

С. С. КРАВЧЕНКО, Б. С. ЧУЧУМЕНКО

БАГАТОФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ З РІЗНИМ ТИПОМ СИЛОВОГО ПРИВОДУ

У статті розглянуто особливості автомобілів із бензиновими, дизельними, гібридними та електричними силовими установками в контексті сучасних вимог до енергоефективності, економічності та екологічної безпеки. Акцентовано увагу на тому, що порівняльна оцінка різних типів приводів має здійснюватися комплексно, з урахуванням не лише технічних характеристик транспортних засобів, а й витрат на експлуатацію та рівня викидів діоксиду вуглецю. Показано, що найбільш обґрунтованим підходом до такого аналізу є порівняння автомобілів у межах однієї моделі, що дає змогу мінімізувати вплив конструктивних і експлуатаційних відмінностей. Для дослідження обрано модель Volkswagen Golf, яка представлена модифікаціями з різними типами силових установок. Проаналізовано експлуатаційні витрати досліджуваних модифікацій з урахуванням вартості бензину, дизельного палива та електроенергії, а також середніх показників енергоспоживання. Підтверджено, що за прийнятих умов найменшу вартість пробігу одного кілометра має гібридна версія автомобіля, для якої цей показник становить 3,2 грн/км. Акцентовано увагу на тому, що економічна ефективність експлуатації транспортного засобу визначається не лише типом силової установки, а й вартістю відповідного енергоносія та умовами використання автомобіля. Окремо проаналізовано екологічний аспект застосування різних типів приводів. Розглянуто не лише прямі викиди діоксиду вуглецю під час руху автомобіля, а й непрямі викиди, пов'язані з виробництвом електроенергії для заряджання акумуляторної батареї електричного транспортного засобу. Показано, що за середньосвітового рівня викидів при генерації електроенергії питомі викиди для електричної версії досліджуваної моделі становлять 113,75 г/км, що є дещо нижчим за показники бензинової та дизельної модифікацій. Підтверджено, що найнижчий рівень викидів серед розглянутих варіантів має гібридна версія автомобіля. Зроблено висновок, що найбільш збалансованим рішенням за сукупністю економічних та екологічних показників є гібридний силовий привід, тоді як переваги електричного транспорту істотно залежать від структури виробництва електроенергії.

Ключові слова: силова установка; двигун внутрішнього згоряння; гібридний автомобіль; електричний автомобіль; експлуатаційні витрати; діоксид вуглецю; екологічна безпека

S. S. KRAVCHENKO, B. S. CHUCHUMENKO

MULTIFACTOR ANALYSIS OF OPERATIONAL PERFORMANCE INDICATORS OF VEHICLES WITH DIFFERENT TYPES OF POWERTRAINS

The article examines the operational features of vehicles equipped with gasoline, diesel, hybrid, and electric powertrains in the context of current requirements for energy efficiency, cost-effectiveness, and environmental safety. Attention is focused on the fact that the comparative assessment of different powertrain types should be carried out comprehensively, taking into account not only the technical characteristics of vehicles, but also operating costs and carbon dioxide emissions. It is shown that the most reasonable approach to such an analysis is to compare vehicles within the same model, which makes it possible to minimize the influence of design and operational differences. The Volkswagen Golf model was selected for the study, as it is represented by modifications with different types of powertrains. The operating costs of the studied modifications were analyzed with consideration of the prices of gasoline, diesel fuel, and electricity, as well as average energy consumption indicators. It is confirmed that, under the accepted conditions, the hybrid version of the vehicle has the lowest cost per kilometer, amounting to 3.2 UAH per kilometer. It is shown that for the diesel modification the cost per kilometer is 4.45 UAH, for the electric version 4.8 UAH, and for the gasoline version 5.6 UAH. It is emphasized that the economic efficiency of vehicle operation is determined not only by the type of powertrain, but also by the cost of the corresponding energy carrier and the conditions of vehicle use. The environmental aspect of applying different powertrain types was analyzed separately. Not only direct carbon dioxide emissions during vehicle operation were considered, but also indirect emissions associated with electricity generation for charging the battery of an electric vehicle. It is shown that, under the average global carbon intensity of electricity generation, the specific emissions of the electric version of the studied model amount to 113.75 g/km, which is slightly lower than the indicators of the gasoline and diesel modifications. It is confirmed that the lowest emission level among the considered options is demonstrated by the hybrid version of the vehicle. It is concluded that the most balanced solution in terms of combined economic and environmental indicators is the hybrid powertrain, while the advantages of electric transport significantly depend on the structure of electricity generation.

Keywords: powertrain; internal combustion engine; hybrid vehicle; electric vehicle; operating costs; carbon dioxide; environmental safety

Вступ. Автомобільний транспорт є одним із ключових елементів сучасної економіки, забезпечуючи мобільність населення та функціонування логістичних систем. Водночас саме транспортна галузь належить до найбільших джерел антропогенних викидів парникових газів і токсичних речовин у атмосферу. За оцінками міжнародних енергетичних організацій, частка автомобільного транспорту у загальному обсязі викидів CO₂ становить суттєву величину, що обумовлює необхідність впровадження ефективних заходів щодо їх скорочення [1].

У контексті глобальної декарбонізації економіки та переходу до сталого розвитку особливого значення набуває трансформація структури автомобільного парку шляхом впровадження енергоефективних і екологічно

безпечних силових установок. Посилення екологічних норм, зокрема стандартів токсичності відпрацьованих газів, а також зростання вартості викопних палив виступають ключовими драйверами розвитку альтернативних технологій у транспортному секторі.

На сучасному етапі розвитку автомобілебудування спостерігається диверсифікація типів силових установок, серед яких традиційні бензинові та дизельні двигуни внутрішнього згоряння співіснують із гібридними (HEV, PHEV) та повністю електричними (BEV) системами приводу. Кожен із зазначених типів характеризується специфічними техніко-економічними

© С. С. Кравченко, Б. С. Чучуменко, 2026

ми та екологічними показниками, що ускладнює однозначну оцінку їх ефективності [2–3].

З позицій енергетичної ефективності двигуни внутрішнього згоряння мають обмежений коефіцієнт корисної дії, тоді як електричні силові установки характеризуються значно вищими значеннями ККД [4]. Водночас, незважаючи на відсутність локальних викидів у електромобілів, їх екологічна ефективність значною мірою залежить від структури генерації електроенергії, що потребує врахування повного життєвого циклу енергії.

Автомобілі з гібридними силовими установками займають своєрідне проміжне положення між класичними автомобілями з двигуном внутрішнього згоряння та повністю електричними транспортними засобами. Їхня ідея полягає в поєднанні сильних сторін обох типів приводів і при цьому зробити мінімальними їх недоліки, а деяких зовсім позбавитись. Саме тому автомобілі з ГСУ вважаються компромісним, але дуже вдалим рішенням, яке дозволяє досягти значної економії палива без втрати універсальності – як у місті, так і за його межами.

Однією з головних переваг ГСУ є більш розумна робота двигуна внутрішнього згоряння. У звичайному автомобілі ДВЗ змушений працювати у всіх режимах – від холостого ходу до максимального навантаження, що звичайно ж, не завжди ефективно. У гібридному автомобілі частину цих режимів бере на себе електродвигун. Завдяки цьому ДВЗ доволі рідко працює на неекономічних режимах роботи або може бути взагалі вимкнений, наприклад, під час зупинок, руху накатом або при низьких навантаженнях [5].

Для підвищення ефективності в гібридних автомобілях використовуються двигуни, що працюють за циклом Аткинсона. Вони мають кращий ККД, але поступаються крутному моменту на низьких швидкостях. Однак для гібридного автомобіля це не проблема, оскільки електродвигун компенсує цей недолік, забезпечуючи максимальний крутний момент з моменту початку руху.

Це одним важливим елементом ефективності гібридів є система рекуперації енергії. У традиційних автомобілях під час гальмування вся кінетична енергія просто перетворюється на тепло та втрачається. У гібридних системах частина цієї енергії повертається назад – електродвигун працює як генератор, заряджаючи акумулятор. Надалі ця енергія використовується для розгону, руху на низьких швидкостях або живлення допоміжних систем автомобіля.

Ця система найкраще працює в міських умовах. Часті зупинки, розгони та гальмування створюють ідеальні умови для рекуперації енергії, що дозволяє значно економити паливо та зменшувати викиди. З іншого боку, на трасі, де рух транспорту більш рівномірний, ефект рекуперації значно менший, і електропривід вже виконує допоміжну функцію [6].

Важлива також сама архітектура гібридної силової установки. Послідовна схема ГСУ дозволяє двигуну працювати в найвигідніших режимах незалежно від швидкості автомобіля – це особливо корисно для міського транспорту. Паралельна схема ГСУ, навпаки, забезпечує прямий зв'язок між двигуном і колесами, що підвищує ефективність на стабільних швидкостях. Найбільш універсальними є змішані (послідовно-паралельні) системи, здатні адаптуватися до різних умов руху [5].

Система управління відіграє не менш важливу роль. Електронна система постійно аналізує режим руху, рівень заряду акумулятора, навантаження та дії водія, щоб оптимально розподілити енергію між двигуном та електроприводом. Це дає змогу зменшити втрати та підтримувати роботу ДВЗ в найефективніших режимах.

Отже, гібридні силові установки – це продумане технічне рішення, яке дозволяє знайти баланс між економічністю, екологічністю та зручністю експлуатації. Їхні переваги найбільш очевидні в міських та змішаних умовах руху, але вони також залишаються корисними на трасі. Саме здатність ефективно працювати в різних режимах робить гібридні автомобілі одними з найперспективніших напрямків розвитку сучасного автомобільного транспорту [7].

Важливим аспектом оцінки доцільності використання різних типів транспортних засобів є економічний фактор, який включає не лише витрати на енергоресурси, але й повну вартість володіння. До її складу входять витрати на придбання транспортного засобу, технічне обслуговування, ремонт, страхування, амортизацію та інші супутні витрати. Зазначений підхід дозволяє здійснити більш об'єктивну оцінку економічної ефективності різних типів автомобілів у довгостроковій перспективі [8].

Незважаючи на значну кількість наукових досліджень у даній галузі, питання комплексного порівняння паливної економічності, екологічних характеристик та економічної доцільності автомобілів із різними силовими установками залишається актуальним. Це зумовлено динамічним розвитком технологій та зміною вартості.

Мета роботи – проведення комплексної порівняльної оцінки автомобілів із бензиновими, дизельними, гібридними та електричними силовими установками за критеріями паливної (енергетичної) економічності, рівня викидів шкідливих речовин та економічної ефективності експлуатації.

Виклад основного матеріалу. Двигуни внутрішнього згоряння, зокрема бензинові та дизельні, уже багато років залишаються основним типом приводу в автомобільному транспорті. Їхня популярність пояснюється насамперед високою енергоємністю палива, а також добре розвинутою мережею заправних станцій, що робить їх зручними для повсякденного використання.

Водночас гібридні силові установки є сучасним і більш прогресивним рішенням, оскільки поєднують у собі можливості традиційного двигуна та електромотора. Завдяки цьому вдається зменшити витрати палива й скоротити шкідливі викиди, особливо під час руху в місті, де електрична тяга є більш доцільною та ефективною.

Електричні двигуни, що працюють від акумуляторних батарей, останнім часом набувають дедалі більшого поширення. Це пов'язано зі зростанням інтересу до екологічно безпечного транспорту. Такі автомобілі відзначаються високою енергоефективністю та майже повною відсутністю шкідливих викидів під час експлуатації [9].

У цілому різноманіття сучасних силових установок свідчить про активний розвиток автомобільної галузі. Сьогодні виробники прагнуть відповідати новим вимогам ринку, де особливу роль відіграють економічність, ефективність і турбота про довкілля. Саме ці чинники дедалі частіше стають визначальними для споживачів під час вибору автомобіля.

Оскільки вибір типу силовой установки визначається не лише технічними та екологічними показниками, але й економічними чинниками, наступним етапом є проведення розрахунку експлуатаційних витрат різних видів приводів. Аналіз відповідних витрат дасть можливість встановити економічну ефективність використання бензинових, дизельних, гібридних та електричних транспортних засобів.

Для об'єктивної оцінки економічної доцільності використання автомобілів з різними типами силових установок проведено розрахунок експлуатаційних витрат в умовах України з урахуванням актуальних цін на енергоресурси.

Для забезпечення об'єктивності та коректності економічного порівняння експлуатаційних витрат доцільно виконувати розрахунки для транспортних засобів, що належать до одного класу, оскільки використання автомобілів різних сегментів може призводити до викривлення результатів через відмінності в масі, габаритах, потужності, рівні оснащення та характері експлуатації. Водночас найбільш обґрунтованим підходом є проведення такого аналізу в межах однієї моделі автомобіля, що дає змогу мінімізувати вплив сторонніх конструктивних та експлуатаційних факторів і зосередити увагу саме на відмінностях між типами силових установок. У цьому контексті доцільним є вибір моделі Volkswagen Golf, оскільки модельний ряд Golf у різних модифікаціях і поколіннях охоплює бензинові, дизельні, гібридні (plug-in hybrid) та повністю електричні версії, що створює належну основу для порівняльного аналізу експлуатаційних витрат у максимально зіставних умовах.

Для проведення економічного аналізу експлуатаційних витрат різних типів силових

установок було прийнято такі середні значення вартості енергоносіїв [10-11]:

- вартість бензину марки А-100: 80 грн/л;
- вартість дизельного палива: 89 грн/л;
- вартість електроенергії (ЕЗС): 24 грн/кВт·год.

Як вихідні дані для розрахунків використано середні показники енергоспоживання досліджуваних модифікацій автомобіля Volkswagen Golf [12-13]:

- Volkswagen Golf 1.4 TSI: 7 л/100 км;
- Volkswagen Golf 2.0 TDI: 5 л/100 км;
- Volkswagen Golf GTE (PHEV): 4 л/100 км;
- Volkswagen e-Golf: 20 кВт·год/100 км.

Для гібридної версії Volkswagen Golf GTE прийнята витрата палива за умови експлуатації без зовнішнього підзаряджання акумуляторної батареї, тобто без використання електроенергії з мережі.

З метою забезпечення коректного порівняння експлуатаційних витрат доцільно визначити вартість пробігу одного кілометра для кожної модифікації. Розрахунок виконується за формулою:

$$V_1 \text{ км} = (Q \cdot C) / 100,$$

де Q – витрати палива або електроенергії на 100 км пробігу;

C – вартість 1 л палива або 1 кВт·год електроенергії.

Для бензинові версії Volkswagen Golf 1.4 TSI вартість одного кілометра пробігу становить:

$$V_1 \text{ км} = 5,6 \text{ грн/км.}$$

Для дизельної модифікації Volkswagen Golf 2.0 TDI відповідний показник дорівнює:

$$V_1 \text{ км} = 4,45 \text{ грн/км.}$$

Для гібридної версії Volkswagen Golf GTE (PHEV), за умови відсутності зовнішнього заряджання акумуляторної батареї, вартість одного кілометра пробігу становить:

$$V_1 \text{ км} = 3,2 \text{ грн/км.}$$

Для електричної модифікації Volkswagen e-Golf вартість одного кілометра пробігу визначається таким чином:

$$V_1 \text{ км} = 4,8 \text{ грн/км.}$$

Отже, за прийнятих умов розрахунку найменшу вартість пробігу одного кілометра має гібридна версія Volkswagen Golf GTE – 3,2 грн/км. Дизельна модифікація Volkswagen Golf 2.0 TDI демонструє витрати на рівні 4,45 грн/км, електрична версія Volkswagen e-Golf – 4,8 грн/км, а найбільшою є вартість пробігу бензинові версії Volkswagen Golf 1.4 TSI, яка становить 5,6 грн/км. Отримані результати свідчать про те, що економічна ефективність експлуатації транспортного засобу значною мірою залежить як від типу силовой установки, так і від вартості відповідного енергоносія.

Однак оцінка ефективності різних типів силових установок не може обмежуватися лише

економічними показниками експлуатації. Поряд із вартістю енергоносіїв важливим критерієм порівняння сучасних транспортних засобів є їхній вплив на навколишнє середовище, зокрема рівень викидів діоксиду вуглецю. Саме тому для більш комплексного аналізу доцільно розглянути екологічний аспект використання бензинових, дизельних, гібридних та електричних силових приводів, що дозволить оцінити їх не лише з позиції економічної доцільності, а й з точки зору екологічної безпеки. Під час аналізу було враховано не лише прямі викиди, що виникають безпосередньо в процесі руху автомобіля, а й супутні чинники, які також впливають на загальний екологічний ефект. Зокрема, йдеться про емісію забруднювальних речовин, що виникає під час виробництва електроенергії, яка використовується для їх заряджання.

Оцінюючи екологічність електричного транспорту, важливо враховувати регіональні особливості структури енергетики, адже рівень викидів CO₂ значною мірою залежить від того, які саме джерела енергії переважають у виробництві електроенергії. Тип палива, що використовується на електростанціях, безпосередньо визначає обсяг вуглецевих викидів, які припадають на кожен кіловат-годину виробленої електроенергії. Так, в Україні у 2025 році структура виробництва електроенергії характеризувалася значною перевагою атомної енергетики, що відображено на рис. 1 [14]. Це свідчить про відносно нижчу вуглецеву інтенсивність електроенергії порівняно з багатьма країнами світу, де домінуючу роль і далі відіграють теплоелектростанції. Саме теплова генерація залишається одним із основних джерел значних викидів CO₂ у глобальному енергетичному секторі.

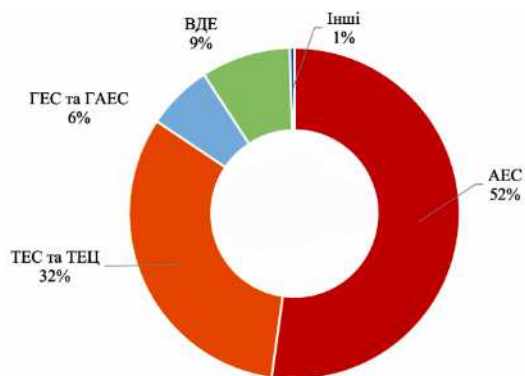


Рисунок 1 – Структура виробництва електроенергії в Україні, 2025 [14]

На основі наведених даних можна виконати спрощений розрахунок викидів діоксиду вуглецю для електромобіля в перерахунок на один кілометр пробігу та порівняти отримані результати з аналогічними показниками автомобілів тієї ж моделі, оснащених традиційними й гібридними силовими установками.

Для прикладу розглянемо Volkswagen e-Golf. Ємність його високовольтної акумуляторної батареї становить 24 кВт·год, чого, за прийнятих умов, достатньо приблизно на 120 км пробігу.

З урахуванням втрат, які виникають під час заряджання батареї, фактичне споживання електроенергії становитиме близько 30 кВт·год. Якщо взяти до уваги, що середній рівень викидів CO₂ при виробництві електроенергії у світі становить 455 г/кВт·год [15], то можна визначити, що для повної зарядки акумуляторної батареї буде утворено 13 650 г CO₂.

Оскільки цього запасу енергії вистачає на 120 км, питоми викиди для Volkswagen e-Golf становитимуть 113,75 г CO₂/км.

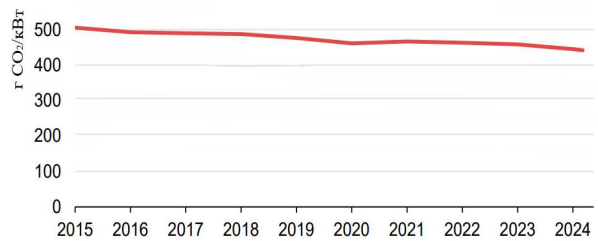


Рисунок 2 – Викиди CO₂ при генерації електроенергії у світі, 2015-2024 рр.

Для порівняння, у бензиновій версії Volkswagen Golf 1.4 TSI рівень викидів становить 120 г/км, у дизельній модифікації Volkswagen Golf 2.0 TDI – 115 г/км, тоді як у гібридній версії Volkswagen Golf GTE цей показник дорівнює 40 г/км. Отже, навіть з урахуванням викидів, пов'язаних із виробництвом електроенергії, електрична версія Volkswagen e-Golf демонструє дещо нижчий рівень вуглецевих викидів порівняно з бензиновою та дизельною модифікаціями. Водночас найкращий результат у межах наведеного порівняння показує гібридна версія автомобіля

Обговорення результатів. Отримані результати свідчать про те, що ефективність різних типів силових установок доцільно оцінювати комплексно, враховуючи як економічні, так і екологічні показники. Проведені розрахунки експлуатаційних витрат показали, що найнижчу вартість пробігу одного кілометра за прийнятих умов має гібридна версія Volkswagen Golf GTE – 3,2 грн/км, тоді як для дизельної модифікації цей показник становить 4,45 грн/км, для електричної – 4,8 грн/км, а для бензинової – 5,6 грн/км. Це дозволяє зробити висновок, що в умовах обраної моделі розрахунку гібридна силова установка виявилася найбільш економічно доцільною. Отримані значення підтверджують, що вартість експлуатації автомобіля суттєво залежить не лише від конструкції приводу, а й від актуальної вартості палива та електроенергії, а також від конкретних умов використання транспортного засобу.

Не менш важливими є результати екологічного аналізу, які засвідчили, що оцінка викидів CO₂ для електромобілів потребує

врахування не тільки відсутності локальних викидів під час руху, а й непрямих викидів, пов'язаних із виробництвом електроенергії. Виконаний розрахунок показав, що для Volkswagen e-Golf питомі викиди за умов використання середньосвітового показника вуглецевої інтенсивності електроенергії становлять 113,75 г/км, що є дещо нижчим за показники бензинової та дизельної модифікацій

відповідної моделі. Водночас найменший рівень викидів у межах порівняння продемонструвала гібридна версія Volkswagen Golf GTE – 40 г/км. Отже, результати дослідження свідчать про те, що електричний транспорт не завжди має беззаперечну екологічну перевагу, оскільки його ефективність значною мірою залежить від структури генерації електроенергії в конкретному регіоні.

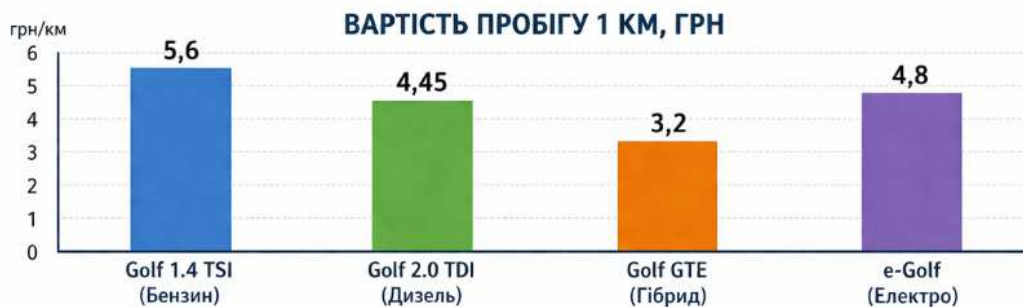


Рисунок 3 – Порівняння економічних показників автомобілів з різними силовими приводами

Висновки. Проведене дослідження підтверджує, що жоден тип силового приводу не може розглядатися, як найефективніше рішення без урахування конкретних умов експлуатації, вартості енергоносіїв, рівня розвитку інфраструктури та особливостей енергетичної системи тієї чи іншої країни. Ефективність транспортного засобу значною мірою визначається не лише його технічними характеристиками, а й тим, у яких режимах та середовищі він використовується.

У цьому контексті гібридні автомобілі демонструють себе як найбільш збалансований варіант за сукупністю показників паливної економічності та екологічності. Поєднання двигуна внутрішнього згорання з електричним приводом дозволяє знизити витрати пального, оптимізувати режими роботи силової установки та ефективно використовувати енергію рекуперації, особливо в умовах міського руху.

Традиційні бензинові та дизельні автомобілі, незважаючи на добре розвинену інфраструктуру та відпрацьовані технології, поступово втрачають свої конкурентні переваги. Це пов'язано зі зростанням вимог до енергоефективності, посиленням екологічних норм та підвищенням уваги до впливу автомобільного транспорту на

довкілля. У довгостроковій перспективі такі силові установки дедалі важче відповідатимуть сучасним вимогам сталого розвитку.

Список літератури

1. Mohseni, Naser & Bayati, Navid & Ebel, Thomas. Energy Management Strategies of Hybrid Electric Vehicles: a Comparative Review. IET Smart Grid. 2023. doi: 10.1049/stg2.12133.
2. Laurén M., General-Purpose and Scalable Internal-Combustion Engine Model for EnergyEfficiency Studies / M. Laurén, G.Goswami, A. Tupitsina, S. Jaiswal, T. Lindh, J .Sopanen / *Machines* – 2022 - №10 (1) - art. no. 26. doi: 10.3390/machines10010026
3. Jehlik F. Fuel consumption effects of a Diesel hybrid electric vehicle across a range of driving styles and ambient conditions. / F. Jehlik, E. Rask, S. Magand, E. Condemine. *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo - ITEC* 2015, art. no. 07165781. doi: 10.1109/ITEC.2015.7165781
4. Huang, R.; Ni, J.; Zheng, T.; Wang, Q.; Shi, X.; Cheng, Z. Characterizing and assessing the fuel economy, particlenumber and gaseous emissions performance of hybrid electric and conventional vehicles under different driving modes. *Atmos. Pollut. Res.* 2022. doi: 10.1016/j.apr.2022.101597.
5. Ehsani M. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles / M. Ehsani, Y. Gao, S. Gay, A. Emadi. – CRC Press: USA, 2005. – 424 p. http://dx.doi.org/10.1201/9781420037739.

6. Wang X., Zhao Y. Comprehensive Analysis for Braking Energy Recovery Strategies of Hybrid Electric Vehicles. *Highlights in Science, Engineering and Technology*. 2022. Vol. 16. P. 363–373. doi:10.54097/hset.v16i.2586
7. Park, J.; Shin, M.; Lee, J.; Lee, J., Estimating the effectiveness of vehicle emission regulations for reducing NOx from light-duty vehicles in Korea using on-road measurements. *Sci. Total Environ.* 2021. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144250
8. Yang, G.; Zhang, Y.; Li, X. Impact of gasoline upgrade policy on particulate matter pollution in China. *J. Clean. Prod.* 2020 doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121336.
9. Al-Wreikat, Y.; Serrano, C.; Sodr , J.R. Driving behaviour and trip condition effects on the energy consumption of an electric vehicle under real-world driving. *Appl. Energy* 2021. doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117096.
10. Ціни на пальне АЗС UPG. URL: <https://upg.ua/cini-na-palne/> (дата звернення: 05.04.2026)
11. Ціни на ЕЗС. URL: <https://www.evboost.com.ua/> (дата звернення: 05.04.2026)
12. Який двигун Golf вибрати: 1.4 TSI, 1.6 MPI, 2.0 TDI чи гібрид. URL: <https://05453.com.ua/yakii-dvigun-golf-vibrati-1-4-tsi-1-6-mpi-2-0-tdi-chi-gibrid/> (дата звернення: 01.04.2026)
13. Volkswagen Golf 7. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Golf_7 (дата звернення: 01.04.2026)
14. Exploration&Production Consulting (EXPRO). URL: <https://expro.com.ua/novini/chastka-vde-u-struktur-generac-elektroenerg-u-berezn-2025-r-sklala-mayje-9> (дата звернення: 01.04.2026)
15. Electricity 2025. – Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/7c671ef6-2947-4e87-beea-af0e1288e1d7/Electricity2025.pdf>
4. Huang, R.; Ni, J.; Zheng, T.; Wang, Q.; Shi, X.; Cheng, Z. Characterizing and assessing the fuel economy, particlenumber and gaseous emissions performance of hybrid electric and conventional vehicles under different driving modes. *Atmos. Pollut. Res.* 2022. doi: 10.1016/j.apr.2022.101597
5. Ehsani M. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles / M. Ehsani, Y. Gao, S. Gay, A. Emadi. – CRC Press: USA, 2005. – 424 p. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420037739>.
6. Wang X., Zhao Y. Comprehensive Analysis for Braking Energy Recovery Strategies of Hybrid Electric Vehicles. *Highlights in Science, Engineering and Technology*. 2022. Vol. 16. P. 363–373. doi:10.54097/hset.v16i.2586.
7. Park, J.; Shin, M.; Lee, J.; Lee, J., Estimating the effectiveness of vehicle emission regulations for reducing NOx from light-duty vehicles in Korea using on-road measurements. *Sci. Total Environ.* 2021. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144250
8. Yang, G.; Zhang, Y.; Li, X. Impact of gasoline upgrade policy on particulate matter pollution in China. *J. Clean. Prod.* 2020 doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121336
9. Al-Wreikat, Y.; Serrano, C.; Sodr , J.R. Driving behaviour and trip condition effects on the energy consumption of an electric vehicle under real-world driving. *Appl. Energy* 2021. doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117096
10. Fuel prices at UPG gas stations. Available at: <https://upg.ua/cini-na-palne/> (accessed 05.04.2026)
11. Prices at electric vehicle charging stations. Available at: <https://www.evboost.com.ua/> (accessed 05.04.2026)
12. Which engine should I choose for a Golf: 1.4 TSI, 1.6 MPI, 2.0 TDI, or the hybrid? Available at: <https://05453.com.ua/yakii-dvigun-golf-vibrati-1-4-tsi-1-6-mpi-2-0-tdi-chi-gibrid/> (accessed 01.04.2026)
13. Volkswagen Golf 7. Available at: https://uk.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Golf_7 (accessed 01.04.2026)
14. Exploration&Production Consulting (EXPRO). Available at: <https://expro.com.ua/novini/chastka-vde-u-struktur-generac-elektroenerg-u-berezn-2025-r-sklala-mayje-9> (accessed 01.04.2026)
15. Electricity 2025. – Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/7c671ef6-2947-4e87-beea-af0e1288e1d7/Electricity2025.pdf>

References (transliterated)

1. Mohseni, Naser & Bayati, Navid & Ebel, Thomas. Energy Management Strategies of Hybrid Electric Vehicles: a Comparative Review. *IET Smart Grid*. 2023. doi: 10.1049/stg2.12133
2. Laurén M., General-Purpose and Scalable Internal-Combustion Engine Model for EnergyEfficiency Studies / M. Laurén, G.Goswami, A. Tupitsina, S. Jaiswal, T. Lindh, J .Sopanen / *Machines* – 2022 - №10 (1) - art. no. 26. doi: 10.3390/machines10010026
3. Jehlik F. Fuel consumption effects of a Diesel hybrid electric vehicle across a range of driving styles and ambient conditions. / F. Jehlik, E. Rask, S. Magand, E. Condemine. *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo -*

Надійшла (received) 06.04.2026
Стаття прийнята до друку 20.04.2026
Опублікована 28.04.2026

Відомості про авторів / About authors

Кравченко Сергій Сергійович / Kravchenko Serhii – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Двигуни та гібридні енергетичні установки»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3250-8645>; e-mail: Serhii.Kravchenko@khpі.edu.ua.

Чучуменко Богдан Сергійович / Chuchumenko Bohdan – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Двигуни та гібридні енергетичні установки»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0353-2729>; e-mail: Bohdan.Chuchumenko@ieeekhpі.edu.ua.