

УДК 629.3.018.7:621.31

DOI: 10.33868/0365-8392-2026-1-286-49-63

© С. В. Ковбасенко, канд. техн. наук,
доцент, професор кафедри,
ORCID: 0000-0002-7309-8200,
e-mail: s-kov@ukr.net
(Національний транспортний університет);
© Ю. В. Гонтар, аспірант,
завідувач відділу,
ORCID: 0009-0005-6261-5216,
e-mail: yuragontar0511@gmail.com
(ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

© Serhii Kovbasenko, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department,
ORCID: 0000-0002-7309-8200,
e-mail: s-kov@ukr.net;
(National Transport University);
© Yurii Gontar, Postgraduate Student,
Head of the Department,
ORCID: 0009-0005-6261-5216,
e-mail: yuragontar0511@gmail.com
(SE "State Road Transport Research Institute")

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИМІРЮВАЛЬНО-РЕЄСТРУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТИПОВОГО МІСЬКОГО ЇЗДОВОГО ЦИКЛУ

EXPERIMENTAL STUDY OF MOTION PARAMETERS AND OPERATING MODES OF MOTOR VEHICLES USING A MEASURING-RECORDING COMPLEX FOR FORMING A TYPICAL URBAN DRIVING CYCLE

Анотація. Обґрунтовано доцільність формування локально орієнтованих їздових циклів, оскільки стандартні випробувальні режими (NEDC, WLTC/WLTP, FTP-75 тощо) не повною мірою відображають структуру міського трафіку та характерні перехідні режими руху. Розглянуто підхід до отримання експериментальних експлуатаційних даних, необхідних для формування типового міського їздового циклу та коректного оцінювання паливної економічності й екологічних показників автотранспортних засобів у реальних умовах експлуатації. Обґрунтовано склад і структуру вимірювально-реєструвального комплексу, призначеного для синхронного збору параметрів руху та режимів роботи силової установки з використанням даних бортової діагностики та супутникової навігації, а також наведено принципи первинної обробки експериментальних даних. Визначено мінімально необхідний і розширений набір параметрів, придатних для подальшої сегментації руху та синтезу профілю «швидкість–час». За результатами натурних заїздів у міських умовах сформовано масиви синхронізованих експериментальних даних, що забезпечують підвищення репрезентативності майбутнього їздового циклу та достовірність оцінювання експлуатаційних, паливно-енергетичних і екологічних показників автотранспортних засобів.

Ключові слова: випробувальний їздовий цикл, міський цикл, реєстрація даних, OBD-II, CAN-шина, GNSS, GPS-трекер, Teltonika FMB140, Vgate iCar 2, швидкість–час, micro-trips, кластеризація, спрощення профілю.

Abstract. The article substantiates the feasibility of forming locally oriented driving cycles, since standard test modes (NEDC, WLTC/WLTP, FTP-75, etc.) do not fully reflect the structure of urban traffic, the frequency of stops and characteristic transitional modes of movement. The article considers an approach to obtaining experimental operational data necessary for the formation of a typical urban driving cycle and the correct assessment of fuel efficiency and environmental performance of motor vehicles in real operating conditions. The principles of construction and the composition of a measuring and recording complex designed for the synchronous collection of kinematic parameters of movement and power plant operating modes using GNSS satellite navigation and on-board diagnostic data via OBD-II/CAN are presented and justified. The logic of organising two recording channels (Teltonika FMB140 GNSS tracker as a reference source of time, coordinates and speed, and Vgate iCar 2 OBD adapter for reading PID parameters) is described, as well as approaches to their further time coordination. The minimum required and extended set of parameters (time, speed according to GNSS and CAN/OBD, coordinates, acceleration and distance derivatives, RPM, load, MAF/MAP, control position, fuel and energy indicators, etc.) suitable for segmenting movement into micro-trips, calculating features and synthesising a 'speed-time' profile. Separate emphasis is placed on the requirements for primary data processing: unification of the sampling rate (typically 1 Hz), control of omissions and emissions,

comparison of GNSS speed with wheel speed via CAN to reduce the impact of urban GNSS errors. Based on the results of field trips at different times of the day in Kyiv, arrays of synchronised time series of traffic parameters and power plant operation were formed, creating an information basis for further clustering of micro-trips, statistical synthesis of a representative urban cycle and its subsequent laboratory reproduction. The results obtained increase the representativeness of the future driving cycle and the reliability of assessing the operational, fuel and energy, and environmental performance of motor vehicles.

Keywords: test driving cycle, urban cycle, data recording, OBD-II, CAN bus, GNSS, GPS tracker, Teltonika FMB140, Vgate iCar 2, speed-time, micro-trips, clustering, profile simplification.

Вступ

Для дослідження показників паливної економічності та рівня викидів шкідливих речовин автомобільним транспортом у світовій практиці широко застосовують їздові випробувальні цикли. Відомо, що їздовий випробувальний цикл – це формалізована, відтворювана в часі послідовність режимів руху транспортного засобу, яка використовується як еталонний (стандартизований або локально репрезентативний) сценарій для стендових, дорожніх чи модельних випробувань з метою кількісного оцінювання паливної економічності, рівня викидів та динамічних характеристик автомобіля [1–5].

Оцінювання відповідності та інформативності їздових випробувальних циклів здійснюють за системою показників, що описують (1) кінематичну структуру руху та (2) рівень навантаження силової установки. До кінематичних показників належать тривалість і протяжність циклу, середня та максимальна швидкість, розподіл часу за інтервалами швидкостей і прискорень, кількість і тривалість зупинок, частка холостого ходу, а також інтенсивність розгонів і гальмувань (ступінь транзйентності). Рівень навантаження додатково характеризують показники роботи двигуна й паливно-енергетичні параметри, зокрема витрата палива/енергоспоживання, а також масові викиди забруднювальних речовин (CO_2 , CO, CH/HC, NO_x , PM та інші) і розрахункова потужність. Водночас зазначені критерії є коректними лише за умови, що випробувальний цикл сформовано на підставі достовірних експериментальних даних про реальні режими руху, оскільки спотворення профілю швидкості, структури зупинок або динаміки прискорень спричиняє систематичні похибки під час оцінювання паливної економічності та екологічних показників. Отже, побудова репрезентативного їздового циклу потребує накопичення значного масиву

натурних вимірювань у реальних умовах експлуатації з обов'язковою часовою синхронізацією кінематичних параметрів руху з параметрами функціонування силової установки та характеристиками дорожньої ситуації. Практична реалізація такого підходу забезпечується застосуванням спеціалізованого вимірювально-реєструвального комплексу, інтегрованого з бортовими системами дослідного автомобіля, який здійснює узгоджений (синхронний) запис кінематичних, енергетичних і експлуатаційних параметрів руху.

Наразі у світовій практиці використовується значна кількість їздових випробувальних циклів, зокрема NEDC, WLTC/WLTP, FTP-75, HWFET, US06 тощо. Стандартні випробувальні режими забезпечують уніфіковані умови випробувань і відтворюваність результатів. Проте їхній узагальнений характер зумовлює виникнення відхилень між результатами випробувань і фактичними експлуатаційними показниками, зокрема для окремих міст або регіонів зі специфічними умовами руху. Саме це зумовлює необхідність формування локально-орієнтованих циклів на основі даних реальних поїздок. [4, 6–8].

Метою статті є експериментальне отримання та аналіз параметрів руху і режимів роботи авто-транспортних засобів у міських умовах із використанням вимірювально-реєструвального комплексу. У межах поставленої мети передбачено визначення параметрів, необхідних для опису режимів міського руху, та оцінювання придатності експериментальних даних для подальшого формування типового міського їздового циклу.

Основна частина

У сучасних дослідженнях сформовано широкий спектр підходів до побудови випробувальних їздових циклів, що відрізняються за рівнем деталізації, способом обробки експлуата-

ційних даних та характером від-творення режимів руху. До них належать метод мікропоїздок, сегментний і модальний підходи, методи класифікації за патернами руху, паливно-орієнтовані, детерміновані та стохастичні методи, а також гібридні рішення й підходи на основі машинного навчання. [3] Незважаючи на відмінності в методах обробки та синтезу профілю руху, спільною передумовою застосування будь-якого з них є наявність достатнього масиву експериментальних даних, що достовірно відображає реальні умови експлуатації транспортних засобів. Формування типового міського випробувального їздового циклу потребує накопичення масиву експериментальних даних, що адекватно відтворюють реальні

умови руху в межах міської інфраструктури. До таких умов належать затори, зупинково-розгінна структура руху, нерівномірність транспортного потоку, вплив світлофорного регулювання, а також ділянки з різними швидкісними режимами та характеристиками рельєфу. З метою забезпечення репрезентативності база даних має охоплювати як зони з високою щільністю перехрест'я і домінуванням режимів «старт-стоп», так і відрізки магістральних коридорів, де формуються підвищені швидкості та інтенсивні перехідні процеси. Як приклад реалізації запропонованого підходу в роботі розглянуто експериментальні заїзди в умовах м. Києва за попередньо обраним маршрутом (рис. 1).

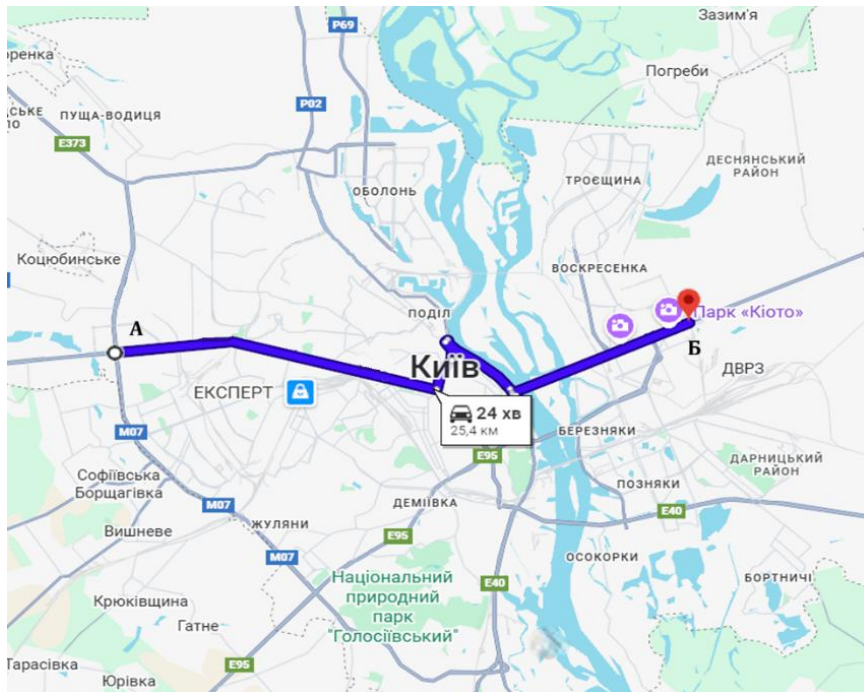


Рис. 1. Експериментальний маршрут

Експериментальна база даних для побудови їздового циклу має формуватися на основі різнотипних поїздок, що відтворюють увесь спектр умов руху на обраних маршрутах – від мінімального, умовно «невантаженого», часу їх проходження до максимального, за умов перевантаження дорожньої мережі. Збір експлуатаційних даних доцільно здійснювати в різні періоди доби

(ранковий і вечірній пікові інтервали, міжпіковий період, нічний режим), а також у різні дні тижня з метою забезпечення репрезентативності їздового циклу щодо добової та тижневої варіабельності транспортних потоків. Така часова неоднорідність є необхідною для зменшення систематичної похибки, зумовленої мінливістю інтенсивності

руху, тимчасовими змінами організації дорожнього руху та нерівномірністю світлофорного регулювання.

Підхід до створення узагальненого міського їздового циклу полягає у накопиченні великого масиву реальних профілів руху (насамперед «час-швидкість» із синхронізованими параметрами силової установки), після чого отримані записи поїздок сегментують на однорідні ділянки типу місто-trips (відрізки між двома зупинками або між подіями, що змінюють режим руху). Далі ці сегменти групують за подібністю статистичних ознак (тривалість, середня/максимальна швидкість, інтенсивність розгонів, частка простою тощо) і виконують статистичний синтез репрезентативного профілю, який відтворює цільові узагальнені показники міського руху та є придатним для подальшого спрощення і відтворення в лабораторних умовах (на динамометричному стенді) або під час математичного моделювання [4, 6, 9–12].

Технічна реєстрація даних для формування випробувального їздового циклу реалізується як послідовність «джерело → шина/інтерфейс → реєстратор → канал передавання/збереження → програмне забезпечення → підготовка даних». Джерелами інформації є електронні блоки керування автомобіля, що надають параметри через OBD-II та/або CAN-шину, а також навігаційна підсистема GNSS трекера. Синхронна реєстрація цих потоків забезпечує отримання профілю «час-швидкість» разом із супровідними параметрами роботи силової установки (частота обертання колінчастого вала, навантаження, витрата повітря, тиск у впуску, паливні показники тощо), необхідними для подальшої обробки та оцінювання репрезентативності сформованого циклу [6, 12]. З урахуванням зазначеного в роботі розроблено та впроваджено вимірювально-реєструвальний комплекс, інтегрований із бортовими системами дослідного автомобіля. Комплекс забезпечує одночасний запис кінематичних параметрів руху та параметрів режимів роботи силової

установки з подальшим збереженням даних у форматі, придатному для обробки й аналізу. Структура вимірювально-реєструвального комплексу збору даних представлена на **рис. 2**.

Об'єктом дослідження обрано автомобіль Volkswagen Passat B7 (клас D, категорія B) з дизелем робочим об'ємом 1968 см³ і турбонаддувом, максимальною потужністю 103 кВт (140 к.с.) та максимальним крутним моментом 320 Н·м у діапазоні 1750–2500 об/хв; трансмісія – 6-ступенева гідromеханічна. Автомобіль Volkswagen Passat B7, оснащений OBD-II адаптером Vgate iCar 2 Wi-Fi та GPS/GNSS-трекером Teltonika FMB140 (зі зчитуванням параметрів із CAN-шини), у межах роботи розглядається як єдиний вимірювально-реєструвальний комплекс, що забезпечує синхронний збір параметрів руху та режимів роботи силової установки: Vgate iCar 2 виконує реєстрацію діагностичних PID-параметрів, а Teltonika FMB140 — реєстрацію координат і швидкості та зчитування CAN-параметрів [13].

Каналом кінематики та часу виступає GNSS. Супутникові навігаційні системи (GPS, Galileo, BeiDou тощо) забезпечують визначення координат і швидкості за сигналами від супутників, використовуючи вимірювання часу проходження сигналу та трилатерацію. На практиці для надійного 3D-позиціонування та синхронізації часу приймач використовує сигнали щонайменше від чотирьох супутників, що дозволяє визначати x, y, z і поправку часу приймача [14–16]. Навігаційне повідомлення GPS (інтерфейсні специфікації ICD) описує структуру даних, частоти, склад ефемерид/альманаху та механізми кодування. Ця інформація є базовою для коректного трактування точності, затримок та умов прийому сигналу [17].

Для побудови випробувального їздового циклу важливий не тільки маршрут на карті, а й точний час для кожного заміру. Більшість GNSS-трекерів беруть час із супутників (або синхронізують його через ме-

режу), тому дані з різних джерел можна правильно узагальнити — наприклад, порівняти швидкість за GNSS зі швидкістю коліс із CAN. [18]. Після цього всі записи приводять до єдиного часового кроку (зазвичай 1 раз на секунду, тобто 1 Гц), щоб зручно аналізувати відрізки руху між зупинками (micro-trips). [6]. У щільній міській забудові якість GNSS-вимірювань часто погіршується, оскільки супутниковий сигнал може частково екрануватися будівлями та відбиватися від перешкод, що спричиняє завади і короточасні спотворення координат та швидкості. Це безпосередньо впливає на розрахунок похідних параметрів, насамперед прискорення, і може знижувати точність подальшої сегментації поїздки на однорідні ділянки руху. З огляду на це доцільно забезпечити фільтрацію GNSS-похибок, можливість контролю достовірності швидкості шляхом порівняння GNSS-швидкості зі швидкістю коліс за даними CAN, а також механізми тимчасового збереження вимірювальної інформації у внутрішній пам'яті пристрою при втраті GSM-каналу з метою забезпечення безперервності реєстрації даних. [16, 19–21].

Основним елементом вимірювально-реєструвального комплексу є GPS/GNSS-трекер Teltonika FMB140, який поєднує функції навігаційного реєстратора та CAN-шлюзу. Це автомобільний GNSS/GSM-термінал, що, окрім GNSS-позиціонування, забезпечує зчитування параметрів із CAN-шини через відповідні інтерфейси та адаптери, а також

має внутрішню пам'ять для автономного збереження даних. Згідно з технічною документацією виробника, FMB140 працює в мережах GSM (2G) із передаванням даних через GPRS і підтримкою SMS, оснащений внутрішніми антенами GNSS і GSM, має внутрішню флеш-пам'ять, резервне живлення, акселерометр, інтерфейси вводу/виводу й CAN-інтерфейси, а також механізми конфігурації (USB/Bluetooth тощо). Пристрій забезпечує визначення координат із типовою точністю до $\pm 2,5\text{--}3$ м, а швидкості – з похибкою близько $\pm 0,1\text{--}0,2$ м/с за умови стабільного прийому супутникового сигналу [18–20]. Його технічна цінність у контексті випробувального іздового циклу полягає в поєднанні трьох функцій: реєстрації GNSS-параметрів (широта, довгота, висота та швидкість), фіксації подій і прискорень (акселерометр) для контролю різких маневрів та валідації динамічності, а також зчитування вибраних параметрів із CAN (зокрема швидкості по колесах, частота обертання колінчастого вала, пробігу, паливних показників) для дублювання та контролю даних OBD-каналу й підвищення стійкості до GNSS-помилки у щільній забудові [18–21]. У системі Teltonika дані з трекара передаються на сервер у вигляді окремих записів, у яких для кожного моменту часу зберігаються часова мітка, координати та значення додаткових параметрів (наприклад, швидкість, сигнали датчиків, CAN-показники) [20–22]. Технічні характеристики Teltonika FMB140 наведені в **табл. 1**.

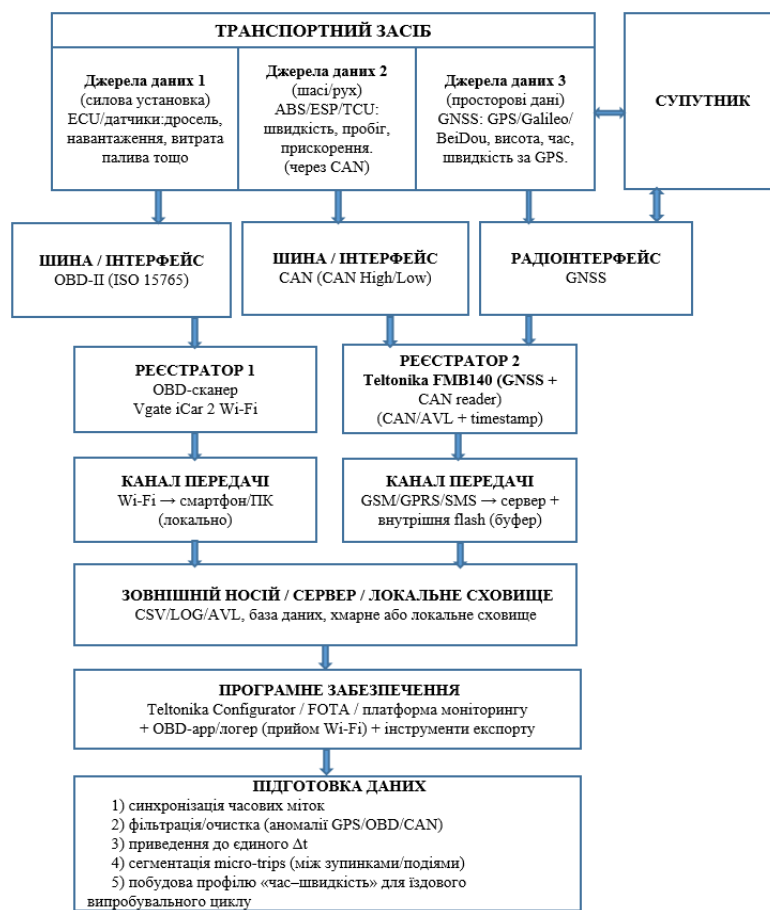


Рис. 2. Структура вимірювально-реєструвального комплексу збору даних

Таблиця 1

Основні технічні характеристики Teltonika FMB140

Параметр	Значення
Навігаційний приймач (GNSS)	GPS, Galileo, BeiDou, QZSS
Кількість каналів GNSS	33
Чутливість приймача	до -165 dBm
Точність позиціонування	≤ 2.5–3 м (CEP) за стабільного прийому супутників
Точність визначення швидкості	≤ 0.1 м/с (типова GNSS-похибка)
Час пошуку супутників	гарячий старт < 1 с; теплий < 25 с; холодний < 35 с
Мобільна мережа	GSM 2G (850 / 900 / 1800 / 1900 MHz)
Передавання даних	GPRS Class 12
Внутрішня пам'ять	128 МБ флеш-пам'яті
Живлення	10–30 V DC
Резервне живлення	вбудована Li-Ion батарея 170 mAh
Інтерфейси	2 × CAN, цифрові та аналогові I/O, Bluetooth 4.0 LE, 1-Wire, USB
Діапазон робочих температур	-40 °C ... +85 °C
Ступінь захисту корпусу	IP41

Під'єднання Teltonika FMB140 до CAN-мережі забезпечує інтеграцію пристрою з бортовою комунікаційною шиною автомобіля, через яку електронні блоки керування (двигуна, ABS/ESP, трансмісії тощо) обмінюються даними. CAN-шина спроектована для надійної роботи в умовах електромагнітних завад і підтримує швидку передачу повідомлень у режимі реального часу. У разі одночасної передачі кількох повідомлень пріоритет визначається їхнім ідентифікатором, що забезпечує доставку критично важливих даних із мінімальною затримкою. Завдяки такому під'єднанню FMB140 може зчитувати необхідні параметри з CAN (зокрема швидкість по колесах, частота обертання колінчастого вала, пробіг, паливні показники) залежно від підтримки протоколів, конфігурації та типу CAN-адаптера [23–25]. Для діагностики та телематики широко застосовуються протоколи поверх CAN для діагностичних повідомлень (зокрема ISO 15765-4 / DoCAN), що узгоджується з OBD-II у частині транспорту діагностичних PID-даних [24, 26].

Паралельним каналом доступу до параметрів роботи двигуна/силового агрегату виступає OBD-II, реалізований через OBD-адаптер Vgate iCar 2 Wi-Fi. OBD-II розглядається як уніфікований підхід до діагностичного доступу через стандартний роз'єм (типово SAE J1962) і набір сервісів/параметрів (PID), визначених у SAE J1979 та

споріднених документах ISO 15031 [27–29]. Технічно Vgate iCar 2 Wi-Fi підключається до роз'єму OBD-II й організовує обмін діагностичними кадрами між електронним блоком управління та зовнішнім пристроєм (смартфон/ПК) через Wi-Fi. У більшості таких OBD-адаптерів використовується типова «прошивка-посередник», яка працює за стандартними текстовими командами, подібними до ELM327. Вона автоматично вибирає потрібний протокол зв'язку з автомобілем, надсилає запити до ЕБУ за потрібними параметрами (PID) і приймає відповіді, після чого передає їх на смартфон або ПК. Саме через цю стандартну схему роботи адаптер зазвичай сумісний із популярними програмами для запису даних, такими як Torque, Car Scanner, OBD Auto Doctor тощо [30–32]. Слід мати на увазі, що адаптер не забезпечує метрологічно достовірного визначення PID-параметрів. Точність визначається реалізацією датчиків і алгоритмів у конкретному електронному блоці керування автомобіля, а також режимом опитування через бездротовий інтерфейс. Тому параметри, отримані через OBD-II, у роботі розглядаються як експлуатаційні діагностичні дані, а їх достовірність контролюється шляхом порівняння з незалежними джерелами (зокрема швидкість за GNSS і CAN). Підключення GPS/GNSS-трекера Teltonika FMB140 та OBD-адаптера Vgate iCar 2 Wi-Fi зображено на **рис. 3**.

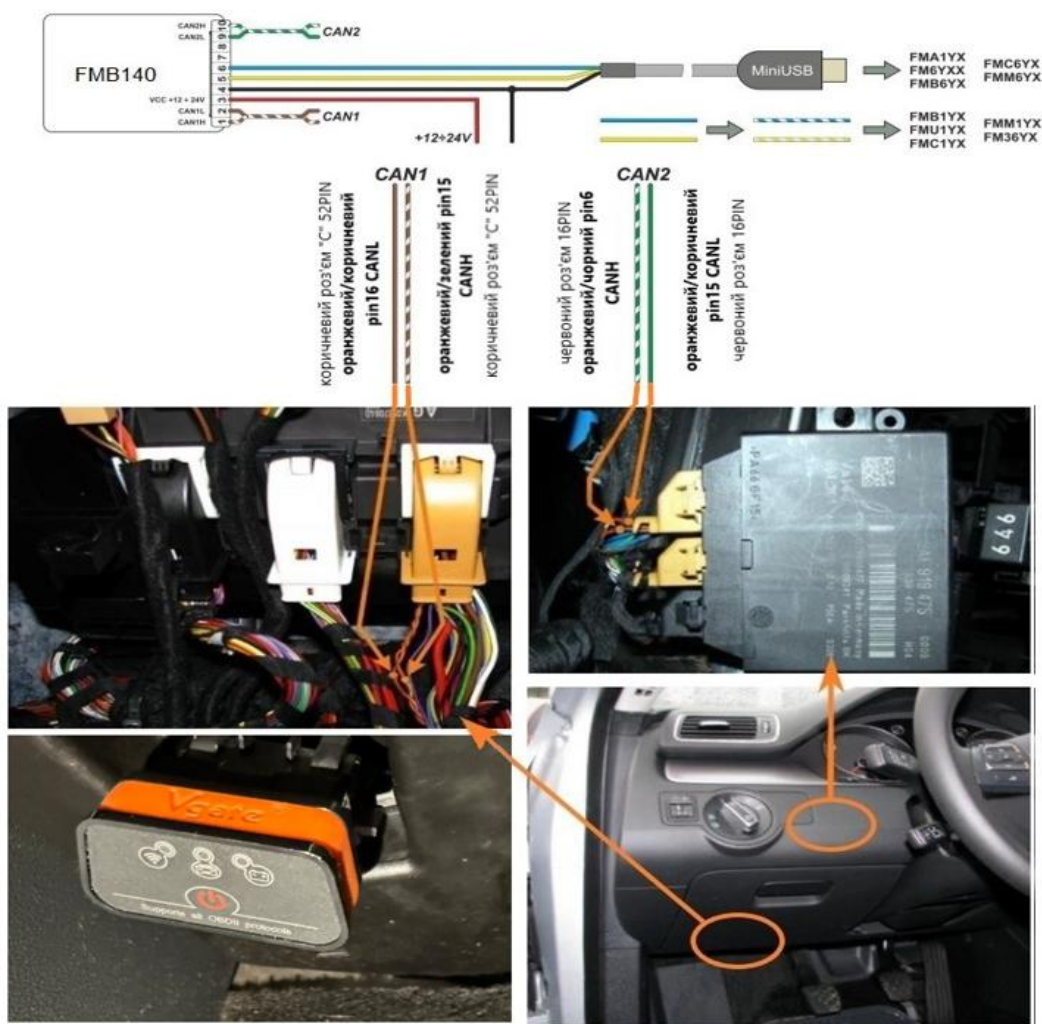


Рис. 3. Встановлення GPS/GNSS-трекера Teltonika FMB140 та OBD-адаптера Vgate iCar 2 Wi-Fi на дослідному автомобілі

Для побудови випробувального іздового циклу ключовим є визначення переліку доступних параметрів та забезпечення їхнього запису з достатньою частотою. У межах дослідження формувався масив показників, який включає миттєву витрату палива, частоту обертання колінчастого вала, положення дросельної заслінки, розрахункове навантаження, масову витрату повітря (MAF), тиск у впускному колекторі (MAP), сигнали/корекції кисневих датчиків, швидкість автомобіля, а також похідні параметри такі як розрахункова потужність двигуна за масовою витратою повітря і контрольні лічильники пробігу/витрат за інтервали

(день/тиждень/загалом). Частина цих величин є стандартизованими PID (RPM, VSS, MAF, MAP, Calculated Load), тоді як інша частина формується як розрахункові показники, що обчислюються програмним забезпеченням логера на основі первинних PID та/або моделей перерахунку; у зв'язку з цим під час проектування системи збору даних принципово фіксувати, які параметри є первинними з ЕБУ, які – розрахунковими, і за яким алгоритмом вони отримані, щоб коректно інтерпретувати можливі розбіжності між OBD-оцінками та CAN-даними трекера [27–29, 33]. Перелік параметрів, які дає змогу визначити вимірювально-реєструвальний комплекс наведений в **табл. 2**.

Таблиця 2

Перелік параметрів, які визначалися вимірювально-реєструвальний комплексом під час експериментальних досліджень

Параметр	Джерело даних	Тип параметра	Призначення в дослідженні
Час (timestamp)	GNSS (FMB140)	первинний	Синхронізація потоків даних, формування часових рядів
Координати (lat, lon)	GNSS (FMB140)	первинний	Контекст маршруту, мап-матчинг, фільтрація GNSS-похибок
Швидкість (GNSS)	GNSS (FMB140)	первинний	Побудова профілю «швидкість-час», контроль CAN/OBD
Швидкість автомобіля	CAN / OBD-II	первинний	Контроль GNSS-швидкості, аналіз режимів руху
Прискорення	GNSS / акселерометр	розрахунковий	Оцінка динамічності, сегментація micro-trips
Пройдений шлях	GNSS / OBD-II	розрахунковий	Інтегральні характеристики циклу
Частота обертання колінчастого вала (RPM)	OBD-II / CAN	первинний	Оцінка режимів роботи силової установки
Розрахункове навантаження двигуна	OBD-II	первинний	Аналіз інтенсивності режимів руху
Масова витрата повітря (MAF)	OBD-II	первинний	Оцінка паливно-енергетичних режимів
Тиск у впускному колекторі (MAP)	OBD-II	первинний	Контроль навантаження двигуна
Положення дросельної заслінки	OBD-II	первинний	Аналіз керування тягою
Миттєва витрата палива	OBD-II (через ПЗ)	розрахунковий	Оцінка енергоспоживання режимів
Середня витрата палива	OBD-II (через ПЗ)	інтегральний	Порівняння узагальнених характеристик
Потужність двигуна (за MAF/паливом)	OBD-II (через ПЗ)	розрахунковий	Контроль енергетичної відповідності циклу
Корекція паливно-повітряної суміші	OBD-II	первинний	Аналіз режимів сумішоутворення
Кисневий датчик (напруга)	OBD-II	первинний	Контроль роботи системи упорскування

Схема «OBD-сканер у роз'ємі OBD + трекер у CAN» дає два окремі потоки даних, які потім потрібно об'єднати в один. OBD-сканер Vgate iCar 2 через Wi-Fi передає зчитані з ЕБУ параметри (PID) на смартфон або ПК, де програма записує їх у файл (CSV/лог) із часовими мітками. Одночасно трекер Teltonika FMB140 записує координати, швидкість і висоту за

GNSS, зчитує потрібні дані з CAN-шини та формує власні телематичні записи, які зберігаються у пам'яті пристрою або передаються на сервер через мобільний зв'язок (GSM/GPRS). Далі ці два набори даних зводять разом за часом: як «опорний» час зазвичай беруть GNSS-час трекера, а OBD-лог прив'язують до нього з

урахуванням можливого невеликого розходження в годинниках. [18–22, 34]. У результаті формується уніфікований набір даних, який безпосередньо використовується для подальшої побудови випробувального їздового циклу.

Для побудови міського випробувального їздового циклу фіксувалися такі дані: час, швидкість (краще одразу з двох джерел – за GNSS і з CAN/OBD для перевірки), координати (широта/довгота, щоб розуміти маршрут і відфільтрувати помилки), а також можливість правильно отримати прискорення – або як зміну швидкості з часом, або з акселерометра. Додатково записувалися параметри роботи двигуна (RPM, MAF/MAP, положення дроселя, навантаження, витрату палива), тому що вони допомагають оцінити, наскільки інтенсивними є режими руху, порівнювати ділянки з однаковою швидкістю, але різним навантаженням (наприклад, на підйомі), і перевіряти, що спрощений цикл схожий не тільки за графіком швидкості $v(t)$, а й за витратою палива/енергії [2, 5, 6, 11].

Уніфікація даних зазвичай передбачає приведення до кроку реєстрації даних 1 Гц (або 2–10 Гц за наявності технічної можливості), але для профілю швидкості за часом у практиці формування циклів найчастіше застосовують 1 Гц як компроміс між обсягом і здатністю відтворити динаміку [6, 10–12]. Водночас необхідно враховувати політику обробки пропусків: GNSS може мати втрати в тунелях/підестакадами, а OBD-PID у Wi-Fi-режимі – змінний інтервал опитування. Тому технічно обґрунтована процедура включає попередній аудит якості даних: частку пропусків, розподіл інтервалів, виявлення стрибків координат та порівняння швидкості за GNSS і CAN. Для Києва це особливо актуально, оскільки GNSS-похибки в щільній забудові можуть призводити до хибних оцінок прискорення й, як наслідок, до некоректної сегментації та кластеризації micro-trips [16, 35–37].

Враховуючи мету експериментальних досліджень, а також те, що випробування проводилися в м. Києві, набір поїздок має охоплювати типові сценарії міського руху (короткі поїздки зі «спальних» районів через магістралі

до центральної частини, переміщення в межах центральної зони, рух мостами та підходами до них, змішані маршрути). У публікаціях науковців щодо локальних їздових випробувальних циклів, сформованих micro-trip-методами, показано, що репрезентативність зростає зі збільшенням обсягу даних і різноманітності умов, а контроль синтезу здійснюється за набором метрик (середня швидкість, частка простою, розподіли швидкостей, середні/пікові прискорення, кількість зупинок на км тощо) [3, 6, 9–12]. Для міста, де часто бувають затори, важливо, щоб у даних було достатньо ділянок із повними зупинками ($S=0$) і рухом на малих швидкостях. Якщо таких режимів буде мало, то отриманий цикл вийде з надто заниженим навантаженням і показуватиме нижчу витрату палива/енергії, ніж у реальних умовах їзди. [2–4, 6].

Сформований масив експериментальних даних підлягає апроксимації та структуризації режимів руху для забезпечення можливості їх лабораторного відтворення на шасі-динамометрі. Практично це реалізується через сегментацію на micro-trips (часто «від зупинки до зупинки»), розрахунок ознак micro-trip (тривалість, шлях, v_{mean} , v_{max} , частка простою, середні прискорення, показники транзйентності), групування подібних сегментів (кластеризація/оптимізаційний відбір) і синтез профілю заданої тривалості/довжини з контролем цільових статистик. За потреби можливе додаткове спрощення до набору типових «елементів» (фрагментів), придатних для стенового відтворення [6, 9–12, 38–40]. Марковські підходи до генерації циклів також застосовуються, однак для прикладної задачі міського циклу Києва micro-trip підхід часто є більш практичним з точки зору відтворюваності та інженерної інтерпретації [9,41].

У результаті натурних заїздів дослідного автомобіля зі встановленим вимірювально-реєструвальним комплексом отримано масиви синхронізованих даних реального руху на прикладі міста Києва, представлені у вигляді часових рядів параметрів руху та роботи силової установки. На основі цих даних сформовано набір графіків, що відображають режими руху

на обраному маршруті, а також супровідні параметри силової установки під час поїздки. Отримані параметри та графічні матеріали становлять вихідну інформаційну базу для подальшої сегментації, статистичного синтезу та формування міського випробувального їздового циклу для міста Києва. Заїзди проводилися у різні часові інтервали доби з метою

відтворення різноманітних умов дорожнього руху – від варіантів із мінімальним часом проходження маршруту (умовно вільний рух) до варіантів із максимальною тривалістю поїздки, характерною для інтенсивного трафіку. Приклад реєстрації експлуатаційних та кінематичних показників наведено на **рис. 4–5**.

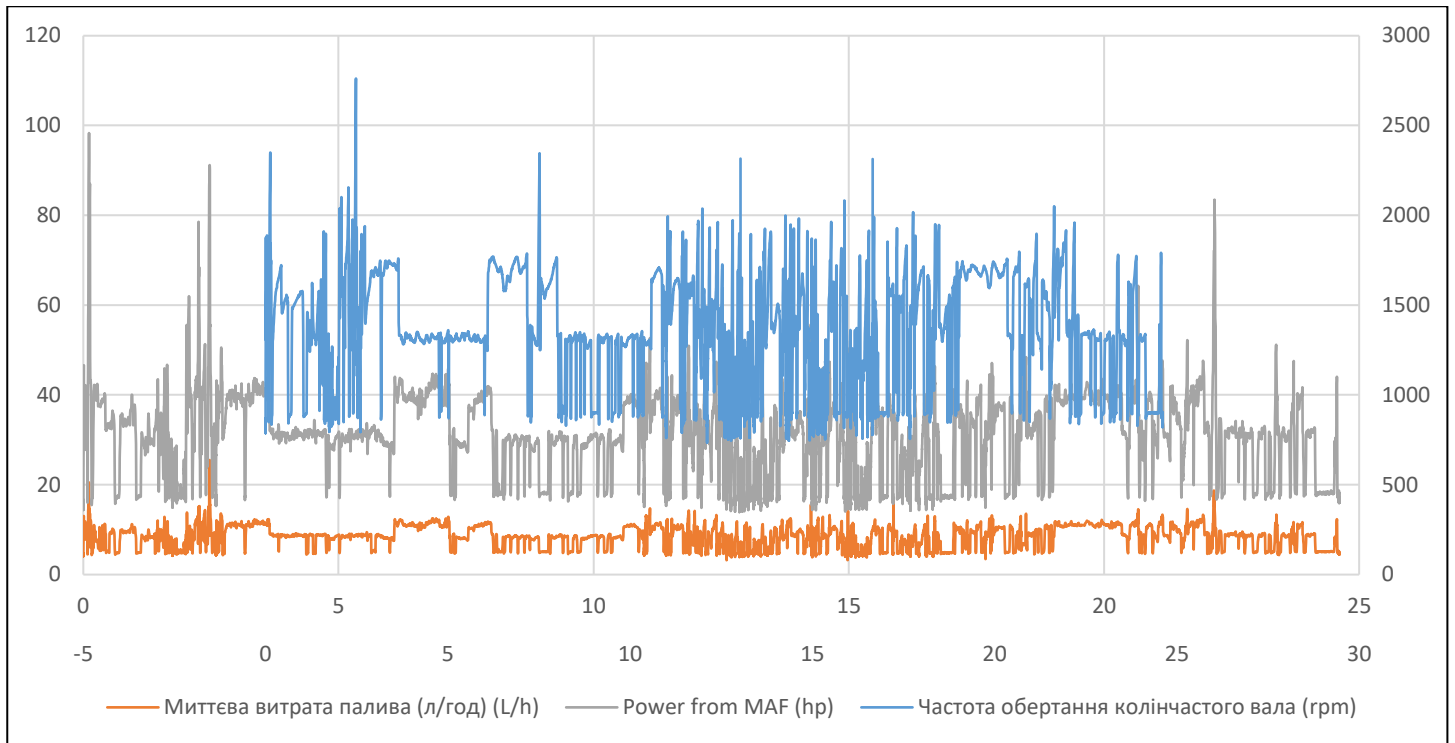


Рис. 4. Експлуатаційні показники за заданим маршрутом у часовому діапазоні 30–35 хв

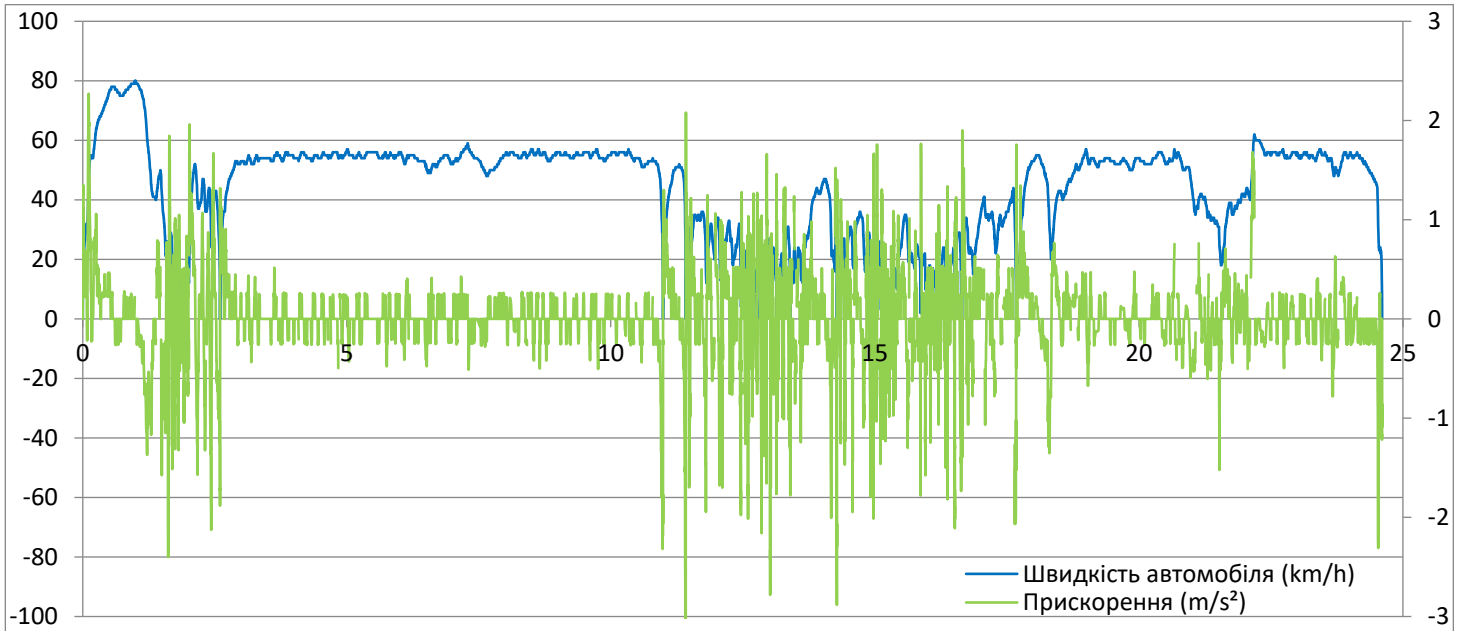


Рис. 5. Кінематичні показники за заданим маршрутом у часовому діапазоні 30–35 хв

У ході експерименту під час усієї серії заїздів реєструвалися часові ряди швидкості автомобіля, положення педалі акселератора, частота обертання колінчастого валу, витрата палива та інші кінематичні й експлуатаційні параметри. Зібрані дані дозволяють оцінити характерні перехідні процеси, частоту та тривалість зупинок, профілі прискорень і уповільнень, а також взаємозв'язок режимів роботи силової установки з динамікою руху. Наступним етапом синтезу міського їздового циклу є сегментація та класифікація зібраних даних за типами режимів руху, включаючи режими «старт-стоп», рівномірний рух та інтенсивні переходи на швидкісних відрізках. Після цього планується статистичний аналіз часових рядів, який дозволить визначити ймовірності переходів між режимами та середні характеристики прискорень і швидкостей. На основі цих результатів буде проведено синтез профілю «швидкість-час» для типового міського циклу, придатного для лабораторного відтворення, зберігаючи характерні перехідні процеси та інтенсивність навантажень на силову установку. Такий підхід дозволить отримати репрезентативний цикл, що відображає реальні умови руху, та забезпечить достовірну оцінку експлу-

атаційних, паливно-енергетичних і екологічних показників транспортних засобів у міських умовах.

Висновки

У статті обґрунтовано необхідність формування локально орієнтованих міських випробувальних їздових циклів на основі даних реальної експлуатації автотранспортних засобів. Застосування стандартних узагальнених циклів часто не дозволяє відобразити специфічні режими руху конкретного міста, зокрема частоту «старт-стоп», нерівномірність потоків та характерні перехідні процеси, що створює потребу у розробці локальних циклів на основі натурних вимірювань.

Для вирішення цієї задачі в роботі було використано експериментальний автомобіль Volkswagen Passat B7, оснащений вимірювально-реєструвальним комплексом, що став ключовим інструментом збору даних. Комплекс включає GNSS-трекер Teltonika FMB140, інтегрований із бортовою CAN-мережею, та OBD-сканер Vgate iCar 2 Wi-Fi, підключений до стандартного роз'єму OBD-II. Завдяки цій конфігурації забезпечується одночасний збір кінематичних параметрів руху та показників ро-

боти силової установки у синхронізованому часовому ряді, що є передумовою для подальшого аналізу режимів руху та оцінки паливно-енергетичних характеристик.

Реєстрація даних з використанням GNSS як опорного джерела часу дозволяє узгоджувати потоки інформації із різних каналів і формувати уніфіковані часові ряди, придатні для сегментації на мікропоїздки (micro-trips) та синтезу профілю «швидкість–час». Мінімально необхідний набір даних для побудови міського циклу включає час, швидкість (GNSS та CAN/OBD), координати маршруту та похідні параметри руху, а додаткові показники силової установки дозволяють контролювати інтенсивність режимів та відповідність циклу за енергоспоживанням.

Натурні заїзди в різні часові інтервали доби на експериментальному автомобілі забезпечили синхронізовану базу реальних даних міського руху Києва. Ці дані лягли в основу графічних матеріалів режимів руху та роботи силової установки, що використовуються для подальшої сегментації, групування режимів та формування міського випробувального їздового циклу.

Запропонований підхід і вимірювально-реєструвальний комплекс демонструють універсальність і придатність для використання у різних містах та регіонах. Сам автомобіль із комплексом виступає як ключовий інструмент отримання репрезентативних даних, що закладає достовірність та точність подальшого синтезу циклу, лабораторного відтворення режимів руху та оцінки паливної ефективності, енергоємності та екологічних характеристик транспортних засобів у міських умовах. Реєстрація, уніфікація та первинна структуризація даних, описані в роботі, розглядаються як один із ключових етапів реалізації методики формування типового міського їздового циклу, оскільки саме на цьому етапі закладається достовірність і репрезентативність подальшої сегментації, статистичного синтезу та лабораторного відтворення режимів руху. Отримані результати створюють міцну методичну та інформаційну основу для наступних

етапів досліджень із формування узагальненого міського їздового циклу та можуть бути використані для прикладних задач оцінювання експлуатаційних, паливно-енергетичних і екологічних показників автотранспортних засобів у реальних умовах міської експлуатації.

References

1. European Union. (2017). *Commission Regulation (EU) 2017/1151 supplementing Regulation (EC) No 715/2007, establishing WLTP procedures and related requirements (consolidated text)*. Retrieved from <https://www.legislation.gov.uk/eur/2017/1151/contents>
2. Amirjamshidi, G., & Roorda, M. J. (2015). Development of simulated driving cycles for light, medium, and heavy duty trucks: Case of the Toronto Waterfront Area. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 255–266. doi:10.1016/j.trd.2014.11.010
3. Gebisa, A., Gebresenbet, G., Gopal, R., & Nallamothe, R. B. (2021). Driving cycles for estimating vehicle emission levels and energy consumption. *Future Transportation*, 1(3), 615–638. doi:10.3390/futuretrans1030033
4. Chauhan, B. P., Joshi, G. J., & Parida, P. (2020). Development of candidate driving cycles for an urban arterial corridor of Vadodara city. *European Transport/Trasporti Europei*, 4, 1–16. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/BoskiChauhan2/publication/348252664_Development_of_Candidate_Driving_Cycles_for_an_Urban_Arterial_Corridor_of_Vadodara_City/links/5ff549d8a6fdccdc833ae7d/Development-of-Candidate-Driving-Cycles-for-an-Urban-Arterial-Corridor-of-Vadodara-City.pdf
5. Mateichyk, V., Kostian, N., Smieszek, M., Gritsuk, I., & Verbovskyi, V. (2023). Review of methods for evaluating the energy efficiency of vehicles with conventional and alternative power plants. *Energies*, 16, Article 6331. doi:10.3390/en16176331
6. Smieszek, M., Mateichyk, V., & Mościszewski, J. (2024). The influence of stops on the selected route of the city ITS on the energy efficiency of the public bus. *Energies*, 17, Article 4179. doi:10.3390/en17164179

7. U.S. Environmental Protection Agency. (2026). *Federal test procedure (FTP): Overview of light-duty vehicle emissions testing*. Retrieved from <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing>
8. DieselNet. (2026). *Vehicle test cycles (overview)*. Retrieved from <https://dieselnet.com/standards/cycles/>
9. Lin, M., & Peng, H. (2003). Driving cycle generation using Markov chains. *International Journal of Vehicle Design*, 32(2), 148–165.
10. Mayakuntla, S. K., & Verma, A. (2018). A novel methodology for construction of driving cycles for Indian cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 725–735. doi:10.1016/j.trd.2018.10.013
11. Almachi, J. C., Saguay, J., Anrango, E., Cando, E., & Reina, S. (2025). Clustering-based urban driving cycle generation: A data-driven approach for traffic analysis and sustainable mobility applications in Ecuador. *Sustainability*, 17(8), Article 3353. doi:10.3390/su17083353
12. Çolak, M. (2013). *Development of driving cycle based on real world data using micro-trips approach* (Master's thesis). Istanbul Technical University. Retrieved January 9, 2026, from <https://polen.itu.edu.tr/bitstreams/06dc415ae8d8-4737-aa7e-f30d2175e5ae/download>
13. Volkswagen AG. (2011). *Service training self study program 890113: The all new 2012 Passat*. Retrieved from https://vwcampersite.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/01/ssp_890113-passat-2012.pdf
14. GPS.gov. *How GPS works*. Retrieved from <https://www.gps.gov/what-can-gps-do>
15. Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2017). *Understanding GPS/GNSS: Principles and applications*. Norwood, MA: Artech House.
16. Misra, P., & Enge, P. (2006). *Global positioning system: Signals, measurements, and performance*. Lincoln, MA: Ganga-Jamuna Press.
17. Navstar GPS Joint Program Office. *Interface specification IS-GPS-200: Navstar GPS space segment/navigation user interfaces (ICD)*. Retrieved from <https://www.gps.gov/driving-gps>
18. Teltonika. *FMB140: Product page/specifications*. Retrieved from <https://www.teltonika-gps.com/products/trackers/can-data/fmb140>
19. Teltonika Telematics Wiki. *FMB140: Device specifications*. Retrieved from <https://wiki.teltonika-gps.com/view/FMB140>
20. Teltonika Telematics Wiki. *FMB140: Parameters / IO elements*. Retrieved from <https://wiki.teltonika-gps.com/>
21. Teltonika Telematics Wiki. *CAN data reading (Teltonika CAN solutions)*. Retrieved from <https://wiki.teltonika-gps.com/>
22. Teltonika Telematics Wiki. *Codec 8 / Codec 8 Extended documentation (AVL data)*. Retrieved from <https://wiki.teltonika-gps.com/view/Codec>
23. Robert Bosch GmbH. *CAN specification version 2.0*. Retrieved <https://www.bosch-semiconductors.com/>
24. International Organization for Standardization. (2003). *ISO 11898-1: Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 1: Data link layer and physical signalling*. Retrieved from https://www.iso.org/search.html?PROD_iso-org_en%5Bquery%5D=11898-1
25. International Organization for Standardization. (2003, 2016.). *ISO 11898-2: Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 2: High-speed medium access unit*. Retrieved from https://www.iso.org/search.html?PROD_iso-org_en%5Bquery%5D=11898-2
26. International Organization for Standardization. (2005). *ISO 15765-4: Road vehicles – Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) – Part 4: Requirements for emissions-related systems*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/>
27. SAE International. (1991). *SAE J1979: E/E diagnostic test modes (OBD-II services and PID)*. Retrieved from <https://www.sae.org/standards/>
28. SAE International. (1992). *SAE J1962: Diagnostic connector (OBD-II)*. Retrieved January 9, 2026, from <https://www.sae.org/standards/>
29. International Organization for Standardization. (2015). *ISO 15031-5: Road vehicles – Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics – Part 5: Emissions-related diagnostic services*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/>
30. ELM Electronics. *ELM327 OBD to RS232 interpreter: Data sheet*. Retrieved from <https://www.elmelectronics.com/>

31. Vgate. *iCar 2 Wi-Fi OBD-II adapter: Product information*. Retrieved from <https://www.vgate-mall.com/>
32. OBD Auto Doctor. *OBD-II PIDs and live data logging (software documentation)*. Retrieved from <https://www.obdautodoctor.com/>
33. Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals*. New York, NY: McGraw-Hill Education.
34. Teltonika Telematics Wiki. *FMB device time synchronization (GPS/NTP/NITZ)*. Retrieved from <https://wiki.teltonika-gps.com/>
35. Groves, P. D. (2013). *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems*. Boston, MA: Artech House.
36. Smith II, H., Akhtar, S., Caulfield, B., & O'Mahony, M. (2024). Validity of GPS data in driving cycles. *IET Intelligent Transport Systems*, 18(S1), 3034–3040. doi:10.1049/itr2.12574
37. Wang, L., Groves, P. D., & Ziebart, M. K. (2014). GNSS positioning in urban areas: A multi-constellation approach. *Applied Geomatics*, 6, 183–194.
38. Gebisa, A., Gebresenbet, G., Gopal, R., & Nallamothe, R. B. (2021). Driving cycles for estimating vehicle emission levels and energy consumption. *Future Transportation*, 1(3), 615–638. doi:10.3390/futuretransp1030033
39. Barth, M., & Boriboonsomsin, K. (2008). Real-world carbon dioxide impacts of traffic congestion. *Transportation Research Record*, 2058, 163–171. doi:10.3141/2058-20
40. Snarska-Bień, G., & Lasocki, J. (2025). Enhancing driving cycle development using artificial intelligence. *Combustion Engines*, 203(4), 146–154. doi:10.19206/CE-209909
41. European Commission, Joint Research Centre. (2015). *Development of the WLTP: A new test procedure for the type approval of light duty vehicles in Europe* (JRC Scientific and Policy Reports). Luxembourg: Publications Office of the European Union.
42. Richharia, M., & Westbrook, L. D. (2011). *Satellite systems for personal applications: Concepts and technology*. Chichester, England: John Wiley & Sons.
43. Xu, G., & Xu, Y. (2016). *GPS: Theory, algorithms and applications*. Berlin, Germany: Springer.
44. National Geospatial-Intelligence Agency. (1984). *World Geodetic System 1984 (WGS 84): Standard description*. Retrieved from <https://earth-info.nga.mil/>
45. European Space Agency. *EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) overview*. Retrieved from <https://www.esa.int/Applications/Navigation/EGNOS>

ISSN 0365-8392

DOI: 10.33868/0365-8392-2026-1-286-49-63

Дата першого надходження статті: 28.01.2026

Дата прийняття до друку: 15.03.2026

Дата публікації: 31.03.2026

