-7052-5158>.

Наукові інтереси:

– технічна експлуатація автомобілів.

E-mail: expertoauto@ukr.net.

Abramchuk F.I., Krivda V.V., Sakno O.P., Kornilenko K.I., Chuiko S.P.

Improving the efficiency of a motor transport enterprise by standardizing performance indicators using a graph-analytical method in the context of decarbonization of the urban taxis

The modern development of urban transport is accompanied by increased demands for environmental sustainability, energy efficiency, and operational optimization of transport enterprises. In the context of the global decarbonization policy of the transport sector, special attention is paid to urban taxi systems, as they account for a significant share of urban traffic and CO₂ emissions in cities. This article examined the problem of improving the operational efficiency of urban taxi companies in the context of growing environmental requirements and the need to decarbonize the transport industry. The analysis indicated that a substantial share of CO₂ emissions arose not only from the type of powertrain but also from inefficient operation of the vehicle fleet, increased idling, and inefficient logistics. A systematic approach to enhancing the environmental and economic performance of a motor transport enterprise was proposed based on the standardization of operational indicators through a graph-analytical method. An integrated environmental efficiency indicator has been developed, taking into account the technical readiness factor, specific fuel consumption, the proportion of idling, maintenance costs, and specific greenhouse gas emissions. The study demonstrated the potential to reduce unproductive mileage and implement digital routing solutions. The results demonstrated that the comprehensive implementation of the proposed measures produced a synergistic effect and a reduction in CO₂ emissions without requiring complete fleet replacement. The results obtained can be used in developing environmental modernization programs for taxi companies.

Keywords: urban taxi; decarbonization; operational indicators; graph-analytical method; technical readiness; logistics optimization; CO₂ emissions.

Стаття надійшла до редакції 16.01.2026.