

О. П. Сакно¹
Є. П. Медведєв²
П. Й. Єлісєєв²
С. В. Цимбал³
Д. Л. Мойся⁴

ПОБУДОВА ГРАФОВОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

¹Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

²Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

³Вінницький національний технічний університет

⁴Станція технічного обслуговування автомобілів «Гарант»

Невизначеність даних при моніторингу довкілля заважає впевнено і об'єктивно оцінювати поточний стан навколишнього середовища, вплив факторів на витрати палива транспортних засобів в процесі експлуатації. Крім того, невизначеність створює серйозну проблему при оцінці динаміки цього стану, особливо якщо мова йде про відносно невеликі рівні забруднень, що знаходяться на межі чутливості систем та приладів в автомобілі. Саме до таких завдань відноситься визначення забруднення атмосфери викидами автомобільного транспорту в умовах змінних погодно-кліматичних умов, проведення регламентних робіт, зміни конфігурації двигуна чи трансмісії. В статті розглядаються: фактори, що пов'язані з характеристиками і системами автомобіля, з технічним обслуговуванням автомобілів. Ця категорія фокусується на витраті палива і викидах CO₂, які залежать від техніко-експлуатаційних характеристик автомобіля, його маси і аеродинаміки, шин і допоміжних систем, якості та своєчасності проведення ТО і ремонту; фактори, що пов'язані з навколишнім середовищем і умовами руху (погодні умови, морфологія дороги і умови руху); фактори, що пов'язані з водієм автомобіля (кваліфікація водія, стиль водіння). Виконано оптимізацію факторів, що пов'язані з системами автомобіля і їхніми характеристиками; при використанні палива оптимальної якості і ефективного водіння досягається економія витрати палива (фінансових коштів) і зменшення викидів CO₂. В статті запропоновано вирішення складної задачі щодо управління транспортним процесом при мінімізації витрат палива і викидів CO₂ від легкових автомобілів в залежності від дорожньо-кліматичних умов і кваліфікації водія на основі теорії нечітких множин. Такий підхід дав можливість значною мірою компенсувати недолік об'єктивної інформації про процес внаслідок її невизначеності, суб'єктивними експертними даними.

Ключові слова: автомобіль, витрата палива, екологічність, графова модель.

Вступ

Автомобільний транспорт є однією з основних причин забруднення навколишнього середовища. Відповідно до недавнього дослідження U.S. EPA [1], на нього припадає близько 30 % від загального обсягу викидів CO₂ в атмосферу.

У 2018 році автомобілі та мікроавтобуси становили майже п'яту частину загального обсягу викидів Великобританії. Боротьба з цими викидами має вирішальне значення для успішного досягнення наших цілей щодо зміни клімату. Прем'єр-міністр у рамках свого плану «Ten point plan for a green industrial revolution» оголосив, що країна припинить продаж нових бензинових та дизельних автомобілів та мікроавтобусів до 2030 року. Зараз транспорт є найбільшим сектором викидів парникових газів Великобританії, що становить 27 % внутрішніх викидів Великобританії за 2019 р., викиди скоротилися лише на 5 % починаючи з 1990 року [2].

Метою роботи є огляд і аналіз літератури, де розглядаються фактори, які впливають на викиди CO₂ та витрати палива автотранспортними засобами (АТЗ) в реальних умовах експлуатації; пошук і апробація ефективних методів моделювання та дослідження цих параметрів, оцінка викидів CO₂ з використанням моделей на основі нечіткої логіки.

Результати дослідження

Невизначеність як термін має багато значень. Загалом, в метрологічному сенсі, це параметр, який пов'язаний з результатом вимірювання, що характеризує відхилення величини, і який по праву може вважатися специфічною властивістю вимірюваної величини. Невизначеність може включати багато компонентів, в тому числі таких, які оцінюються на підставі статистичних розподілів результатів серії вимірювань (стандартні відхилення), або виводяться з припущень про імовірнісний розподіл на

підставі іншої інформації. Невизначеність можна розглядати як певні сумніви або обмежені знання про конкретну величину, але вона, як правило, не є питанням про обґрунтованість даних вимірювання. Навпаки, невизначеність передбачає збільшення довіри до результатів вимірювань, оскільки вона чітко визначає межі, в яких знаходиться вимірювана величина, однак не може вказати точне положення її в межах цих кордонів.

Джерелами невизначеності можуть бути: неповне (недостатнє) визначення; неадекватне квантування; ефект матриці; перешкоди; умови навколишнього середовища; невизначеності в приладах для вимірювання; неадекватні еталони; апроксимації і припущення, пов'язані з методиками і процедурами вимірювання; випадкові варіації. При оцінці стану навколишнього середовища до вказаних загальним джерел невизначеності, як правило, додаються ще такі:

- поріг чутливості детекторів (особливо коли мова йде про рівні забруднення, які можна порівняти з такими порогами);

- перехід з однієї шкали вимірювань до іншої або з однієї моделі до іншої (коли на різних шкалах вимірювання і для різних моделей чутливість має різні значення);

- радіус надійного детектування або моделювання (за його межами вимірювання або модельні розрахунки характеризуються невизначеністю);

- нерівномірність умов навколишнього середовища (для більш однозначної оцінки необхідна істотна більшість точок відбору проб, а також певне інтегрування моделей);

- неадекватність моделей для розв'язання задач модельного моніторингу (кожна з моделей використовує свій набір емпіричних параметрів, які є унікальними і, до того ж, враховують ідеалізовані умови, які насправді можуть істотно відрізнитися від реальних).

Я. Занг та З. Йе в 2008-му [3] запропонували методологію системи, заснованої на нечіткій логіці, щодо прогнозування параметрів транспортного потоку з використанням подвійного петльового детектора транспорту. Результати прогнозування показали, що система, що базується на нечіткій логіці, дає більш точні і стійкі прогнозні показники. Також система показала високу надійність при прогнозуванні параметрів транспортних потоків для різних станів транспортного потоку і детекторів транспорту.

Група дослідників [4] представила концепцію, яка заснована на нечіткій логіці, та названа «Значна термінова фаза і незначна термінова фаза». Концепція встановила правила вибору керуючих впливів, що базуються на нечіткій логіці, для оптимізації параметрів транспортного потоку і мінімізації затримок транспорту на світлофорних об'єктах.

Автори [5] в 2009 р. представили модель управління дорожнім рухом на основі алгоритму Сугено. Порівняльний аналіз між моделлю управління, заснованою на нечіткій логіці, і моделлю управління з зафіксованим циклом регулювання показав більш високу ефективність моделі системи управління дорожнім рухом, що базується на алгоритмі Сугено [6].

Розроблено трирівневу модель, яка призначена для розрахунку параметрів транспортних потоків на вулично-дорожній мережі та надання користувачам (водіям) інформації про маршрути слідування для мінімізації затримок на мережі [7]. Пропонована трирівнева модель є сполучною ланкою між автоматизованою системою управління дорожнім рухом і системою контролю інцидентів і маршрутного орієнтування в складі інтелектуальної транспортної системи [8]. Інновацією в моделі першого рівня є підхід у визначенні умов при знаходженні нечіткої множини без використання стандартного алгоритму – алгоритму місцевого гнучкого регулювання.

Моніторинг впливу факторів на зміну витрати пального в процесі експлуатації автотранспортних засобів (АТЗ) мають велике значення для водія, особливо для автопідприємства [9]. Основні фактори можна звести в табл. 1.

Більш детально в нашій моделі зупинимося на факторі контролю.

Контроль за технічним станом колісного вузла на АТЗ, контроль тиску в шинах згідно з нормою економить паливо (3...4 %) і зменшує знос шин і елементів ходової частини автомобіля. Опір коченню залежить від конструкції шин, температури навколишнього середовища, температури і тиску в шинах. Недокачані шини створюють більше опору коченню і тому збільшується витрата палива [15].

Старіння, накопичений пробіг і коливання температури можуть призвести до втрат тиску. Низький тиск в шинах призводить до більш високого опору коченню [24], що безпосередньо збільшує витрату палива [25].

Вплив факторів на зміну витрати пального

Фактори	Витрата палива, %	Наслідки
Технічний стан автомобільних коліс		
Сходження коліс	Збільшення на 1–2 %	Передчасний знос шин через збільшення навантаження на міст, збільшуючи при цьому знос його складових елементів
Регулювання коліс	Збільшення на 2–3 %	Знижує термін служби компонентів колеса
Встановлення додаткових елементів (додаткові стелажі, бокси, велосипедні носії, фари, маяки, що обертаються, додаткові бампери тощо) [10]	Збільшення до 5 %	Збільшує енергоспоживання і опір повітря при русі
Система кондиціонування повітря [11]	Збільшення близько 25 %	Велике допоміжне навантаження на автомобіль
Установка правильних шин на АТЗ, контроль тиску в шинах згідно з нормою [12]	Збільшення на 3–18%	Знос шин і елементів ходової частини автомобіля. Недокачані шини створюють більше опору коченню
Клімат-контроля	Збільшення приблизно 10 %	
Круїз-контроль	Економія 3–4%	
Регулярне технічне обслуговування	Зниження до 15 %	Зниження викидів, зносу всіх компонентів, витрат на додатковий ремонт основних агрегатів і механізмів
Рух АТЗ в колоні, дотримання дистанції близько 70–100 метрів	Економія до 5 %	Зменшується опір повітря
Попередньо нагрів двигуна [13]	Економія 1–2 %	2–3% більш низькі викиди від початку роботи двигуна
Технічний стан гальм і їх використання в процесі експлуатації [14]	Збільшення до 5 %	
Тривалий холостий хід	Збільшення до 2 %	Збільшуються викиди в атмосферу
Втрата стійкого темпу руху АТЗ (зменшення швидкісного режиму)	Збільшення до 10 %	
Надмірно висока швидкість руху [15]	Збільшення: легкові АТЗ до 5–15 %, комерційні АТЗ до 27 %	Збільшується ризик смертельних нещасних випадків на 40%, значний знос силових агрегатів. Опір повітря збільшується пропорційно квадрату швидкості транспортного засобу
Водіння по автомагістралі	Економія 16 %	
Рух на правильній передачі	Економія 5 %	
Перевантаження автомобіля [14]	Збільшення до 7 %	Збільшується потужність трансмісії, двигуна, знос ходової і несучої частини
Зниження ваги АТЗ [16]	Економія 5–10 %	Зменшується потужність трансмісії, двигуна
Підвищення аеродинамічного опору транспортного засобу [17]	Зниження до 35 %	Підвищення викидів CO ₂ до 3%. Підвищується стійкість автомобіля за рахунок зниження підйомної сили і бічних сил
Зниження опору коченню [18]	Зниження до 3 %	Опір коченню шин в умовах NEDC становить 20–25% від загальної втрати енергії автомобіля
Багажники на даху АТЗ [19]	Збільшення до 3 %	Погіршує аеродинамічний опір транспортного засобу
Морфологія (характеристика) дороги [20]	Збільшення до 5 %	Збільшення викидів CO ₂ на 2...5 %, переміщення на нижчій передачі, низька швидкість
Шорсткість і текстура дороги [21]	Збільшення до 5–10 %	Збільшується інтенсивність ТО і ремонту основних агрегатів АТЗ, змінюється опір тертя шини на поверхні дороги, процес гальмування
Умови руху і затори [22]	Збільшення до 5 %	Низька швидкість водіння в міських умовах, збільшується трафік, що впливає на поведінку водіїв
Конструктивні особливості повнопривідний автомобіль [23]	Збільшення до 2 %	

Всі шини мають позначений робочий тиск і відхилення від нього впливає на їх опір коченню. На рис. 1 показано, як опір коченню і витрата палива можуть бути пов'язані з тиском в шинах, використовуючи дані, представлені в [12]. Вплив тиску на опір коченню не є лінійним: зниження тиску повітря 0,3 бар викликає збільшення на 6 %, а зниження тиску повітря 1 бар – збільшення на 30 %.

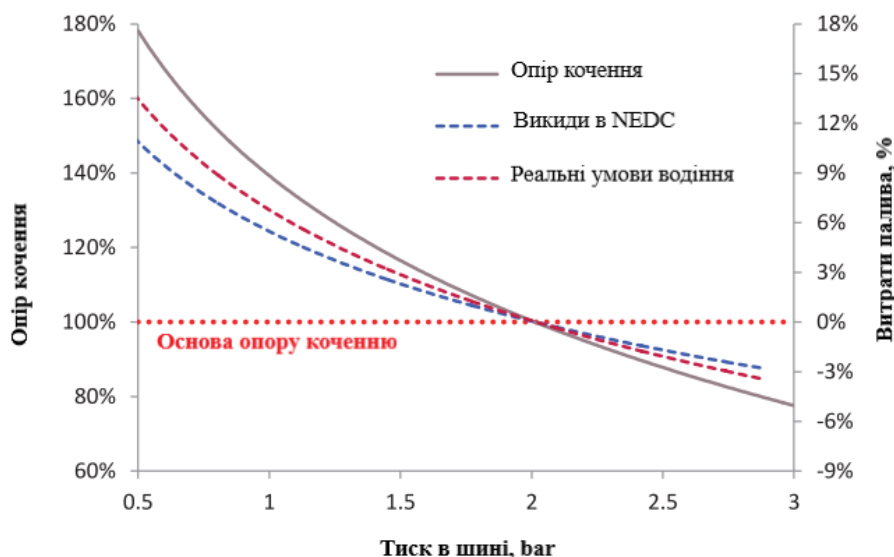


Рис. 1. Залежність опору коченню шин (ліва сторона) і витрати палива (права сторона) в залежності від тиску в шинах. Базовий опір коченню дорівнює 100 %, що виміряно при 2,1 бар відповідно ISO 8767 [12]

В дослідженні [26] було вивчено вплив низького тиску в шинах на витрату палива в умовах постійної швидкості в діапазоні від 64 до 129 км/год з інтервалом 8 км/год і знайдено 6–10 % (0,40–0,46 л/100 км) збільшення витрат палива. Середньо недостатній тиск повітря в шині в 0,18 бар призводить до збільшення споживання палива на 0,7 % в місті і на 1 % на шосе [27].

У зв'язку з впливом тиску в шинах на витрату палива і безпеку всі нові моделі легкових автомобілів, що випущені в США (з 2008 року) і в Європейському союзі (з 2012 року), повинні бути оснащені системою контролю тиску в шинах (TPMS).

Таким чином, було розроблено графову модель визначення екологічності транспортного процесу.

Побудова графової моделі визначення екологічності транспортного процесу складається з таких етапів:

1. Аналіз транспортного процесу автомобіля з урахуванням впливових факторів (рисунок 2).

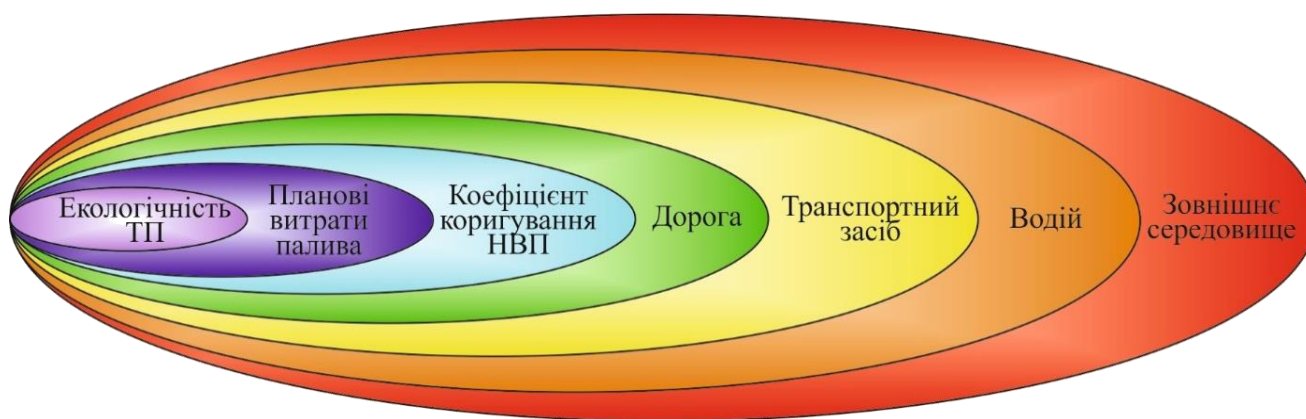


Рис. 2. Взаємодія систем при вирішенні задачі екологічності транспортного процесу

2. Визначення залежних та незалежних параметрів.

3. Побудова логічних ланцюжків на основі визначення взаємозв'язків залежних та незалежних параметрів.

4. Об'єднання логічних ланцюжків у зв'язки та розв'язки із побудовою графової моделі.

В результаті проведеного аналізу було виділено групу елементів, за допомогою яких буде проведено подальше дослідження.

Із системи транспортних потоків ми обираємо елементи (параметри), які є найбільш суттєвими для досягнення поставленої нами мети. Кількість розглянутих елементів обмежена тому, що за даними таблиці 1 дуже багато факторів впливають на екологічність та економічність транспортного процесу автомобіля. Врахувати усі фактори дуже складно, кожен фактор має пріоритети в різних умовах експлуатації автомобіля (рис. 3).

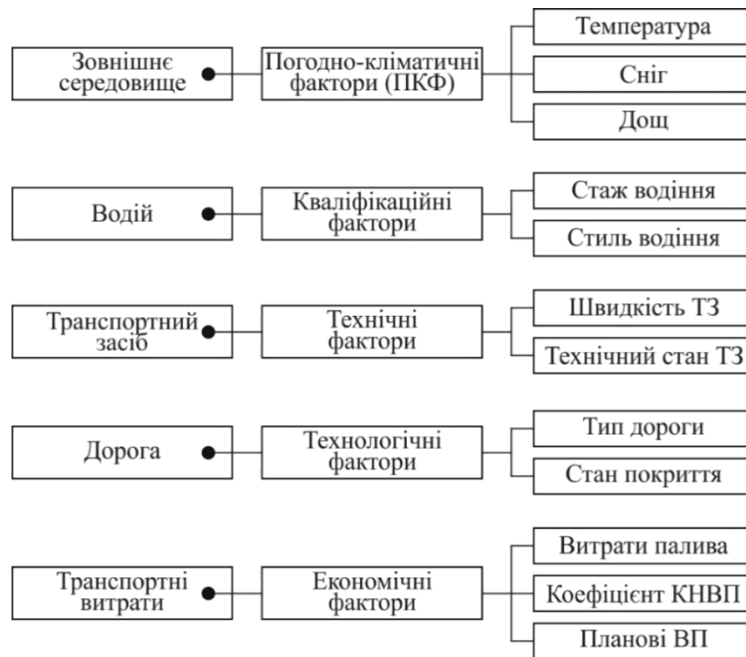


Рис. 3. Елементи (параметри), які є найсуттєвіші для досягнення поставленої нами мети

Етапи моделювання:

1. Визначення залежних та незалежних параметрів

До незалежних параметрів віднесено:

- кваліфікацію водія;
- тип дороги;
- погодно-кліматичні фактори (ПКФ).

В свою чергу, до залежних параметрів, віднесено:

- швидкість транспортного засобу (ТЗ);
- технічний стан транспортного засобу (ТЗ);
- витрати палива;
- коефіцієнт коригування норм витрат палива (НВП);
- планові витрати палива;
- екологічність транспортного процесу.

2. Після визначення залежних та незалежних параметрів, визначимо їх вплив та побудуємо логічні ланцюжки (рис. 4).

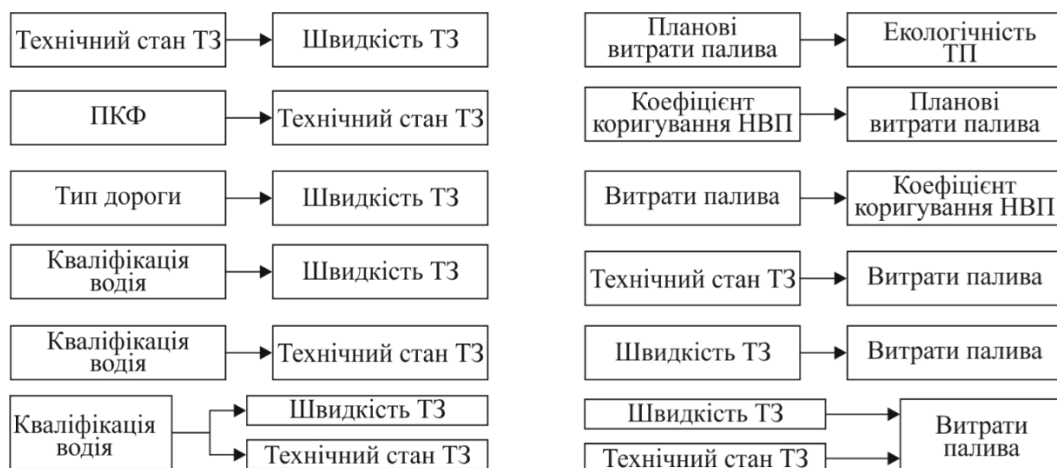


Рис. 4. Параметри впливу факторів на екологічність та економічність транспортного процесу автомобіля

Ланцюжки, які мають один вихід та два входи, будемо називати логічною розв'язкою. Ланцюжки, які мають два виходи та один вхід, будемо називати логічною зв'язкою.

Таким чином, ми отримали 10 логічних ланцюжків, одну зв'язку та одну розв'язку.

3. Об'єднавши логічні ланцюжки, зв'язку та розв'язку отримаємо графову модель визначення екологічності транспортного процесу (рис. 5).

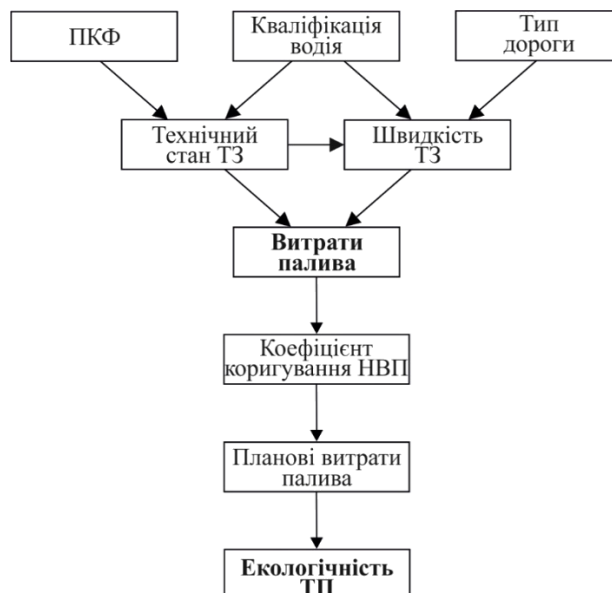


Рис. 5. Графова модель визначення екологічності транспортного процесу

Висновки

Розглянуто: а) фактори, що пов'язані з характеристиками і системами автомобіля, з технічним обслуговуванням автомобілів. Ця категорія фокусується на витраті палива і викиди CO_2 , які залежать від техніко-експлуатаційних характеристик автомобіля, його маси і аеродинаміки, шин і допоміжних систем, якості та своєчасності проведення ТО і ремонту; б) фактори, що пов'язані з навколишнім середовищем і умовами руху (погодні умови, морфологія дороги і умови руху); с) фактори, що пов'язані з водієм автомобіля (кваліфікація водія, стиль водіння). Виконано оптимізацію факторів, що пов'язані з системами автомобіля і їхніми характеристиками; при використанні палива оптимальної якості і ефективного водіння досягається економія витрати палива (фінансових коштів) і зменшення викидів CO_2 . В статті запропоновано вирішення складної задачі щодо управління транспортним процесом при мінімізації витрат палива і викидів CO_2 від легкових автомобілів в залежності від дорожньо-кліматичних умов і кваліфікації водія на основі теорії нечітких множин. Такий підхід дав можливість значною мірою компенсувати недолік об'єктивної інформації про процес внаслідок її невизначеності суб'єктивними експертними даними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Transportation, Air Pollution, and Climate Change. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change>. Дата звернення: Вересень 11, 2021.
- [2] Outcome and response to ending the sale of new petrol, diesel and hybrid cars and vans. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://www.gov.uk/government/consultations/consulting-on-ending-the-sale-of-new-petrol-diesel-and-hybrid-cars-and-vans/outcome/ending-the-sale-of-new-petrol-diesel-and-hybrid-cars-and-vans-government-response>. Дата звернення: 11.09.2021.
- [3] Y. Zhang, and Z. Ye, "Short-Term Traffic Flow Forecasting Using Fuzzy Logic System Methods", *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 12, no. 3, pp. 102–112. 2008. Doi: 10.1080/15472450802262281
- [4] P. Varaiya, "Max Pressure Control of a Network of Signalized Intersections", *Transportation Research, Part C. Emerging Technologies*, Vol. 36, pp. 177–195. 2013. Doi: 10.1016/j.trc.2013.08.014
- [5] Lai Guan Rhung, Che Soh Azura, and Zafira Abdul Rahman Ribhan, "Fuzzy Traffic Light Controller Using Sugeno Method for Isolated Intersection", in *Proceedings of 2009 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED-2009)*, 2009. Doi: 10.1109/scored.2009.5442955
- [6] Д. В. Капский и др. *Автоматизированные системы управления дорожным движением*, Минск, Беларусь: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2015, 368 с.
- [7] Ю. А. Врубель и др. *Координированное управление дорожным движением*, Минск, Беларусь: БНТУ, 2011, 230 с.
- [8] Д. В. Капский, Д. В. Навой, П. А. Пегин, «Разработка модели транспортных потоков на улично-дорожной сети города», *Science and Technique*, вып. 18, № 1, с. 47–54, 2019. Doi: 10.21122/2227-1031-2019-18-1-47-54.
- [9] The driving tips you need to become a Fuel Master. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://www.bigmacktrucks.com/topic/42399-the-driving-tips-you-need-to-become-a-fuel-master/> Дата звернення: Жовт. 6, 2021.
- [10] Ferdinand Dudenhöffer und Eva Maria John, "EU-Normen für Verbrauchsangaben von Autos: Mehr als ein Ärgernis für Autokäufer", *ifo Schnelldienst*, vol. 62, no. 13, pp. 14–17. 2009. <https://www.ifo.de/publikationen/2009/aufsatz-zeitschrift/eu-normen-fuer-verbrauchsangaben-von-autos-mehr-als-ein>.
- [11] S. Barbusse and L. Gagnepain, *Automobile Air-Conditioning, its Energ & Environmental Impact*, London, ADEME, 2003.
- [12] *The tyre. Rolling resistance and fuel savings*, France, Société de Technologie Michelin, 2013.
- [13] V. Lozhkin, O. Lozhkina, and V. Dobromirov, "A study of air pollution by exhaust gases from cars in well courtyards of Saint Petersburg", *Transportation Research Procedia*, vol. 36, pp. 453–458, 2018.

- [14] *Tires and Passenger Vehicle Fuel Economy*, Washington, D.C. Transportation Research Board, 2006.
- [15] *Advising ecodriving techniques for fleet*, London, 2012.
- [16] V. Mickunaitis, A. Pikunas, and I. Mackoitis, "Reducing fuel consumption and CO2 emission in motor cars", *Transport*, vol. 22, no. 3, pp. 160-163, 2007. DOI:10.3846/16484142.2007.9638119.
- [17] W. Hucho, and G. Sovran. "Aerodynamics of road vehicles". *Annual Review of Fluid Mechanics*, vol. 25, pp. 485-537, 1993. Doi: 10.1146/annurev.fl.25.010193.002413.
- [18] *Reducing car CO2 emissions through the use of low rolling resistance tyres*. Brussels, Belgium : Transport & Environment, 2007.
- [19] M. Lenner, "Influence of roof - rack, trailer etc on automobile fuel consumption and exhaust emissions, measured on-the-road", in *SAE technical paper*, 1998. doi: 10.4271/980682; 1998.
- [20] D.W. Wyatt, H. Li, and J.E. Tate. "The impact of road grade on carbon dioxide (CO2) emission of a passenger vehicle in real-world driving", *Transp Res Part Transp Environ*, vol. 32, pp. 160-170, 2014. Doi: 10.1016/j.trd.2014.07.015.
- [21] E. Beuving, T. De Jonghe, D. Goos, T. Lindahl, and A. Stawiarski, "Environmental impacts and fuel efficiency of road pavements". *European Roads Review*, vol. 2. 2004.
- [22] S. Spalding, "RACQ congested roads report". *Vehicle Technologies Department*, 2008.
- [23] T. Nakajo, K. Tsuchiya, and M. Konno, "Comparison of fuel economy and exhaust emission tests of 4WD vehicles using single-axis chassis dynamometer and dualaxis chassis dynamometer", *SAE Int J Fuels Lubr*, vol. 5, pp. 329-36. 2011. Doi: 10.4271/2011-01-2058.
- [24] *Making Cars More Fuel Efficient: Technology for Real Improvements on the Road*, International Energy Agency, 2005. DOI:10.1787/9789282103449-en.
- [25] N. G. Zacharof and G. Fontaras, *Review of in use factors affecting the fuel consumption and CO2 emissions of passenger cars*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016.
- [26] J. Thomas, S. Huff, and B. West, "Fuel economy and emissions effects of low tire pressure, open windows, roof top and hitch - mounted cargo and trailer", in *SAE technical paper*, 2014. Doi: 10.4271/2014-01-1614.
- [27] J.M. Pearce, and J.T. Hanlon, "Energy conservation from systematic tire pressure regulation", *Energy Policy*, vol. 35, pp. 2673-2680, 2007. Doi: 10.1016/j.enpol.2006.07.006.

Сакно Ольга Петрівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, e-mail: sakno-olga@ukr.net.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпро

Медведєв Євген Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, e-mail: medvedev.ep@gmail.com.

Єлісєєв Петро Йосипович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, e-mail: peter.eliseyev@ukr.net.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк

Цимбал Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Мойся Дмитро Леонідович – канд. техн. наук, інженер.

Станція технічного обслуговування автомобілів «Гарант», м. Дніпро

O. Sakno¹
Ie. Medvediev²
P. Eliseyev²
S. Tsymbal³
D. Moisia⁴

Construction of the graph model for determining an ecological compatibility of a transportation process

¹Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture

²Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

³Vinnitsia National Technical University

⁴Car service station "Garant", Dnipro

Uncertainty of data during environmental monitoring prevents with confidently and objectively assessing the current condition of the environment, the influence of factors affecting the fuel consumption of vehicles during operation. In addition, it creates a serious problem in assessing the dynamics of this condition, especially when it comes to relatively small levels of pollution that are on the verge of the sensitivity of systems and devices in the car. It is precisely these tasks that include the determination of atmospheric pollution by emissions from road transport in conditions of variable weather and climatic conditions, carrying out routine maintenance, changing a configuration of an engine or transmission. The article discusses: a) factors related to the characteristics and vehicle systems, with the maintenance of vehicles. This category focuses on fuel consumption and CO₂

emissions, which depend on the technical and operational characteristics of the vehicle, its weight and aerodynamics, tires and auxiliary systems, the quality and timeliness of maintenance and repairs; b) factors related to the environment and traffic conditions (weather conditions, road morphology and traffic conditions); c) factors related to a driver of a vehicle (driver qualifications, driving style). Optimization of factors related to vehicle systems and their characteristics has been performed; by using fuel of optimum quality and driving efficiently, you can achieve savings in fuel (financial) consumption and CO₂ emissions. The article proposes the solution to a complex problem of managing the transport process while minimizing fuel consumption and CO₂ emissions from passenger cars, depending on the road and climatic conditions and the driver's qualifications, based on the theory of fuzzy sets. This approach made it possible to largely compensate for the lack of objective information about the process due to its uncertainty by subjective expert data.

Key words: vehicle, fuel consumption, ecological compatibility, graph model.

Sakno Olga – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation and Maintenance of Machines, e-mail: sakno-olga@ukr.net.

Medvedev Ievgen – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Railway and Road Transport, Lift and Care Systems, e-mail: medvedev.ep@gmail.com.

Eliseyev Peter – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Computer Integrated Technologies, e-mail: peter_eliseyev@ukr.net.

Tsybal Serhii – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: tsybal_s_v@ukr.net.

Moisia Dmytro – Ph. D. (Eng.), engineer.

О. П. Сакно¹
Е. П. Медведев²
П. И. Елисеев²
С. В. Цымбал³
Д. Л. Мойся⁴

Построение графовой модели определения экологичности транспортного процесса

¹Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

²Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

³Винницкий национальный технический университет

⁴Станция технического обслуживания автомобилей «Гарант», г. Днепр

Неопределенность данных при мониторинге окружающей среды мешает уверенно и объективно оценивать текущее состояние окружающей среды, влияние факторов, влияющих на расход топлива транспортных средств в процессе эксплуатации. Кроме того, она создает серьезную проблему при оценке динамики этого состояния, особенно если речь идет об относительно небольших уровнях загрязнений, находящихся на грани чувствительности систем и приборов в автомобиле. Именно к таким задачам относится определение загрязнения атмосферы выбросами автомобильного транспорта в условиях переменных погодных-климатических условий, проведение регламентных работ, изменения конфигурации двигателя или трансмиссии. В статье рассматриваются: а) факторы, связанные с характеристиками и системами автомобиля, с техническим обслуживанием автомобилей. Эта категория фокусируется на расходе топлива и выбросах CO₂, которые зависят от технико-эксплуатационных характеристик автомобиля, его массы и аэродинамики, шин и вспомогательных систем, качества и своевременности проведения ТО и ремонта; б) факторы, связанные с окружающей средой и условиями движения (погодные условия, морфология дороги и условия движения); в) факторы, связанные с водителем автомобиля (квалификация водителя, стиль вождения). Выполнена оптимизация факторов, связанных с системами автомобиля и их характеристиками; при использовании топлива оптимального качества и эффективного вождения достигается экономия расхода топлива (финансовых средств) и уменьшение выбросов CO₂. В статье предложено решение сложной задачи по управлению транспортным процессом при минимизации расхода топлива и выбросов CO₂ от легковых автомобилей в зависимости от дорожно-климатических условий и квалификации водителя на основе теории нечетких множеств. Такой подход дал возможность в значительной степени компенсировать недостаток объективной информации о процессе вследствие ее неопределенности субъективными экспертными данными.

Ключевые слова: автомобиль, расход топлива, экологичность, графовая модель.

Сакно Ольга Петровна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: sakno-olga@ukr.net.

Медведев Евгений Павлович – канд. техн. наук, доцент кафедры железнодорожного, автомобильного транспорта и подъемно-транспортных машин, e-mail: medvedev.ep@gmail.com.

Елисеев Петр Иосифович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры компьютерно-интегрированных систем управления, e-mail: peter_eliseyev@ukr.net.

Цымбал Сергей Владимирович – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автомобилей и транспортного менеджмента, e-mail: tsybal_s_v@ukr.net.

Мойся Дмитрий Леонидович – к.т.н., инженер.