

Кондратюк М.А.
Національний транспортний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ N1

На перетині розвитку таких процесів як посилення екологічних вимог до автомобільного транспорту, невпинний процес урбанізації, зростаюча залежність від імпорту палива, збільшення ролі легкого комерційного транспорту для доставки в торгівлі в рамках розвитку електронної комерції, критичного значення набуває ефективність силової установки автомобілів категорії N1. Автомобілі категорії N1 займають значну частку автопарку і згідно даними виробників більше 75% робочого часу працюють в міському режимі руху. Такому режиму роботи найбільш відповідним виглядає використання гібридного силової установки, які розвиваються останні 20 років та широко впроваджуються в легковому транспорті. Виявлено значне відставання в наукових дослідженнях та практичній реалізації гібридних систем для цього типу транспорту. Для заповнення цієї прогалини проведено практичне дослідження умов експлуатації популярного комерційного автомобіля (MERSEDES SPRINTER 208 cdi, Євро 6) в реальних умовах експлуатації на протязі типового робочого дня, це дозволило забезпечити емпіричну основу для подальшого математичного моделювання. Шляхом аналізу даних з бортового комп'ютера та OBDII-сканера було визначено особливості експлуатаційного циклу, зокрема значну частку руху накатом 35% шляху (44,2км), що підтверджує потенціал для рекуперації енергії та використання гібридної силової установки в режимі частих зупинок. На даному етапі проведено попередній аналіз даних зібраних з бортового комп'ютера в розрізі 20-и зупинок, отримані дані систематизовані в табличну форму на основі яких побудовані графіки зміни швидкості та витрати палива. Зібрані дані за допомогою OBDII-сканера включаючи швидкість, прискорення, навантаження на двигун, поздовжній нахил дороги та вплив манери водіння будуть використані для подальшого більш детального аналізу. Отримані емпіричні дані ляжуть в основу для подальшого математичного моделювання, що дозволить розробити оптимальні конфігурації гібридної силової установки, включаючи потужність двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна, а також ємність тягової батареї. Результати досліджень сприятимуть не тільки підвищенню паливної ефективності, що призведе до збільшення конкурентоспроможності транспортних компаній завдяки зниженню сукупної вартості володіння (TCO), як це підтверджують останні міжнародні дослідження (наприклад, TCO HEV-вантажівок є найнижчою), а й сприятиме зниженню шкідливих викидів особливо в міському циклі, що позитивно вплине на екологічну ситуацію, а саме якість повітря.

Ключові слова: автомобіль, гібридний силовий привід, умови експлуатації, швидкість, паливна ефективність

ВСТУП

Основним завданням будь якого транспортного засобу є перевезення людей та вантажу з необхідною швидкістю і водночас з найменшою витратою ресурсів. Для підвищення тягово-швидкісних властивостей та паливної ефективності науковці та інженери оцінюють, намагаються мінімізувати вплив ряду сил, адаптуючи різні системи автомобіля для їх подолання, а саме - сил інерції (залежить від маси), сил опору дороги (опір коченню та нахил дороги) та сили опору повітря. Тому постійно намагаються зробити автомобіль легшим, обтічним та плавним. Ключовим засобом, методом досягнення оптимальної продуктивності є використання силових установок з найвищим ККД та трансмісії, яка б забезпечувала роботу двигуна в оптимальному режимі. Незважаючи на суттєве збільшення продуктивності автомобілів з моменту їх масового використання, такі процеси як стрімке збільшення парку автомобілів, а також посилення процесу урбанізації погіршує екологічні показники навколишнього середовища на стільки, що 90% населення світу дихає повітрям яке не відповідає стандартам ВООЗ [1], а циклічні нафтові кризи та вичерпність ресурсів підвищує ціни на паливо з подвійною силою.

Автомобільний транспорт продукує 18% світових викидів CO₂, 13% з яких припадає на вантажні автомобілі категорії N1[3]. Особливо гостро питання постає під час руху містом. У міському режимі руху ефективність роботи традиційного двигуна внутрішнього згоряння значно падає, а рівень викидів шкідливих речовин, шумового забруднення, економічних збитків зростає. [2]. Згідно даних виробників легкий комерційний транспорт категорії N1 на 75% робочого часу працюють в міському режимі, використовуючи переважно традиційний ДВЗ.

Останнім часом швидко набувають популярність електромобілі, наразі випускаються ряд моделей, що здатні проїжджати до 500-600 км на одній зарядці. Знижені податки, гарантія на батарею дозволяють збільшити кількість власників електромобілів, проте ці автомобілі мають ряд недоліків. Це більш висока ціна, довгий час заряджання, стрімке падіння залишкової вартості, та екологічні

наслідки, пов'язані з більшою масою, високим крутним моментом, що призводить до надмірного спрацювання шин та проблеми, пов'язані з видобутком літію, утилізацією тягових акумуляторів.

Найбільш оптимальним збалансованим та практичним рішенням в оглядовій короткостроковій перспективі є ширше впровадження гібридних силових установок для автомобілів категорії N1, де до традиційного ДВЗ додають потужний електродвигун з потужним акумулятором для допомоги чи повноцінного руху автомобіля на електротязі. Гібридні силові установки поєднують в собі переваги як традиційних двигунів внутрішнього згоряння, так і електричних моторів. Це досягається за рахунок того, що електродвигун має значно більший крутний момент на низьких обертах, на відміну від ДВЗ, що дозволяє ефективно розганятися. Під час гальмування та руху по інерції відбувається зворотний процес: електродвигун в режимі генератора починає заряджати батарею, тим самим заощаджуючи гальмівну систему. Отже спуски та необхідність гальмування заряджають батарею, що збільшує запас ходу, що робить їх новим джерелом енергії.

Поєднання роботи ДВЗ і електричного двигунів у гібридних автомобілях дозволяє досягти оптимального балансу між паливною ефективністю та тягово-швидкісними характеристиками, а головне може дозволити знизити витрати пального до 50 % в міському циклі [3]. Так як гібридні силові установки поєднують в собі переваги як традиційних двигунів внутрішнього згоряння та електричних моторів, це дозволяє їм бути більш економічними, екологічними, потужними та витривалими, ніж чисто електричні моделі, особливо для тривалих маршрутів.

Наразі провідні країни-виробники автомобілів, такі як Китай, Японія та країни Європейського Союзу, активно впроваджують різноманітні стимули для придбання гібридних транспортних засобів, намагаючись збільшити їх частку на ринку. Наприклад, у Китаї поставлена мета, щоб до 2035 року гібридні електромобілі (HEV), які продаються на внутрішньому ринку, становили 100% від загальної кількості легкових автомобілів на традиційному паливі (Китайське товариство автомобільної інженерії, 2020). В Європі, де транспорт доставки становить чверть викидів, гібридизація дизельних автомобілів є ключовим рішенням. Зони з низьким рівнем викидів, обмеження CO₂ до 147 г/км (ЄС, 2020 рік) стимулюють перехід на HEV, PHEV та EV.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для оцінки ефективності гібридних систем використано результати дорожніх випробувань, проведених в різних країнах, а також аналіз економічних показників експлуатації. Після відомого скандалу, так званого «Дизельгейт», спостерігається збільшення кількості дорожніх випробувань над лабораторними, що дозволяють отримати реальні дані, які в рази більші. Результати останніх досліджень у США, Канаді, Латинській Америці, Італії, Китаї демонструють, що використання повноцінних гібридних силових установок HEV та PHEV для автомобілів значно зменшує витрати палива та рівень шкідливих викидів, а гібридні технології на сьогодні є першим кроком розвитку. Зокрема, у США Кер'ялайнер та ін. [5] провели дорожні випробування, у яких порівняли реальні викиди наночастинок, твердих частинок та сажі від гібридного PHEV автомобіля (Volkswagen Passat 2017), що підключається, у порівнянні зі звичайними бензиновими автомобілями. Умови випробування - це 2 маршрути з різними умовами, місто та шосе. Проведене дослідження показало, що PHEV має нижчий рівень викидів твердих частинок майже у 10 разів.

Ван та ін. [6] провели дорожні випробування з одним гібридом PHEV з паралельним підключенням, оцінюючи економічність та рівень шкідливих викидів (CO, NO_x та твердих частинок) в залежності від рівня заряду батареї та режиму роботи ГСУ. Їм вдалося виявити, що рівень питомої витрати енергії був на 45% вищим за оцінками WTW (від свердловини до коліс) в режимі підтримки заряду батареї (ДВЗ працює) порівняно з режимом розряду батареї, коли автомобіль рухається в режимі електромобіля. Хуанг Ронг та ін. [7] у 2022 році провели дорожні випробування, оцінюючи переваги звичайних HEV над традиційними ТЗ з ДВЗ в контексті споживання палива та рівня шкідливих викидів у різних режимах роботи, а саме в спокійній та агресивній манері водіння. Гібридна силова установка мала на 41% кращу паливну економічність в міських умовах, а викиди CO₂ і NO_x були знижені на 33% і 61%, однак кількість твердих частинок та CO було вищим ніж у транспортних засобів з традиційними двигунами. Це пояснюється частими зупинками та перезапусками ДВЗ для HEV. У зв'язку з цим для комплексного порівняння паливної економічності та показників шкідливих викидів був запропонований індекс оцінки реального коефіцієнту відповідності. Це доводить необхідність поєднання стратегій орієнтованих на паливну економічність та контроль викидів.

Роберта де Рубіо та ін. (2022) [8] для оцінки ефективності гібридної силової установки використали програмне забезпечення ADvanced VehIcle SimulatOR (ADVISOR). За його допомогою

проведено моделювання їздових циклів, зокрема Світового узгодженого циклу випробувань для легкових транспортних засобів (WLTC). Була створена віртуальна модель комерційного дизельного гібридного електромобіля з паралельною конфігурацією, яку верифікували за допомогою експериментальних даних, отриманих від реального дизельного двигуна. Результати моделювання показали значну перевагу гібридної системи, зокрема у режимі виснаження заряду (Charge Depleting) зафіксовано зниження споживання палива та викидів CO_2 до 73%, а оксидів азоту — до 69%. У режимі підтримки заряду (Charge Sustaining) ці показники становили 30% для палива та CO_2 та 15,6% для оксидів азоту.

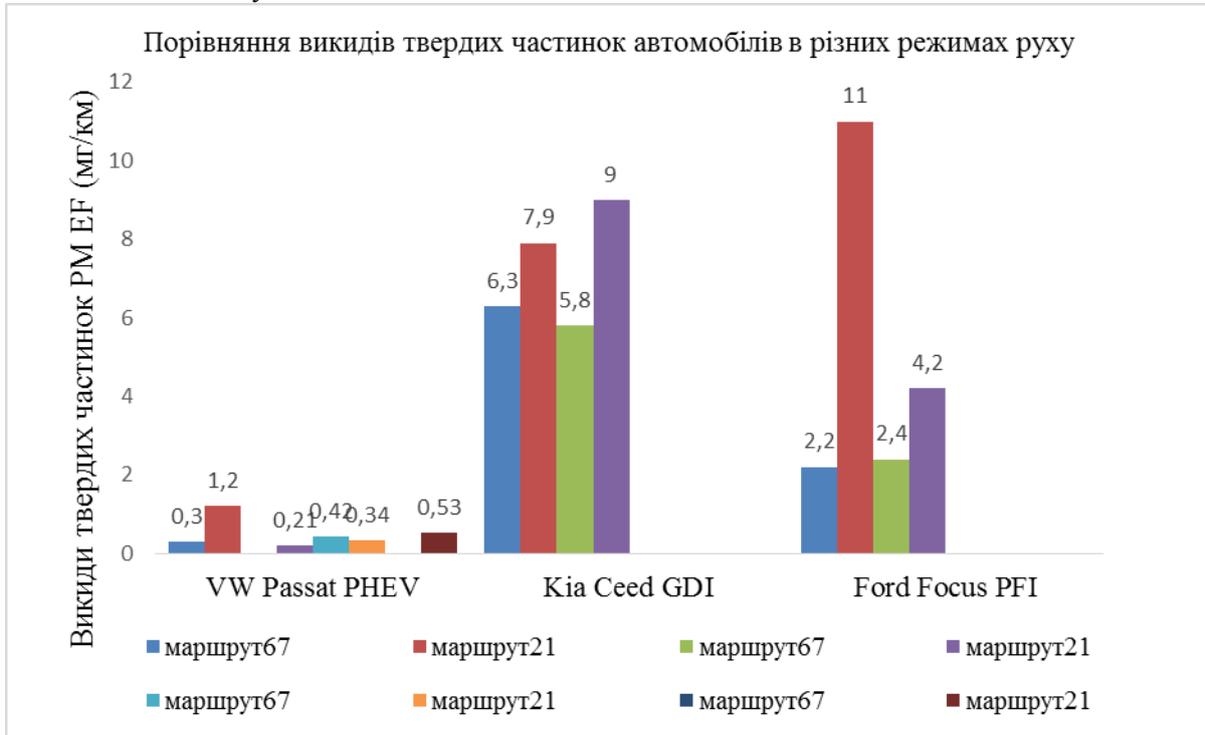


Рисунок1- Діаграма порівняння рівня шкідливих викидів PHEV проти ДВЗ [4]

Шапалко та ін. [3] довели, що застосування ГСУ на вантажних автомобілях, з точки зору економії палива та зменшення шкідливих викидів, значно ефективніше, ніж на легкових.

Згідно досліджень 2023 р. у Китаї, де аналізуються екологічні (WTW –викиди CO_2 від свердловини до коліс) та економічні показники (ТСО-сукупна вартість володіння) дизельних, звичайних гібридних та гібридних вантажівок з можливістю підключення до мережі з різними коефіцієнтами гібридизації і ємностями акумуляторів 50, 100 і 150 кВт/г шляхом порівняння викидів CO_2 і щільності енергії акумулятора було визначено оптимальність відстаней поїздки від 100 до 800 км [9].

Ефект економії пального для мікро-HEV, MHEV та HEV заощаджує 3,5%, 16% і 20% витрати дизельного пального порівняно з традиційною силовою установкою у змішаному циклі. Передбачається, що вартість зарядки, акумуляторів через поширеність та розвиток технологій буде знижуватися, а ціна на нафтове пальне буде стабільно зростати. Авторами було проведено аналіз загальної вартості володіння з точки зору вартості вантажного автомобіля, вартості пального та витрат на обслуговування, рис.2 [9].

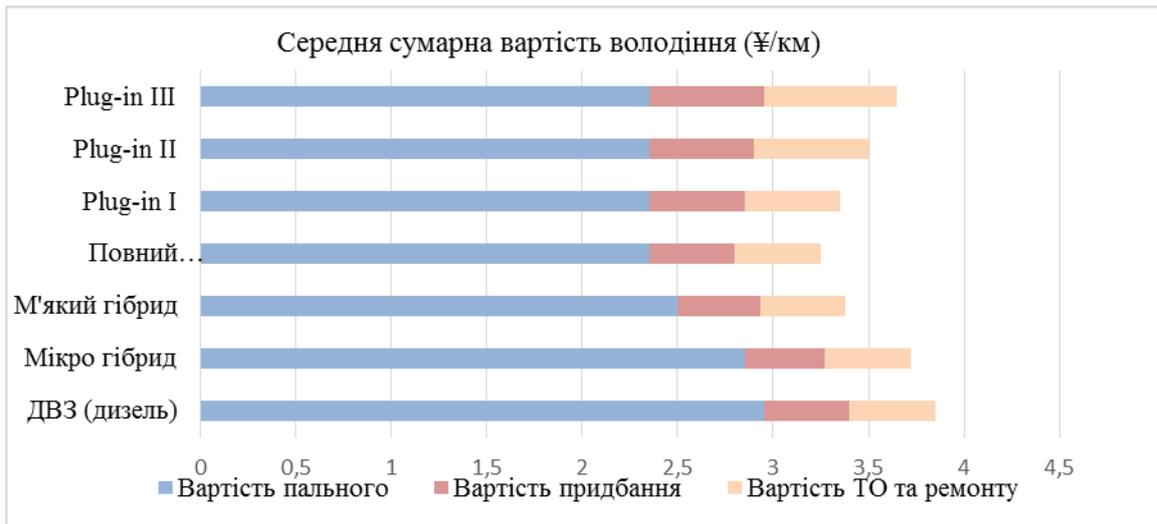
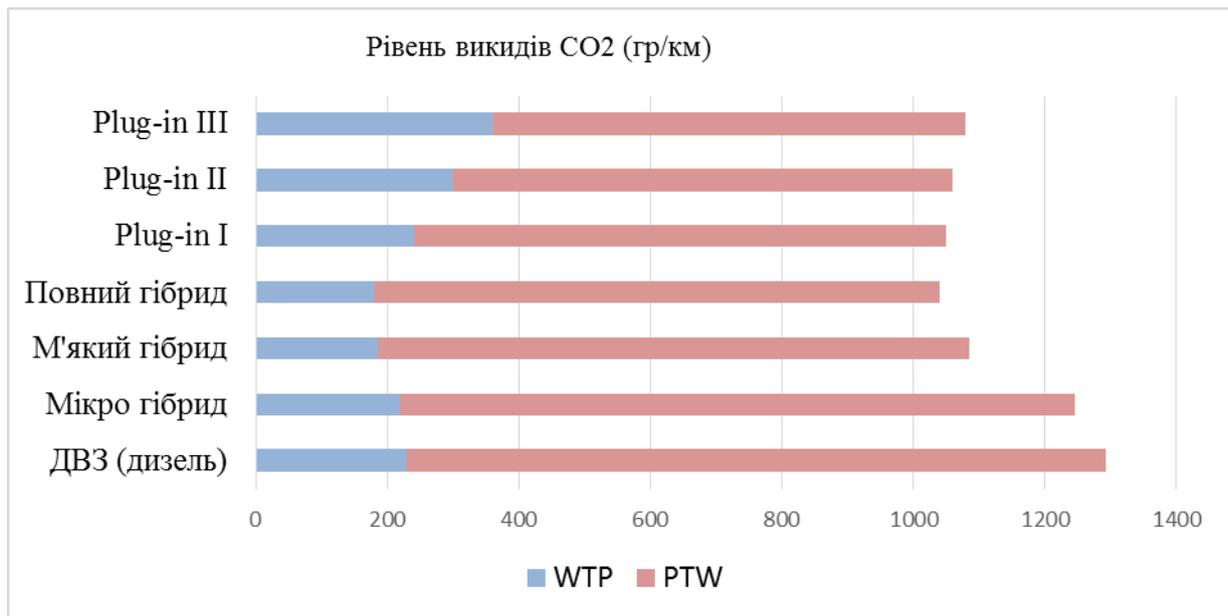


Рисунок 1.3. Порівняння вартості володіння в залежності від типу СУ[9]

HEV продемонстрував найнижчу TCO. Сукупна вартість Plug-in збільшувалася з ємністю батареї, і з найбільшою батареєю наближається до сукупної вартості утримання дизельного двигуна. Це пов'язано з використанням комерційних зарядних станцій ті більшої ціні на покупку автомобіля з більшою батареєю. У цій же роботі проведено моделювання негативного впливу на екологію, а саме скільки гр/км CO₂ буде виділено важкими вантажівками в залежності від ступеня гібридизації з точки зору від видобутку до баку WTP, та від баку до коліс PTW, рис. 3 [9].

Рисунок 3 - Порівняння викидів CO₂ в залежності від типу СУ. [9]

Найнижчі викиди CO₂ WTW були не у Plug-in з найбільшим АКБ, а у HEV. Одночасно викиди CO₂ WTW plug-in збільшувалися зі збільшенням ємності батареї. Доведено, що 6 типів гібридних електричних вантажівок мають кращі екологічні та економічні показники, ніж дизельні вантажівки з погляду викидів WTW CO₂ і сукупної вартості володіння. Було виявлено, що гібридні електричні вантажівки з високими коефіцієнтами гібридизації працюють найкраще. У майбутньому гібридні електричні вантажівки з великими акумуляторами, що підключаються, працюватимуть найкраще на коротких відстанях. І навпаки, під'єднувальні (PHEV) гібридні електричні вантажівки з невеликими акумуляторами будуть кращими для середніх і великих відстаней. Це в основному пов'язано зі збільшенням частки екологічно чистої електроенергії та зниженням цін на зарядку. Загалом, перевага Plug-in TCO зменшується зі збільшенням щоденної відстані пробігу, цін на зарядку та зниженням цін на дизельне паливо. На даний момент для Китаю в структурі виробництва

електроенергії, цін на пальне, зарядку, акумулятори силова установка звичайний гібрид NEV вважається найбільш ефективною. [9]

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою статті є експериментальне дослідження тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності вантажних гібридних автомобілів категорії N1 у реальних умовах експлуатації.

Гібридні вантажівки використовують таких типів:

- паралельні гібриди: ДВЗ та електродвигун працюють одночасно або по черзі;
- послідовні гібриди: ДВЗ використовується для заряджання акумулятора, а електродвигун приводить в рух колеса;
- комбіновані гібриди: Поєднують в собі елементи паралельної та послідовної схем. Є кращим вибором, адже найбільший ККД, мінімізуючи втрати послідовної схеми на перетворення енергії з механічної в електричну та з електричної в механічну

Ключовим показником для визначення типу гібридних автомобілів є коефіцієнт гібридизації, що характеризує залежність потужності тягового електродвигуна до сумарної потужності ГСУ:

$$\text{Hybridization factor} = \frac{P_{EM}}{P_{EM} + P_{ICE}} = \frac{P_{EM}}{P_{vehicle}}$$

де P_{EM} і P_{ICE} — максимальні потужності електродвигуна та ДВЗ, яка доступна для приведення ТЗ до руху.

За цим показником у табл. 1 наведені характерні ознаки типів гібридів [2].

Таблиця 1 - Характерні ознаки типів гібридів [2]

Тип	Режим роботи			
	Система «старт-стоп»	Регенеративне гальмування	Електричне підвищення	Режим виснаження заряду. Режим перезаряджання
Мікрогібрид	+	-	-	-
М'який гібрид	+	+	-	-
Повний гібрид	+	+	+	-
Плагін гібридний	+	+	+	+

Для досягнення мети дослідження проведені дорожні випробування. При цьому безпосереднє вимірювання параметрів руху автомобіля (швидкість, прискорення, витрата палива, навантаження на двигун, температури, зміна поздовжнього нахилу дороги, напрям вітру) в реальних умовах експлуатації надає максимально достовірні дані, оскільки вони отримуються в реальних умовах та дозволяють виявити непередбачені ефекти взаємодії систем, незважаючи на вартість та часові витрати, складність відтворення і повторюваності всіх можливих умов експлуатації.

Предметом дослідження стали умови експлуатації популярної моделі класу N1, яку щодня використовують в компанії для розвезення товарів широкого вжитку повний робочий день в Києві та області. Це вантажний автомобіль MERSEDES SPRITNER 208 cdi, дизель об'ємом 2143см³, 105кВт, клас екологічності Євро 6. Автором було проведено дослідження цього автомобіля в реальних умовах експлуатації на заданому маршруті, у звичайний робочий день, для чого складено звіт по пробігу.

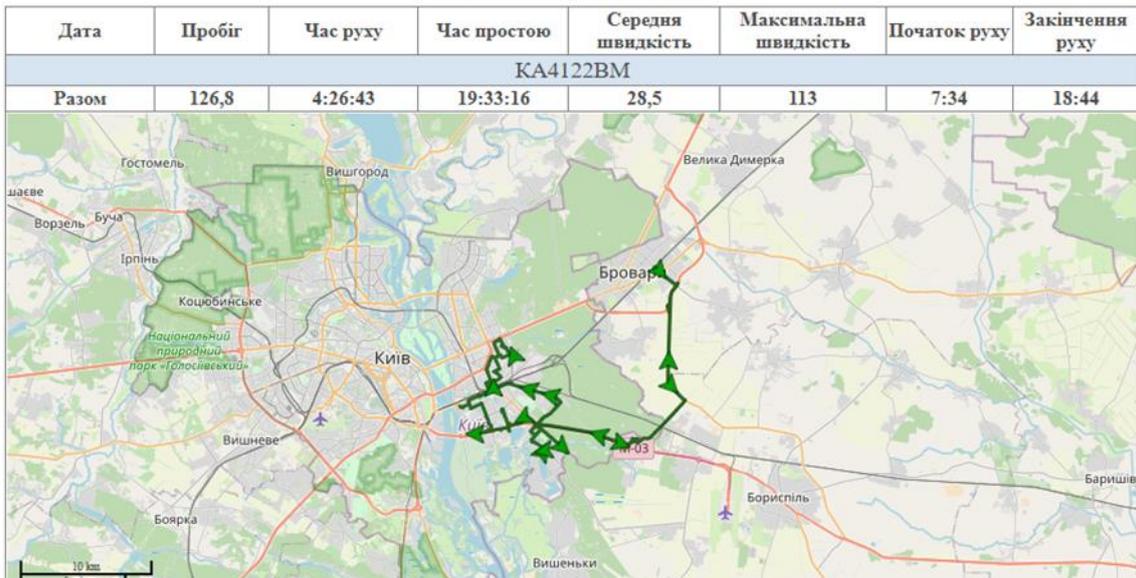
Звіт по пробігуза період з 09.05.2025 0:00:00 по 09.05.2025 23:59:59 (UTC +3)
Generation date: 12.05.2025 12:22:11

Рисунок 4 - Маршрут руху автомобіля станом на 9 травня 2025р.

На першому етапі був виконаний попередній аналіз паливної ефективності, швидкості та манери водіння. Для цього використовувалися дані бортового комп'ютера автомобіля, що відповідає екологічному стандарту Євро 6 з вбудованою системою навчання для економічного водіння. Протягом повного робочого дня досліджуваного автомобіля фіксувалися показники витрати палива та оцінка стилю керування водія під час близько 20 зупинок на маршруті на основі звітів про поїздку на кожному відрізку шляху. Програма знімає бали за різкий розгін та гальмування, заохочує перемикаати передачі в потрібний момент та максимально використовувати силу інерції, рис. 5.



Рисунок 5 – Параметри, що фіксуються бортовим компютером, за поїздку

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Отримані дані були систематизовані у табличній формі, на основі чого були побудовані попередні графіки витрати палива та швидкості руху, рис. 6.

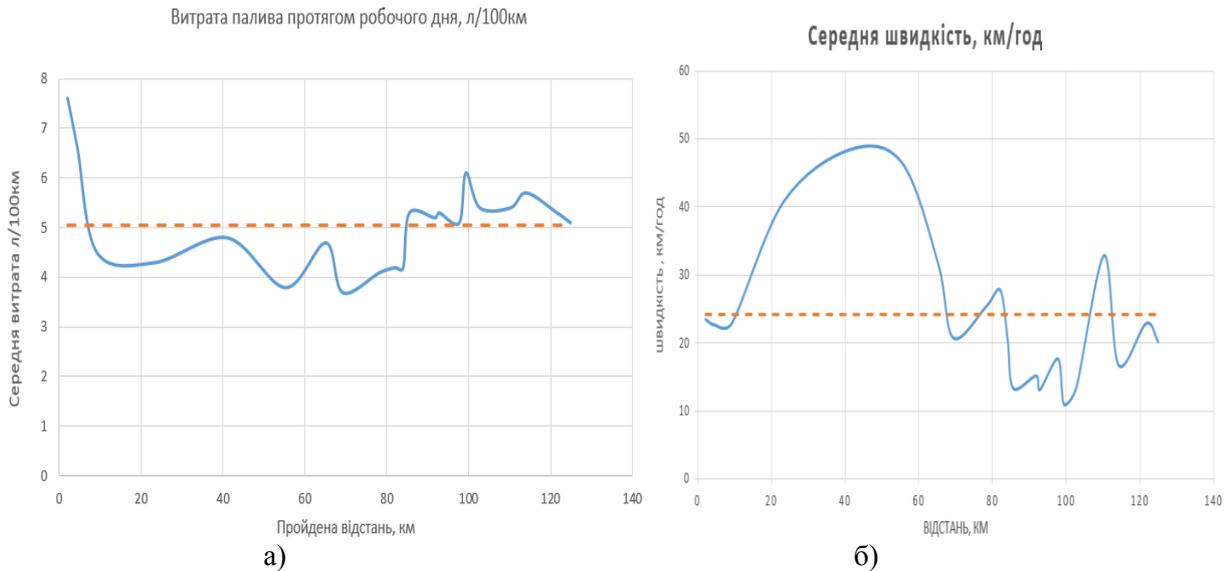


Рисунок 6 - Зміни середньої витрати палива (а) і середньої швидкості руху (б) на маршруті.

Графік, рис. 6а, демонструє природне збільшення витрати палива на коротких відстанях та особливо на не прогрітому двигуні та зниження витрати при русі на трасі та в місцях з нахилом дороги. При цьому встановлено, що 35% маршруту, а це 44,2км, було подолано накатом (за рахунок сили інерції та нахилу дороги), що відповідає попереднім дослідженням.

Графік, рис. 6б, демонструє природне збільшення середньої швидкості на автомагістралі Київ-Бровари та її зниження на коротких відстанях у місті. При цьому показники середньої швидкості бортового ПК були звірені з даними GPS і встановлено, показники ПК завищують швидкість на 3 км/год.

На результати досліджень паливної економічності і середньої швидкості руху суттєво впливає манера водіння. Так, манера професійного водія вантажівки демонструє кращу ефективність на 10% (85 балів проти 75), що говорить про кращу прогнозованість, а отже краще використання сили інерції та менш різке прискорення, що в даному випадку зменшує силу опору інерції, що направлена у зворотній бік від руху автомобіля.

У результаті проведених досліджень встановлено:

- пройдена 125 км;
- середня витрата палива 5,07 л/100 (показники витрати палива від бортового ПК були перевірені методом заправки «від баку до баку», дані занижені на 6%);
- середня швидкість на маршруті 24 км/год 24;
- середня швидкість руху накатом 44,2 км;
- час руху без простоїв 5 годин, 10хв.

Отримано масив даних за допомогою OBDII-сканера 7 МБ і отримані графіки будуть використані на наступних етапах для більш детального аналізу швидкості руху, витрати палива, впливу поздовжнього нахилу дороги на ці показники, а також використаної потужності двигуна. Дослідження складного масиву факторів, що впливають на рух автомобіль, дозволить гармонізувати гібридну систему досліджуваного автомобіля.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.

В умовах стрімкої урбанізації, посилення екологічних викликів, пов'язаних з викидами автомобільного транспорту та залежністю від імпорту пального питання підвищення паливної ефективності та зниження шкідливих викидів відпрацьованих газів набуває критичного значення. Незважаючи на значні успіхи у впровадженні гібридних технологій у легкових автомобілях, їхнє дослідження та практична реалізація для малих вантажних автомобілів категорії N1 значно відстає, що створює критичну прогалину в науковому знанні та інженерній практиці. Дане дослідження заповнює цю прогалину, аналізуючи реальні умови експлуатації у міському та приміському режимах популярного комерційного транспорту протягом повного робочого дня. Отримані дані та їх подальше використання для математичного моделювання дозволять не лише розробити оптимальні конфігурації, параметри потужності ДВЗ та електродвигуна, ємності тягової батареї, а й сприятимуть економічній перевазі та конкурентоздатності виробників та власників транспортних компаній

одночасно зменшуючи їхній негативний вплив на довкілля. Таким чином, результати цієї роботи мають значну теоретичну та практичну цінність для поліпшення ефективності вантажних гібридних автомобілів категорії N1.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень на обраному маршруті довжиною 125 км встановлені середня витрата палива, середня швидкість, час простою тощо. Шляхом аналізу даних з бортового комп'ютера та OBDII-сканера було визначено особливості експлуатаційного циклу, зокрема значну частку руху накатом (35% шляху), що підтверджує потенціал для рекуперації енергії.

Отримані емпіричні дані ляжуть в основу для подальшого математичного моделювання, що дозволить розробити оптимальні конфігурації гібридної силової установки, включаючи потужність двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна, а також ємність тягової батареї. Результати дослідження мають значну практичну цінність, оскільки можуть сприяти підвищенню паливної ефективності та зниженню шкідливих викидів, що, своєю чергою, підвищить конкурентоспроможність транспортних компаній та зменшить їхній негативний вплив на довкілля.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1.D Lekaki, M Kastori, G Papadimitriou, G Mellios, D Guizzardi, M Muntean, M Crippa Road transport emissions in EDGAR (emissions Database for global atmospheric research) Atmospheric Environment, 2024•Elsevier

2.Гібридні силові установки легкових автомобілів : навчальний посібник. – Запоріжжя : НУ Запорізька політехніка», 2021. – 193 с. ISBN 978-617-529-282-2.

3.Шалапко Д.О. Гібридна силова установка вантажного автомобіля як перспективний напрямок розвитку галузі / Шалапко Д.О., Пирисунько М.А., Руденко О.В., Андрієнко Г.О. // Моделювання та інформаційні технології в науці, техніці та освіті / Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції Харків: ХНАДУ. – 2018, с. 230-234

4.Haoran Hu, Simon J. Baseley, Xubin Song (2021) Advanced hybrid Powertrains Commercial vehicles.SAE International ISBN: 978-1-4686-0136-7

5.Karjalainen, P. Leinonen, V.; Olin, M.; Vesisenaho, K.; Marjanen, P.; Järvinen, A.; Simonen, P. Markkula, L.; Kuuluvainen, H.;Keskinen, J.; et al. (2024) Real-world emissions of nanoparticles, particulate mass and black carbon from a plug-in hybrid vehicle compared to conventional gasoline vehicles. Environ. Adv. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100454>

6.Yachao Wang, Yi Wen, Qinggong Zhu, Jiabin Luo, Zhengjun Yang, Sheng Su, Xin Wang, Lijun Hao, Jianwei Tan, Hang Yin, Yunshan Ge(2022) Real driving energy consumption and CO2 & pollutant emission characteristics of a parallel plug-in hybrid electric vehicle under different propulsion modes. Energy Volume 244, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.123076>.

7.Rong Huang, Jimin Ni, Teng Zheng, Qiwei Wang, Xiuyong Shi, Zhenxu Cheng (2022) Characterizing and assessing the fuel economy, particle number and gaseous emissions performance of hybrid electric and conventional vehicles under different driving modes,Atmospheric Pollution Research, ISSN 1309-1042, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101597>.

8.Roberta De Robbio, Maria Cristina Cameretti, Ezio Mancaruso, (2022) Investigation by modelling of a plug-in hybrid electric commercial vehicle with diesel engine on WLTC, Fuel,Volume 317,ISSN 0016-2361 <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123519>

9.Feiyang Xu, Curran Crawford, Yanbiao Feng, Zhenhong Lin, Shunxi Li (2023) Environment-economic analysis of diesel, hybrid electric, plug-in hybrid electric trucks in China. Research Part D: Transport and Environment, Volume 117, ISSN 1361-9209 <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103661>

REFERENCES

1.D Lekaki, M Kastori, G Papadimitriou, G Mellios, D Guizzardi, M Muntean, M Crippa Road transport emissions in EDGAR (emissions Database for global atmospheric research) Atmospheric Environment, 2024•Elsevier

2.Hybrydny sylovi ustanovky lehkovykh avtomobiliv: Navchalnyi posibnyk [Hybrid Power Plants for Passenger Cars: Study Guide]. Zaporizhzhia: NU Zaporizka politekhnikha, 2021, 193 p. (in Ukrainian). ISBN 978-617-529-282-2

3.Shalapko, D. O., Pyrysunko, M. A., Rudenko, O. V., & Andrienko, H. O. (2018). Hibrydna sylova ustanovka vantazhnoho avtomobilia yak perspektyvnyi napriamok rozvytku haluzi [Hybrid power plant of a truck as a promising direction of industry development]. Modeliuvannia ta informatsiini tekhnolohii v nautsi,

tekhntsi ta osviti: Zbirnyk naukovykh prats Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii [Modeling and information technologies in science, technology and education: Collection of scientific papers of the International scientific and practical Internet conference]. Kharkiv: KhNADU, pp. 230-234 (in Ukrainian)

4.Haoran Hu, Simon J. Baseley, Xubin Song (2021) Advanced hybrid Powertrains Commercial vehicles.SAE International ISBN: 978-1-4686-0136-7

5.Karjalainen, P. Leinonen, V.; Olin, M.; Vesisenaho, K.; Marjanen, P.; Järvinen, A.; Simonen, P. Markkula, L.; Kuuluvainen, H.;Keskinen, J.; et al. (2024) Real-world emissions of nanoparticles, particulate mass and black carbon from a plug-in hybrid vehicle compared to conventional gasoline vehicles. Environ. Adv. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100454>

6.Yachao Wang, Yi Wen, Qinggong Zhu, Jiabin Luo, Zhengjun Yang, Sheng Su, Xin Wang, Lijun Hao, Jianwei Tan, Hang Yin, Yunshan Ge(2022) Real driving energy consumption and CO2 & pollutant emission characteristics of a parallel plug-in hybrid electric vehicle under different propulsion modes. Energy Volume 244, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.123076>.

7.Rong Huang, Jimin Ni, Teng Zheng, Qiwei Wang, Xiuyong Shi, Zhenxu Cheng (2022) Characterizing and assessing the fuel economy, particle number and gaseous emissions performance of hybrid electric and conventional vehicles under different driving modes, Atmospheric Pollution Research, ISSN 1309-1042, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101597>.

8.Roberta De Robbio, Maria Cristina Cameretti, Ezio Mancaruso, (2022) Investigation by modelling of a plug-in hybrid electric commercial vehicle with diesel engine on WLTC, Fuel, Volume 317, ISSN 0016-2361 <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123519>

9.Feiyang Xu, Curran Crawford, Yanbiao Feng, Zhenhong Lin, Shunxi Li (2023) Environment-economic analysis of diesel, hybrid electric, plug-in hybrid electric trucks in China. Research Part D: Transport and Environment, Volume 117, ISSN 1361-9209 <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103661>

M. Kondratiuk. Research of operation conditions for N1 category hybrid trucks.

At the intersection of several key trends—tightening environmental standards for vehicles, relentless urbanization, growing dependence on fuel imports, and the increasing role of light commercial vehicles in e-commerce logistics—the efficiency of the powertrain for N1 category vehicles becomes critically important. N1 category vehicles constitute a significant share of the vehicle fleet, and according to manufacturer data, they operate in urban driving modes for over 75% of their working time. The most suitable solution for this operating regime appears to be the hybrid powertrain, which has been developed over the last 20 years and is widely implemented in passenger transport. A significant lag in both scientific research and practical implementation of hybrid systems for this vehicle type has been identified. To address this gap, a practical study of the operating conditions of a popular commercial vehicle (Mercedes Sprinter 208 CDI, Euro 6) was conducted under real-world conditions during a typical working day. This provided an empirical basis for further mathematical modeling. Analysis of data from the on-board computer and an OBDII scanner identified specific features of the duty cycle, notably a significant proportion of coasting, accounting for 35% of the route (44.2 km). This confirms the potential for energy recuperation and the use of a hybrid powertrain in conditions with frequent stops. At this stage, a preliminary analysis of data collected from the on-board computer for 20 stops has been conducted. The obtained data were systematized into a tabular form, and graphs of speed and fuel consumption changes were plotted. Data collected via the OBDII scanner, including speed, acceleration, engine load, longitudinal road grade, and the impact of driving style, will be used for further, more detailed analysis. The obtained empirical data will form the basis for subsequent mathematical modeling. This will enable the development of optimal hybrid powertrain configurations, including the power split between the internal combustion engine and the electric motor, as well as the capacity of the traction battery. The research results will not only enhance fuel efficiency—increasing the competitiveness of transport companies by reducing the Total Cost of Ownership (TCO), as confirmed by recent international studies (e.g., TCO for HEV trucks is the lowest)—but will also contribute to reducing harmful emissions, particularly in urban cycles, thereby positively impacting the environmental situation, namely air quality.

КОНДРАТЮК Микола Анатолійович, аспірант другого року навчання кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: nikolaykondratyuk86@gmail.com

Mukola KONDRATIUK Second-year graduate student of the Department of Automobiles, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: nikolaykondratyuk86@gmail.com

Дата надходження статті до видання: 21.10.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 31.10.2025

DOI 10.36910/automash.v2i25.1925