

Витрати на енергоресурси підготовки військових водіїв на BYD T5 і ГАЗ-66 та потенціал сонячного енергозабезпечення електричного автопарку

Energy Resource Costs of Military Driver Training Using the BYD T5 and GAZ-66 and the Potential for Solar Energy Supply of the Electric Vehicle Fleet

Олександр Горошко

Oleksandr Horoshko

ад'юнкнт, e-mail: goroshko22222@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-5695-5311>

ORCID ID: PhD student, e-mail: goroshko22222@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-5695-5311>

Військова академія, м. Одеса, Україна

Military Academy, Odesa, Ukraine

Received: July 24, 2026 | Revised: August 27, 2026 | Accepted: August 31, 2026

УДК 629.3:621.331:621.311.243

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.4.27>

Мета роботи. Кількісно оцінити витрати на енергоресурси для практичної підготовки водіїв категорій C і C1 на електричній вантажівці BYD T5 порівняно з ГАЗ-66 та потенціал покриття відповідної енергетичної потреби за рахунок власної сонячної генерації.

Методи дослідження. Застосовано розрахунково-аналітичну модель на основі чинної нормативної бази. Враховано обсяг практичного керування, параметри вправи № 5, витрати на енергоресурси на одного курсанта, пропускну здатність автопарку та строк окупності. Проведено аналіз чутливості до тарифу на електроенергію, питомого енергоспоживання та середньої швидкості руху.

Результати дослідження. За базовими параметрами витрати на енергоресурси становлять 9 809 грн на одного курсанта для ГАЗ-66 і 1 111 грн для BYD T5, що відповідає 8,8-кратній перевазі електричної вантажівки. Для 100 курсантів розрахункова економія становить близько 870 тис. грн. Окупність BYD T5 становить 257 курсантів, а повного комплексу із шести машин та енергетичного комплексу — 7,3 року. Сонячний масив потужністю 29,25 кВтп потенційно здатний забезпечити енергетичну потребу підготовки до 312 курсантів на рік.

Теоретична цінність дослідження. Запропоновано поєднання моделі витрат навчального процесу з оцінюванням PV–BESS-енергозабезпечення автопарку.

Практична цінність дослідження. Результати можуть бути використані для обґрунтування переоснащення навчальних автопарків та інвестицій у власну генерацію.

Оригінальність/цінність дослідження. Поєднано оцінювання витрат підготовки військових водіїв на електротранспорті з оцінюванням потенціалу сонячного енергозабезпечення.

Обмеження дослідження/майбутні дослідження. Модель не є повною оцінкою TCO/LCC. Подальші дослідження мають охопити повний профіль вправ, TCO/LCC і місячний профіль генерації.

Тип статті: розрахунково-аналітична стаття (прикладне модельне дослідження).

Purpose. To quantitatively assess the energy resource costs of practical training for category C and C1 drivers using the BYD T5 electric truck compared with the GAZ-66, and the potential for meeting the corresponding energy demand through on-site solar generation.

Methods. A calculation-analytical model based on the current regulatory framework was applied. The model considers the amount of practical driving training, parameters of Exercise No. 5, energy resource costs per trainee, training fleet capacity, and payback period. Sensitivity analyses were performed for the electricity tariff, specific energy consumption, and average driving speed.

Results. Under the baseline parameters, energy resource costs amount to UAH 9,809 per trainee for the GAZ-66 and UAH 1,111 for the BYD T5, representing an 8.8-fold cost advantage for the electric truck. For 100 trainees, the estimated savings amount to approximately UAH 870,000. The payback threshold for the BYD T5 is 257 trainees, while the payback period for a complete system comprising six vehicles and the energy complex is 7.3 years. A 29.25 kWp solar array could potentially meet the energy demand for training up to 312 trainees annually.

Theoretical implications. A combined approach integrating a training-process cost model with an assessment of PV–BESS energy supply for the training fleet is proposed.

Practical implications. The results can support decisions on re-equipping training fleets and investing in on-site energy generation.

Originality/value. The study combines an assessment of military driver training costs using electric vehicles with an evaluation of the potential for solar energy supply.

Limitations/future research. The model does not constitute a comprehensive TCO/LCC assessment. Further research should address the complete training-exercise profile, TCO/LCC, and monthly solar generation profiles.

Article type: Calculation-analytical article (applied modelling study).

Ключові слова підготовка військових водіїв; електрична вантажівка; витрати на енергоресурси; сонячна генерація; енергетична стійкість; оборонна інфраструктура.

Key words. Military Driver Training; Electric Truck; Energy Resource Costs; Solar Power Generation; Energy Resilience; Defence Infrastructure.

Вступ

Досвід повномасштабної війни демонструє різний характер вразливості централізованих об'єктів нафтопереробки та розподілених систем електропостачання до цілеспрямованого руйнування. Попри чотири роки систематичних масованих ударів по об'єктах генерації та

передачі електроенергії, російській стороні не вдалося досягти декларованої мети — знищення енергосистеми України. Енергосистема, навіть зазнавши суттєвих втрат потужності, зберегла керованість і здатність до відновлення завдяки розподіленому характеру, резервуванню, ремонтпридатності мережевих активів, а також порівняно високій складності повного знищення окремих об'єктів, особливо елементів системи розподілу електроенергії, за умови їх належної побудови та застосування відповідних заходів захисту.

Натомість український вплив на нафтопереробну галузь противника, подібний за загальним задумом, але реалізований щодо іншого типу інфраструктури, дав принципово інший результат. Систематичні удари по нафтопереробних заводах призвели до дефіциту пального на території країни-агресора, нормування його відпуску та виникнення черг на АЗС, а тимчасово окупована Автономна Республіка Крим, постачання до якої додатково ускладнене ударами по танкерах, опинилася під суттєвим ризиком дефіциту пального [12, 17].

Таке зіставлення не є повністю еквівалентним, оскільки порівнюються різні держави, різні за структурою інфраструктурні системи, географічні умови, інтенсивність ударів, засоби ураження, ступінь резервування та ремонтні спроможності. Тому з нього не випливає загальний причинний висновок про нижчу стійкість паливної інфраструктури як такої. Водночас обидва випадки вказують на структурну відмінність: нафтопереробка сконцентрована у відносно невеликій кількості великих і складних для швидкого відновлення об'єктів, тоді як електроенергія може вироблятися розподілено, зокрема на рівні окремого підрозділу. Це створює підстави розглядати диверсифікацію джерел енергії як одну зі складових стійкості військової інфраструктури.

Питання енергетичної стійкості як цивільної інфраструктури, так і інфраструктури Збройних Сил України вже не є суто економічним, а набуло ознак питання національної безпеки. Здатність окремих підрозділів виконувати завдання попри перебої з постачанням паливно-мастильних матеріалів і централізованим електропостачанням має самостійну цінність, яка не зводиться лише до економічних показників. Водночас широке впровадження децентралізованої генерації у значних обсягах у смузі поблизу лінії бойового зіткнення, а також масштабна електрифікація бойової техніки наразі мають суттєві технічні та оперативні обмеження. Натомість електрифікація та підвищення енергетичної автономності тилових підрозділів, зокрема логістичних і навчальних центрів та закладів військової освіти, можуть бути практично здійсненими й економічно обґрунтованими.

Водночас потреба Збройних Сил України у підготовці водіїв в умовах повномасштабної війни суттєво зросла. Розширення парку автомобільної техніки, що надходить у межах міжнародної допомоги, значна частина якої має автоматичну трансмісію, а також постійна потреба у підготовці та заміні особового складу формують стійкий попит на підготовку водіїв до керування вантажними автомобілями забезпечення. Зменшення витрат на підготовку одного водія може вивільняти ресурси для підготовки більшої кількості курсантів без пропорційного збільшення загального обсягу витрат.

У попередній публікації автора обґрунтовано загальну доцільність поступового впровадження електричних вантажівок у систему підготовки водіїв Збройних Сил України [3]. Водночас наведена там аргументація має переважно якісний, оглядовий характер і не містить кількісного порівняння конкретних транспортних засобів у межах чинної нормативної бази підготовки водіїв, а також оцінювання того, якою мірою навчальний процес із використанням електричного транспортного засобу може забезпечуватися енергією незалежно від централізованої електромережі.

Актуальність дослідження зумовлена зростанням вартості нафтопродуктів в Україні та необхідністю обґрунтованого оцінювання не лише економічної, а й безпекової складової впровадження нових зразків техніки в навчальний процес в умовах системних загроз для енергетичної інфраструктури держави.

Проблема залежності військової логістики від викопного пального не є виключно українською. Збройні сили низки держав НАТО останніми роками переглядають підходи до електрифікації парку небойової та частково тактичної техніки, зокрема з погляду зменшення логістичного навантаження та підвищення стійкості підрозділів [31]. Однією з причин такого перегляду є вразливість ланцюгів постачання пального, тоді як електричний транспортний засіб за наявності автономних джерел заряджання здатний частково зменшувати таку залежність. Досвід війни в Україні додатково актуалізує це питання. Водночас у цій роботі йдеться не про бойову, а про навчальну техніку, для якої перехід на електричний привід є технічно й нормативно більш здійсненним.

Огляд літератури

Дослідження економічної ефективності електричних вантажівок порівняно з аналогами з двигунами внутрішнього згоряння останніми роками набуло значного поширення в зарубіжній літературі. Danielis et al. [18] на основі огляду оцінок сукупної вартості володіння (TCO) показують, що електричні вантажівки можуть ставати економічно конкурентоспроможними за певних експлуатаційних режимів і сприятливого співвідношення цін на паливо та електроенергію, що загалом узгоджується з логікою цього дослідження. Samet et al. [29] застосовують показник вирівняної вартості пробігу (levelized cost of driving) для сегмента середніх і важких електричних вантажівок та наголошують на високій чутливості результатів до тарифу на електроенергію. У цій статті така залежність перевіряється окремим аналізом чутливості.

Bhatti et al. [14] систематизували технології заряджання електромобілів від фотоелектричних систем і сформуvalи термінологічну та технічну основу для подальших досліджень інтеграції PV та EV. Osman et al. [24] показали, що поєднання фотоелектричної генерації з акумуляторним накопиченням і керуванням енергетичними потоками дає змогу підвищити рівень енергетичної самозабезпеченості об'єкта заряджання електромобілів.

Пізніші дослідження деталізують цю проблематику. Burke et al. [15] прогнозують досягнення паритету сукупної вартості володіння між окремими категоріями електричних і дизельних вантажівок за сприятливих умов експлуатації, а Yu et al. [34], моделюючи спільне проєктування логістичної та зарядної мереж, демонструють потенційну життєздатність електричних вантажівок у логістичних системах. Водночас Sugihara et al. [33] наголошують, що рішення щодо закупівлі електричних вантажівок для автопарків залежать не лише від економічних параметрів, а й від організаційних та інституційних чинників, що є релевантним і для військових автопарків.

Окремий напрям становлять дослідження енергетичної стійкості військових мікромереж. Prehoda et al. [26] обґрунтували доцільність використання сонячних мікромереж на військових об'єктах США не лише як засобу економії, а й як елемента забезпечення національної безпеки. Peterson et al. [25] запропонували оцінювати стійкість військової мікромережі за показниками впливу на виконання місії (mission impact), а не лише за економічними критеріями. Anuat et al. [13] поширили такий підхід на аналіз порушень ланцюгів постачання компонентів мікромережі, а Mallery et al. [23] — на змінні оперативні сценарії використання військових об'єктів. Simulcik et al. [31] розглядають електрифікацію об'єднаних сил США у Тихоокеанському та Арктичному регіонах як один із засобів підвищення стійкості до порушень енергопостачання.

Спільною рисою цієї групи робіт є зосередження переважно на стаціонарних військових базах. Навчальний автопарк та пов'язана з ним система локального енергозабезпечення як самостійний об'єкт дослідження розглядаються значно рідше.

Українські науковці Kurbatova et al. [22] аналізують проблеми підтримання надійності об'єднаної енергосистеми України в умовах війни та зростання частки відновлюваної генерації. Revin [28] розглядає безпеку енергетичного сектору України у ширшому контексті

сталого розвитку в умовах війни. Kilnitska et al. [21] характеризують енергетичний менеджмент як складову соціально-економічної та енергетичної безпеки України, а Serogina та Bezdyetko [30] досліджують роль відновлюваної енергетики у сталому розвитку територій України. Ці роботи підтверджують значення децентралізованої, зокрема сонячної, генерації для підвищення стійкості енергосистеми, однак безпосередньо не розглядають її застосування для забезпечення навчального військового автопарку.

Таким чином, попри значний масив досліджень економічної ефективності електричних вантажівок, інтеграції фотоелектричних систем із заряджанням електротранспорту та енергетичної стійкості військових об'єктів, у проаналізованій відкритій літературі не виявлено досліджень, у яких на перетині цих напрямів здійснювалося б кількісне оцінювання витрат на енергоресурси для підготовки військових водіїв на конкретному зразку електричної техніки одночасно з оцінюванням потенціалу покриття її енергетичних потреб власною сонячною генерацією. Відсутність виявлених публікацій не є доказом абсолютної відсутності таких досліджень, однак дає підстави визначити відповідну дослідницьку прогалину. Новизна роботи полягає у застосуванні кількісної моделі до нормативно визначеного процесу підготовки військових водіїв України та її поєднанні з оцінюванням потенціалу PV–BESS-енергозабезпечення навчального автопарку.

Окремої уваги потребує вибір тарифу на електроенергію. Bhatti et al. [14] зазначали, що частина досліджень інтеграції PV–EV використовувала спрощені або побутові тарифи, які не завжди відповідали умовам промислових чи інституційних споживачів. Аналогічна проблема актуальна і для вітчизняного контексту. Різниця між тарифом для населення та цінами, доступними непобутовим споживачам, може істотно впливати на результат розрахунку. Використання побутового тарифу для оцінювання витрат юридичної особи могло б суттєво завищувати економічний ефект. Тому конкретний рівень непобутової ціни у цій статті використано як розрахунковий сценарій, а стійкість результатів до його зміни перевірено аналізом чутливості.

Методологічно цитовані роботи також істотно різняться. Danielis et al. [18] та Samet et al. [29] використовують узагальнені профілі експлуатації, тоді як Osman et al. [24] спираються на вимірювання конкретної системи. Дослідження військових мікромереж [25, 13, 23] водночас наголошують, що для оборонного об'єкта цінність безперебійного постачання електроенергії не зводиться лише до грошового еквівалента.

Ця методологічна відмінність визначила подвійну структуру цього дослідження: витрати на підготовку курсанта оцінюються у грошових показниках, тоді як потенціал локального енергозабезпечення подається переважно в натуральних показниках — кількості курсантів і річному обсязі генерації. Такий підхід дає змогу не монетизувати штучно цінність незалежності від централізованого енергопостачання.

Метою статті є кількісне порівняльне оцінювання витрат на енергоресурси для практичної підготовки водіїв категорій C і C1 на електричній вантажівці BYD T5 та автомобілі ГАЗ-66, а також оцінювання потенціалу покриття енергетичних потреб навчального процесу за рахунок власної сонячної генерації.

Для досягнення поставленої мети передбачено: визначити нормативний обсяг практичної підготовки водіїв категорій C і C1 на транспортних засобах із механічною та автоматичною коробками передач; встановити нормативні параметри виконання вправи № 5 Курсу водіння автомобільної техніки; розрахувати та порівняти витрати на енергоресурси для обох транспортних засобів за базового непобутового тарифного сценарію; оцінити потенціал стаціонарного фотоелектричного масиву та систем накопичення електроенергії для покриття енергетичних потреб навчального процесу з урахуванням втрат у ланцюзі PV–BESS–EV; визначити пропускну здатність навчального автопарку; провести аналіз чутливості результатів до тарифу на електроенергію та питомого енергоспоживання електричної вантажівки;

здійснити сценарний аналіз залежно від середньої швидкості руху; визначити межі застосовності отриманих результатів.

Методологія дослідження

Нормативно-правова база дослідження

Відповідно до Типової навчальної програми підготовки та перепідготовки водіїв транспортних засобів категорій С і С1 [5, 6], обсяг практичного керування транспортним засобом під час первинної підготовки становить 56 год для транспортних засобів із механічною коробкою передач і 51 год — для транспортних засобів з автоматичною коробкою передач.

Вправа № 5 “Водіння по обмежених проїздах” Курсу водіння автомобільної техніки [2] виконується на маршруті завдовжки 800–1000 м із твердим покриттям автодрому на ненавантаженому автомобілі. Нормативний час виконання вправи під час початкової підготовки водіїв для оцінки “добре” становить 6,5 хв. Ці значення використано для визначення характерної швидкості руху.

Норма витрати пального для автомобіля ГАЗ-66 встановлена наказом Міністра оборони України [8] і становить 28,0 л бензину А-92 на 100 км пробігу.

Питоме споживання електроенергії BYD T5 (модифікація EV 132 кВт·год) прийнято за результатами незалежних дорожніх випробувань серійного зразка [11, 16]. За результатами змішаного маршруту середня витрата становила 25,3 кВт·год/100 км. Це значення використано замість номінальних показників WLTP/CLTC, оскільки для розрахунку доцільніше використовувати показник реального експлуатаційного споживання, а не ідеалізовані випробувальні цикли.

Ціну електроенергії у базовому розрахунку прийнято на рівні офіційної ціни універсальної послуги для малих побутових споживачів, приєднаних до мереж АТ “ДТЕК Одеські електромережі” [10]: станом на серпень 2026 року для другого класу напруги вона становить 10,37 грн/кВт·год із ПДВ.

Це значення використано як базовий розрахунковий тарифний сценарій, а не як документально підтверджений фактичний тариф конкретної військової частини чи закладу військової освіти. Відповідно до Закону України “Про ринок електричної енергії” та Правил роздрібного ринку електричної енергії [9], малим побутовим споживачем є споживач, який не є побутовим і електроустановки якого приєднані до електричних мереж із договірною (дозволеною) потужністю до 50 кВт включно; сам по собі статус юридичної особи не надає права на універсальну послугу.

Для об’єкта, що обслуговує навчальний автопарк із шести електричних вантажівок разом із відповідною зарядною інфраструктурою, договірна потужність може перевищувати зазначену межу. У такому разі електроенергія закуповуватиметься на вільному ринку за іншою ціною. Перевірка належності конкретної точки розподілу до категорії малого побутового споживача потребує даних паспорта точки розподілу і виходить за межі цього дослідження.

Саме тому стійкість результатів до ціни електроенергії перевіряється окремо в діапазоні 8,00–13,00 грн/кВт·год, який охоплює як рівень універсальної послуги, так і характерні ринкові ціни для побутових споживачів. Навіть за гіпотетичної ціни 20,00 грн/кВт·год, майже вдвічі вищої за базову, співвідношення витрат на енергоресурси залишається на рівні близько 4,6 раза. Отже, якісний висновок дослідження від цього припущення не залежить. Принциповим є використання побутової, а не побутової ціни електроенергії. Основні вихідні технічні та вартісні параметри порівнюваних транспортних засобів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1: Вихідні технічні характеристики порівнюваних транспортних засобів

Параметр	ГАЗ-66	BYD T5
Коробка передач	механічна	автоматична (одноступеневий редуктор)
Норматив практичного керування, год	56	51
Питома витрата ресурсу	28,0 л А-92/100 км	25,3 кВт·год/100 км
Джерело норми витрати	Міністр оборони України, 1999	360che.com, 2025; BYD Commercial Vehicles, n.d.
Ціна одиниці ресурсу (07–08.2026)	75,37 грн/л (А-92) (Мінфін, 2026)	10,37 грн/кВт·год (ціна універсальної послуги, з ПДВ) (ООЕК, 2026) — базовий сценарій
Орієнтовна вартість транспортного засобу	на балансі підрозділу (0 грн)	2 236 500 грн (EVC Energy, 2026)

Джерело: розраховано автором.

Методика розрахунку

Розрахунок виконується послідовно у чотири кроки: визначення характерної швидкості руху; визначення витрат на енергоресурси для підготовки одного курсанта; визначення співвідношення витрат для обох транспортних засобів; оцінювання строку окупності капітальних витрат.

Крок 1. Визначення середньої швидкості руху.

$$v = \frac{S}{t} = \frac{0.9}{6.5/60} = 8.3 \text{ км/год} \quad 1)$$

де S — середня довжина маршруту вправи № 5 (0,9 км);
 t — нормативний час її виконання (6,5 хв, або 0,1083 год).

За цих параметрів характерна середня швидкість становить приблизно 8,3 км/год. У подальшому це значення використовується як базова оцінка характерної швидкості руху, а вплив такого припущення додатково перевіряється сценарним аналізом.

Крок 2. Визначення витрат на енергоресурси для практичної підготовки одного курсанта.

$$C = h \cdot v \cdot q \cdot p, \quad (2)$$

де h — нормативна кількість годин практичного керування, год;
 v — середня швидкість руху, км/год;
 q — питома витрата відповідного енергоресурсу на 1 км;
 p — ціна одиниці енергоресурсу (див. таблицю 1).

Крок 3. Визначення співвідношення витрат на практичну підготовку одного курсанта.

$$\frac{C_{\text{ГАЗ-66}}}{C_{\text{BYD T5}}} = \frac{(h_1 q_1 p_1)}{(h_2 q_2 p_2)}, \quad (3)$$

Середня швидкість руху у формулі (3) скорочується за умови однакового профілю руху обох транспортних засобів. Тому кратність співвідношення витрат визначається співвідношенням нормативної тривалості підготовки, питомої витрати відповідного енергоресурсу та його ціни.

Крок 4. Оцінювання строку окупності капітальних витрат.

$$N = \frac{P}{\Delta C}, \quad (4)$$

де P — орієнтовна вартість BYD T5, грн;
 ΔC — економія витрат на енергоресурси в розрахунку на одного курсанта, грн.

Показник N інтерпретується як кількість підготовлених курсантів, після якої накопичена економія на енергоресурсах дорівнює прийнятим капітальним витратам на придбання BYD T5.

Наведений розрахунок свідомо охоплює лише витрати на пальне або електроенергію і не включає інші компоненти сукупної вартості володіння (TCO/LCC). Це принципове обмеження моделі.

Першим неврахованим чинником є технічне обслуговування. ГАЗ-66 знято із серійного виробництва у 1999 році. Його карбюраторний двигун, система запалювання, зчеплення, механічна коробка передач, роздавальна коробка та карданні передачі потребують регламентних робіт, характерних для техніки цього покоління. Крім того, припинення серійного виробництва підвищує ймовірність використання неоригінальних або відновлених запасних частин. Водночас електрична трансмісія BYD T5 конструктивно не має карбюратора, системи запалювання, зчеплення та багатоступеневої механічної коробки передач. Це потенційно може знижувати частину експлуатаційних витрат, однак кількісна оцінка такої різниці потребує фактичних відомчих даних про технічне обслуговування обох типів транспортних засобів. Тому цей чинник до основної моделі не включено.

Другим неврахованим чинником є робота двигуна ГАЗ-66 на холостому ходу. Організація практичного водіння передбачає почергове виконання вправ курсантами навчальної групи. У проміжках між заїздами та під час пояснень інструктора двигун автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння може продовжувати працювати, а отже, пальне витрачається не лише під час руху, врахованого формулою (2). Електричний транспортний засіб у стані нерухомості не має аналогічної витрати тягової енергії, хоча певна енергія витрачається на бортову електроніку та допоміжні системи. Отже, неврахування холостого ходу може призводити до заниження фактичних витрат ГАЗ-66 на енергоресурси. Кількісне визначення цього ефекту потребує окремих емпіричних даних і виходить за межі дослідження.

Методика оцінки потенціалу енергетичної автономності

Під час планування стаціонарного енергетичного комплексу прийнято, що він має забезпечувати середньорічну енергетичну потребу навчального автопарку із шести автомобілів. Така чисельність прийнята як розрахунковий орієнтир для умовного навчального автопарку одного автодрому і не претендує на відображення штатної чисельності конкретного підрозділу.

Пропускна здатність однієї навчальної машини прийнято на рівні річного фонду її використання $T_p = 2\,000$ год (250 навчальних днів по 8 год, однозмінний режим). За нормативу 51 год практичного керування на одного курсанта це відповідає приблизно 39 курсантам на одну машину за рік, а для автопарку із шести машин — приблизно 235 курсантам за рік. Двозмінний режим ($T_p = 3\,000$ год) підвищує цю оцінку приблизно до 353 курсантів за рік. Цей параметр введено явно, оскільки у базовому режимі саме пропускна здатність автопарку, а не встановлена потужність фотоелектричного масиву, може обмежувати річний обсяг підготовки.

Розглянуто конфігурацію стаціонарного, тобто не встановленого на транспортному засобі, енергетичного комплексу: фотоелектричний масив із 50 панелей Jinko Solar потужністю 585 Вт кожна (сумарна встановлена потужність 29,25 кВтп) та дві системи накопичення енергії Bluesun BSE50KH3-100.3KWH сумарною ємністю близько 200 кВт·год. У періоди сонячної генерації електроенергія накопичується у BESS, а згодом може використовуватися для заряджання BYD T5. За принципом роботи така конфігурація відповідає архітектурі PV–BESS–EV, але масштабована під потреби навчального підрозділу.

Орієнтовну вартість обладнання розглянутої конфігурації визначено за актуальними цінами українських постачальників станом на серпень 2026 року. Наведені ціни є

роздрібними, не враховують можливих знижок за оптової закупівлі, вартості монтажу, комутаційного обладнання та сервісних робіт, тому мають орієнтовний характер.

Таблиця 2: Орієнтовна вартість обладнання стаціонарного енергетичного комплексу та навчального автопарку (станом на серпень 2026 року)

Складова комплексу	Кількість · ціна за одиницю	Разом, грн
Сонячна панель Jinko Solar JKM-585N-72HL4-BDV, 585 Вт	50 · 4 116 грн	205 800
Система накопичення енергії Bluesun Solar BSE50KH3-100.3KWH	2 · 649 999 грн	1 299 998
Разом енергетичний комплекс	—	1 505 798
Електрична вантажівка BYD T5 (132 кВт·год)	6 · 2 236 500 грн	13 419 000
Разом за комплектом (автопарк із 6 машин та енергетичний комплекс)	—	14 924 798

Джерело: складено автором за даними [20, 27].

Річну генерацію фотоелектричного масиву визначено за формулою:

$$E_{\text{ген}} = C_{\text{масив}} \cdot Y \quad (5)$$

де $P_{\text{масив}}$ — встановлена потужність масиву, кВтп;
 Y — питома річна генерація у відповідній локації, кВт·год/кВт/рік.

За емпіричними даними для Одеської області [32] прийнято $Y \approx 1320$ кВт·год/кВт/рік. За $P_{\text{масив}} = 29,25$ кВтп розрахункова валова річна генерація становить близько 38 610 кВт·год.

Однак не вся згенерована енергія надходить до тягової батареї транспортного засобу. Доступну для заряджання енергію визначено за формулою:

$$E_{\text{ген}} = C_{\text{масив}} \cdot \eta_{\text{сист}} \quad (5a)$$

де $\eta_{\text{сист}}$ — сукупний коефіцієнт корисної дії ланцюга PV–BESS–EV.

Оскільки втрати інвертора вже враховано в показнику Y , до розрахунку включено круговий ККД акумуляторного накопичувача $\eta_{\text{BESS}} \approx 0,92$ та ККД зарядного пристрою $\eta_{\text{зар}} \approx 0,94$. У результаті $\eta_{\text{сист}} \approx 0,865$. За цих параметрів доступний річний обсяг енергії становить приблизно 33 390 кВт·год.

Кількість курсантів, енергетичну потребу практичної підготовки яких система потенційно може покрити протягом року, визначено за формулою:

$$N_k = \frac{E_{\text{дост}}}{E_k}, \quad (6)$$

де E_k — енергетична потреба одного курсанта на повний курс практичної підготовки.

Для базового сценарію $E_k = 51$ год · 8,3 км/год · 0,253 кВт·год/км $\approx 107,1$ кВт·год. За доступного річного обсягу енергії близько 33 390 кВт·год це відповідає потенціалу забезпечення енергетичної потреби приблизно 312 курсантів на рік.

Фактична річна кількість підготовлених курсантів визначається меншим із двох обмежень — енергетичним та пропускну здатністю автопарку:

$$N_{\text{факт}} = \min(N_k, N_{\text{парк}}), \quad N_{\text{парк}} = n_{\text{ТЗ}} \cdot \frac{T_p}{h} \quad (6)$$

де $n_{\text{ТЗ}}$ — кількість навчальних транспортних засобів;
 T_p — річний фонд часу використання одного транспортного засобу;
 h — норматив практичного керування на одного курсанта.

За однозмінного режиму для шести машин $N_{\text{парк}} \approx 235$ курсантів на рік, тому саме пропускна здатність автопарку є обмежувальним чинником. За двозмінного режиму $N_{\text{парк}} \approx 353$, і тоді обмеження переходить до енергетичного потенціалу системи — близько 312 курсантів на рік.

Дизайн дослідження та його обмеження

Застосований дизайн дослідження є розрахунково-аналітичним, а не експериментальним. Емпіричні вхідні дані – норми часу, норми витрати ресурсу, ціни, питоме енергоспоживання BYD T5 та питома генерація фотоелектричного масиву – отримано з офіційних нормативних документів, технічних джерел і незалежних вимірювань третіх сторін. Власним внеском автора є формалізована методика поєднання цих даних та кількісні результати порівняння.

Такий дизайн забезпечує відтворюваність розрахунків, однак водночас успадковує обмеження вихідних даних. Зокрема, норма витрати пального ГАЗ-66 і питоме енергоспоживання BYD T5 визначені за різних умов: перший показник є нормативним, другий – отриманим під час дорожнього випробування. Це частково обмежує пряму порівнянність показників і зумовлює необхідність окремого аналізу чутливості до питомого енергоспоживання електричної вантажівки.

Оцінка окупності базується на конкретному управлінському сценарії: придбання BYD T5 як альтернативи продовженню експлуатації наявного, повністю амортизованого ГАЗ-66. У цьому сценарії ГАЗ-66 розглядається як наявний актив із нульовими додатковими капітальними витратами, а розрахунок має характер аналізу приростних витрат (incremental cost). За іншого базового сценарію, зокрема порівняння двох нових закупівель, результат щодо окупності буде іншим.

Крім того, розрахунок охоплює виключно витрати на енергоресурси і не є оцінкою сукупної вартості володіння або життєвого циклу (TCO/LCC). Технічне обслуговування, ремонт, шини, амортизація та деградація тягової батареї, страхування, вартість капіталу, монтаж і сервіс фотоелектричного та акумуляторного обладнання, а також залишкова вартість техніки залишаються поза межами моделі.

Оцінка сонячного енергозабезпечення базується на середньорічному балансі. Вона не доводить безперервної або цілорічної автономності об'єкта, оскільки не моделює сезонну й добову нерівномірність генерації, графік заряджання транспортних засобів, стан заряду BESS та погодинний профіль навантаження. Для оцінювання фактичної автономності необхідне щонайменше помісячне, а бажано погодинне моделювання.

Комерційні джерела [27, 20, 32, 19] використано виключно для визначення поточних цінових і регіональних параметрів. Методологічні та нормативні положення дослідження мають спиратися на офіційні документи, технічну документацію виробників і рецензовані наукові публікації.

Результати дослідження

За формулами (1)–(2) розраховано дистанцію та вартість практичної підготовки одного курсанта; отримані результати наведено в таблиці 3.

Таблиця 3: Дистанція та вартість практичної підготовки одного курсанта

Показник	ГАЗ-66	BYD T5
Умовна дистанція, км ($h \cdot v$)	464,8	423,3
Витрата ресурсу	130,1 л	107,1 кВт·год
Вартість на курсанта, грн	9 809	1 111

Показник	ГАЗ-66	BYD T5
Економія на курсанта, грн	-	8 698 (×8,8)
На потік 100 курсантів, грн	980 895	111 057
Економія на потік 100 осіб, грн	-	869 838

Джерело: розраховано автором.

За базовими вхідними параметрами модель дає співвідношення витрат на енергоресурси $\approx 8,83$ (формула (3)) на користь BYD T5. Це формулювання є свідомо обережним: норму витрати пального ГАЗ-66 отримано нормативним шляхом, а питоме споживання BYD T5 — за результатами стороннього дорожнього тестування, тому йдеться про результат моделі за прийнятих вхідних даних, а не про доведену в умовах навчального циклу економію. Стійкість цього результату перевірено нижче за допомогою окремого аналізу чутливості. Для типового навчального потоку зі 100 осіб [3] сукупна економія витрат на енергоресурси становить близько 870 тис. грн.

Отриману кратність економії доцільно розкласти на складові, оскільки це дає змогу визначити, який саме чинник робить основний внесок у результат. Співвідношення нормативної тривалості практичної підготовки ($56/51 \approx 1,10$) зумовлює лише незначну частину ефекту; основний внесок визначається співвідношенням питомої вартості енергоресурсу на кілометр пробігу. Для ГАЗ-66 вартість 1 км пробігу становить $0,28 \text{ л} \cdot 75,37 \text{ грн/л} \approx 21,10 \text{ грн/км}$, тоді як для BYD T5 — $0,253 \text{ кВт} \cdot \text{год/км} \times 10,37 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} \approx 2,62 \text{ грн/км}$. Отже, співвідношення питомої вартості одного кілометра пробігу становить $\approx 8,04$. Добуток цього показника (8,04) та співвідношення нормативної тривалості підготовки (1,10) дає підсумкове значення $\approx 8,83$. Такий розклад показує, що результат визначається переважно відмінністю у питомому споживанні відповідних енергоресурсів, помноженому на їхню вартість, а не нормативними особливостями підготовки. Отже, цей висновок не залежить від можливих майбутніх змін нормативної тривалості практичного керування. Порівняння витрат на енергоресурси для практичної підготовки одного курсанта на ГАЗ-66 та BYD T5 наведено на рисунку 1.



Рисунок 1: Витрати на енергоресурси для практичної підготовки одного курсанта на ГАЗ-66 та BYD T5

Джерело: розраховано автором на основі даних розраховано автором на основі даних [2, 8, 7, 10, 11, 16].

Окремим чинником на користь BYD T5 є скорочення нормативного обсягу практичної підготовки на 5 год на одного курсанта (56 проти 51) завдяки автоматичній трансмісії.

Потенціал покриття енергетичної потреби власною генерацією

За формулою (5):

$$E_{\text{ген}} = 29,25 \cdot 1320 \approx 38\,610 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік},$$

а з урахуванням втрат у ланцюзі PV–BESS–EV за формулою (5a):

$$E_{\text{дост}} = 38\,610 \cdot 0,865 \approx 33\,390 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}.$$

Енергетична потреба навчального потоку зі 100 курсантів становить:

$$100 \cdot 107,1 = 10\,710 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}.$$

Отже, за формулою (6):

$$N_k = 33\,390 / 107,1 \approx 312 \text{ курсантів}/\text{рік}$$

за базового сценарію із середньою швидкістю 8,3 км/год.

Слід наголосити, що цей показник, на відміну від співвідношення витрат $\times 8,83$, є сценарно залежним, оскільки енергетична потреба одного курсанта прямо пропорційна прийнятій середній швидкості руху (див. таблицю 7). Тому його не слід тлумачити як технічну характеристику фотоелектричного комплексу.

Водночас пропускна здатність автопарку із шести машин за однозмінного режиму становить приблизно 235 курсантів/рік, що відповідає річній енергетичній потребі:

$$235 \cdot 107,1 \approx 25\,199 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Таким чином, у базовому однозмінному режимі обмежувальним чинником є не сонячний масив, а фонд робочого часу навчальної техніки: запропонована конфігурація масиву забезпечує середньорічну енергетичну потребу автопарку із запасом близько 33 %. За двозмінного режиму пропускна здатність автопарку зростає до 353 курсантів/рік, а обмежувальним чинником стає енергетичний комплекс із потенціалом забезпечення потреб приблизно 312 курсантів/рік. Співвідношення валової річної генерації, доступної після врахування втрат енергії та річної потреби навчального автопарку наведено на рисунку 2.

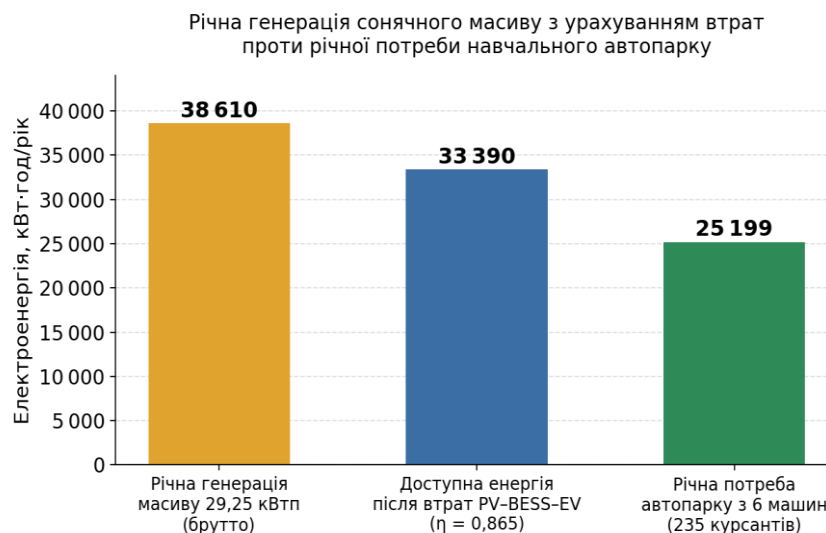


Рисунок 2: Річна генерація сонячного масиву з урахуванням втрат у ланцюзі PV–BESS–EV порівняно з річною енергетичною потребою навчального автопарку

Джерело: розраховано автором на основі даних розраховано автором на основі даних [11, 16, 20, 27, 32].

Акумуляторні системи Bluesun загальною ємністю 200 кВт·год, за наведеним розрахунком, можуть бути повністю заряджені від запропонованого масиву в середньому

приблизно за 1,9 доби генерації. Це дає змогу розглядати їх як буфер для нічного заряджання BYD T5. Можливість їх використання як резервного джерела живлення для інших навантажень потребує окремої перевірки з урахуванням технічних характеристик конкретної конфігурації.

Наведене значення $N_k \approx 312$ курсантів/рік є середньорічним і справедливим лише для базового сценарію із середньою швидкістю 8,3 км/год. За швидкості 15 км/год воно знижується приблизно до 173, а за 25 км/год — до 104 курсантів на рік. Крім того, цей показник не враховує суттєвої сезонної нерівномірності інсоляції, характерної для Одеської області: за узагальненими даними, вироблення електроенергії сонячною станцією влітку перевищує зимове у 3,5–7 разів [32].

Це означає, що навесні та влітку масив здатний генерувати суттєвий надлишок електроенергії порівняно з поточною потребою навчального процесу. Цю енергію можна накопичувати в акумуляторних системах або спрямовувати на інші потреби підрозділу. Водночас узимку частка покриття енергетичної потреби виключно за рахунок сонячної генерації буде помітно нижчою за середньорічну, тому навчальний процес у цей період залишатиметься частково залежним від централізованого електропостачання або резервних джерел живлення.

Кількісне уточнення сезонного профілю є окремим напрямом подальших досліджень і потребує погодинних даних щодо інсоляції для конкретної локації, а не середньорічних узагальнених показників, використаних у цій статті. Звідси випливає принципове термінологічне застереження: річний енергетичний баланс сам по собі не доводить фактичної енергетичної автономності навчального процесу. Для її обґрунтування потрібні щонайменше місячна або погодинна модель генерації, річний профіль навчального навантаження, дані про стан заряду накопичувачів, характеристики зарядного процесу та показники надійності енергопостачання. Тому отриманий показник у цій статті послідовно тлумачиться як потенціал покриття середньорічної енергетичної потреби, а не як доведена енергетична автономність.

Мобільний характер Bluesun BSE50KH3-100 створює потенційну можливість використовувати накопичувачі поза місцем розташування сонячного масиву. Однак оцінювання їх придатності для забезпечення конкретних автономних навантажень, режимів роботи та завдань підрозділу виходить за межі цієї статті й потребує окремого технічного аналізу.

Оцінка строку окупності капітальних витрат

За формулою (4):

$$N = 2\,236\,500 / 8\,698 \approx 257 \text{ курсантів.}$$

Отже, приблизно після трьох навчальних потоків капітальні витрати на придбання BYD T5 покриваються за рахунок економії на енергоресурсах, отриманої лише в межах навчальної функції. За прийнятої пропускну здатності 39 курсантів на одну машину за рік це відповідає приблизно 6,6 року експлуатації в однозмінному режимі або 4,4 року — у двозмінному.

Наведений розрахунок стосується капітальних витрат лише на одну вантажівку. Оскільки стаціонарний енергетичний комплекс (таблиця 2) розраховано для потреб навчального автопарку із шести машин, віднесення всієї його вартості до однієї машини було б методологічно некоректним: економія на енергоресурсах у такому разі формується всім автопарком, тоді як капітальні витрати враховувалися б лише частково. Тому окупність повного комплексу оцінюється для автопарку загалом.

Сукупні капітальні витрати становлять:

$$P_{\text{парк}} = 6 \cdot 2\,236\,500 + 1\,505\,798 = 14\,924\,798 \text{ грн.}$$

За однозмінного режиму роботи автодрому (235 курсантів/рік) річна економія витрат на енергоресурси становить:

235 · 8 698 ≈ 2,05 млн грн,

а строк окупності повного комплексу – приблизно 7,3 року.

За двозмінного режиму фактичну кількість курсантів обмежує вже енергетичний комплекс (312 курсантів/рік), річна економія зростає приблизно до 2,71 млн грн, а строк окупності скорочується приблизно до 5,5 року (таблиця 4).

Напряма сумарного зміщення цих оцінок без повноцінної моделі TCO/LCC визначити неможливо, оскільки невраховані чинники можна поділити щонайменше на дві групи, і вони діють у протилежних напрямках. У бік заниження економічного ефекту діють неврахована різниця у витратах на технічне обслуговування та роботу двигуна на холостому ходу, розглянута вище, а також віднесення всієї вартості енергетичного комплексу на навчальну функцію, тоді як цей комплекс зберігає самостійну цінність як резервне джерело живлення підрозділу в разі перебоїв із централізованим електропостачанням. Цю функцію в межах розрахунку не монетизовано.

У протилежному напрямі діють невраховані деградація тягової батареї, вартість капіталу, страхування, монтаж і сервіс фотоелектричного та акумуляторного обладнання, а також витрати на ремонт електричної вантажівки. Тому модель може як недооцінювати, так і переоцінювати фактичний економічний ефект; твердження про однозначну консервативність оцінки було б необґрунтованим.

Прогнозні припущення щодо динаміки цін на енергоресурси в цій статті також не використовуються, оскільки часові ряди цін, інфляцію та ставку дисконтування не моделювали. Водночас слід наголосити, що отримані строки окупності стосуються лише навчальної функції та є істотно довшими за ті, які можна було б отримати в разі віднесення економії всього автопарку до вартості однієї машини.

Таблиця 4: Окупність повного комплексу (шість вантажівок BYD T5 та стаціонарний енергетичний комплекс) залежно від режиму завантаження автодрому

Показник	Односмінний режим (2 000 год/машину за рік)	Двозмінний режим (3 000 год/машину за рік)
Пропускна здатність автопарку з 6 машин, курсантів/рік	235	353
Енергетичний потенціал масиву з урахуванням ηсист, курсантів/рік	312	312
Фактична кількість курсантів (обмежувальний чинник)	235 (автопарк)	312 (енергетичний комплекс)
Річна економія на витратах на енергоресурси, млн грн	2,05	2,71
Капітальні витрати (6 машин + комплекс), млн грн	14,92	14,92
Строк окупності повного комплексу, років	7,3	5,5

Джерело: розраховано автором.

Залежність сукупних витрат від кількості підготовлених курсантів та точку окупності BYD T5 наведено на рисунку 3.

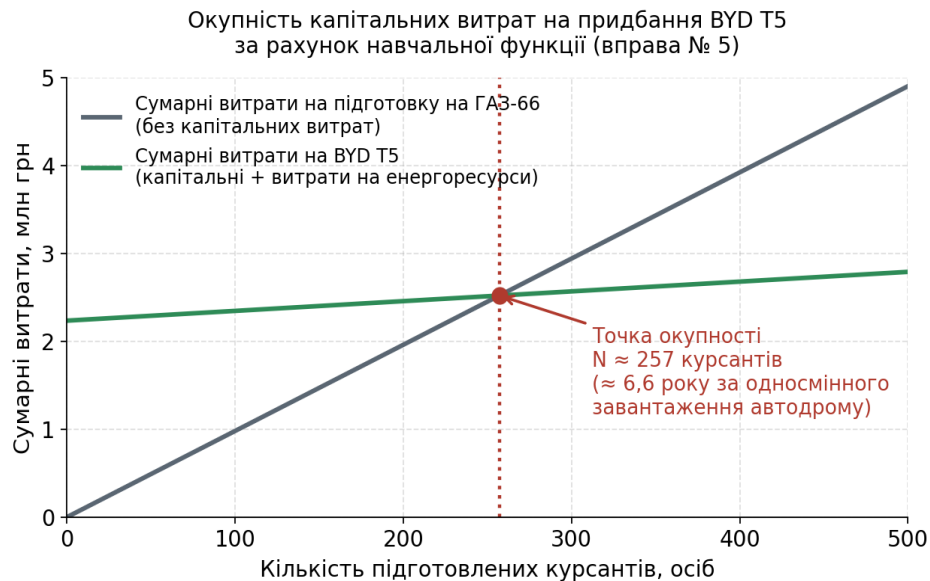


Рисунок 3: Окупність капітальних витрат на придбання BYD T5 залежно від кількості підготовлених курсантів

Джерело: розраховано автором на основі даних [2, 8, 7, 10, 11, 19].

Аналіз чутливості та сценарний аналіз

Чутливість результату до тарифу на електроенергію

Оскільки ціна універсальної послуги переглядається щомісяця, перевірено стійкість висновків у діапазоні тарифів від 8,0 до 13,0 грн/кВт·год (приблизно $\pm 25\text{--}30\%$ від використаного значення). Результати аналізу наведено в таблиці 5.

Таблиця 5: Чутливість результатів до тарифу на електроенергію за фіксованої ціни бензину

Тариф, грн/кВт·год	Вартість підготовки курсанта на BYD T5, грн	Економія, грн	Кратність	Окупність вантажівки BYD T5, курсантів (N за формулою (4))
8,00	857	8 952	×11,4	250
9,00	964	8 845	×10,2	253
10,37 (використано)	1 111	8 698	×8,8	257
11,00	1 178	8 631	×8,3	259
12,00	1 285	8 524	×7,6	262
13,00	1 392	8 417	×7,0	266

Джерело: розраховано автором.

Навіть за умови зростання тарифу на 25 % кратність економії залишається на рівні $\times 7,0$, а строк окупності збільшується лише на 9 курсантів. Отже, якісний висновок статті є стійким до реалістичного діапазону коливань тарифу протягом року.

Останній стовпчик таблиці 5 показує, як змінюється строк окупності капітальних витрат на придбання лише електричної вантажівки BYD T5 (2 236 500 грн), розрахований за формулою (4) як відношення вартості вантажівки до економії на підготовці одного курсанта. Показник наведено саме для вантажівки, без урахування вартості енергетичного комплексу, оскільки він

характеризує чутливість базового сценарію переоснащення навчального автопарку до коливань тарифу.

Наведений аналіз стосується зміни тарифу на електроенергію як одного з ключових цінових параметрів. Для ілюстрації впливу ціни бензину А-92 додатковий сценарій із ціною 90 грн/л дає кратність економії близько $\times 10,5$ за тарифу 10,37 грн/кВт·год і скорочує розрахункову окупність приблизно до 211 курсантів. Цей сценарій не є прогнозом динаміки цін, оскільки часові ряди та інфляцію в моделі не враховано.

Чутливість результату до питомого енергоспоживання BYD T5

Норму витрати пального ГАЗ-66 отримано нормативним шляхом, а питоме споживання BYD T5 — за результатами дорожнього тестування третьою стороною на змішаному маршруті. Ці показники визначено за різних умов і вони не є повністю порівнянними, що становить окреме джерело невизначеності.

Навчальний режим із частими стартами, зупинками та маневруванням може зумовлювати відхилення фактичного енергоспоживання електричної вантажівки як у бік збільшення (низька середня швидкість, робота допоміжних систем, обігрів або кондиціювання кабіни), так і в бік зменшення (рекуперативне гальмування, відсутність тягового енергоспоживання під час зупинок). Тому перевірено стійкість результатів до зміни питомого енергоспоживання в діапазоні 20–40 кВт·год/100 км, що охоплює обидва можливі напрями відхилення. Результати аналізу чутливості наведено в таблиці 6.

Таблиця 6: Чутливість результатів до питомого енергоспоживання BYD T5 за фіксованого тарифу 10,37 грн/кВт·год

Питоме споживання, кВт·год/100 км	Витрата на курсанта, кВт·год	Вартість на курсанта, грн	Економія, грн	Кратність	Окупність вантажівки, курсантів
20,0	84,7	878	8 931	$\times 11,2$	250
25,3 (використано)	107,1	1 111	8 698	$\times 8,8$	257
30,0	127,0	1 317	8 492	$\times 7,5$	263
35,0	148,2	1 536	8 273	$\times 6,4$	270
40,0	169,3	1 756	8 053	$\times 5,6$	278

Джерело: розраховано автором.

Навіть за питомого споживання 40 кВт·год/100 км, тобто на 58 % вищого за прийняте значення, кратність економії залишається на рівні $\times 5,6$, а строк окупності вантажівки збільшується лише на 21 курсанта.

У комбінованому найгіршому сценарії – за питомого споживання 40 кВт·год/100 км одночасно з тарифом 13,00 грн/кВт·год – вартість підготовки одного курсанта на BYD T5 становить 2 201 грн, а кратність економії – $\times 4,5$. Отже, якісний висновок статті зберігається навіть за одночасного несприятливого відхилення обох найменш надійних вхідних параметрів.

Сценарний аналіз за середньою швидкістю руху

Характерну швидкість 8,3 км/год визначено за нормативними параметрами вправи № 5, яка не може автоматично вважатися репрезентативною для всього циклу практичної підготовки, оскільки він охоплює й інші вправи з вищими швидкісними режимами, зокрема рух за маршрутами поза межами автодрому.

Аналітично середня швидкість скорочується у формулі (3), тому кратність економії $\times 8,83$ від неї не залежить. Натомість абсолютна економія на одного курсанта, строк окупності та енергетична потреба одного курсанта прямо пропорційні прийнятій середній швидкості.

Для цих показників виконано сценарний розрахунок у діапазоні від 8,3 до 25 км/год (таблиця 7). Кратність економії в усіх сценаріях залишається незмінною і становить $\times 8,83$, тому в таблиці її не наведено.

Таблиця 7: Сценарний аналіз показників залежно від середньої швидкості руху протягом усього циклу практичної підготовки

Середня швидкість, км/год	Дистанція ГАЗ-66 / BYD T5, км	Вартість ГАЗ-66 / BYD T5, грн	Економія на курсанта, грн	Окупність вантажівки, курсантів	N_k , курсантів на рік
8,3 (вправа № 5)	464,8 / 423,3	9 809 / 1 111	8 698	257	312
12,0	672,0 / 611,9	14 182 / 1 606	12 576	178	216
15,0	840,0 / 764,9	17 727 / 2 007	15 720	142	173
20,0	1 120,0 / 1 019,9	23 636 / 2 676	20 960	107	129
25,0	1 400,0 / 1 274,8	29 545 / 3 345	26 200	85	104

Джерело: розраховано автором.

Сценарний розрахунок показує, що вища фактична середня швидкість протягом усього циклу підготовки одночасно поліпшує економічний показник — строк окупності вантажівки скорочується з 257 до 85–178 курсантів — і погіршує енергетичний показник: потенціал покриття енергетичної потреби зменшується з 312 до 104–216 курсантів на рік.

Ці ефекти діють у протилежних напрямках, тому висновок про економічну доцільність переоснащення навчального автопарку зберігається в усьому розглянутому діапазоні швидкостей і не залежить від того, наскільки вправа № 5 є репрезентативною. Натомість висновок щодо потенціалу власної генерації є чутливим до цього параметра: за середньої швидкості 20 км/год і вище запропонована конфігурація масиву вже не покриває енергетичної потреби автопарку із шести машин.

Уточнення цього показника потребує побудови повного профілю вправ Курсу водіння автомобільної техніки з відповідними нормативними швидкостями та пробігами для кожної вправи. Це є самостійним завданням і визначено нижче як напрям подальших досліджень.

Обговорення

Отримана кратність економії ($\times 8,8$) за порядком величини узгоджується з висновками Danielis et al. [18] та Samet et al. [29] щодо суттєвої переваги електричних вантажівок за операційними витратами, хоча в цій статті використано вужчий, нормативно обґрунтований предмет порівняння — конкретну навчальну вправу, а не узагальнений цикл експлуатації, як у цитованих роботах. Таке звуження є свідомим і дає змогу спиратися на офіційні нормативи — тривалість підготовки, норму витрати пального та тариф, — а не на середньостатистичні профілі використання, які самі Samet et al. [29] визначають як головне джерело невизначеності в оцінках *levelized cost of driving*.

Принципово важливо, що методика, запропонована в цій статті, не прив'язана виключно до BYD T5: заміна параметрів h , q і p у формулі (2) відповідними значеннями для будь-якого іншого електричного вантажного автомобіля категорії C1, що з'явиться на ринку, дає змогу отримати аналогічну оцінку без зміни методологічної рамки. Аналогічно, формули (5)–(6) можуть бути застосовані до сонячних масивів іншої потужності за наявності регіональних даних про питому генерацію — параметра, який в Україні стає дедалі доступнішим завдяки регіональним калькуляторам і реалізованим проектам, подібним до того, на який спирається це дослідження [32]. Таким чином, стаття пропонує не лише одноразовий числовий результат для конкретного зразка техніки, а й відтворювану методику, придатну для порівняльного аналізу будь-якої майбутньої конфігурації “навчальний автопарк — сонячна генерація”. Аналогічну логіку — від нормативних вхідних параметрів до відтворюваного кількісного результату — автор раніше застосовував до завдання просторового планування зарядних хабів для важких електричних вантажівок [4].

Результати оцінювання потенціалу покриття енергетичної потреби власною генерацією

узгоджуються із загальним висновком групи робіт, присвячених військовим мікромережам [26, 25, 13, 23], щодо доцільності розподіленої сонячної генерації для підвищення стійкості об'єктів до перебоїв централізованого електропостачання. Водночас, на відміну від цих робіт, зосереджених на стаціонарних базах США в мирний час або в інших сценаріях, це дослідження поширює логіку енергетичної стійкості на реальні умови війни в Україні та на специфічний, раніше не розглянутий об'єкт – навчальний автопарк. Це узгоджується з висновками Kurbatova et al. [22] і Revin [28] щодо критичної важливості децентралізованої генерації саме в українському контексті.

З погляду практичних висновків результати дають дві рекомендації, які виходять за межі суто розрахункового підсумку. Перша: рішення про переоснащення навчального автопарку варто приймати не лише на основі показника кратності економії ($\times 8,8$), а й з урахуванням строку окупності — 257 курсантів на одну машину або приблизно 7,3 року для повного комплексу із шести машин і стаціонарного енергетичного комплексу за однозмінного завантаження автодрому. Перший показник відображає граничну вигоду, тоді як другий враховує масштаб необхідних капітальних вкладень, що узгоджується із застереженням Samet et al. [29] щодо ризику надмірно оптимістичних висновків на основі граничних показників без урахування капітальних витрат.

Друга рекомендація полягає в тому, що показник $N_k \approx 312$ курсантів/рік за базового сценарію із середньою швидкістю 8,3 км/год, отриманий для потенціалу покриття енергетичної потреби, доцільно розглядати не як самостійне обґрунтування закупівлі сонячного обладнання, а як кількісний аргумент у дискусії про пріоритетність розподіленої генерації для об'єктів Міністерства оборони України. У закордонній літературі [26, 25] така дискусія вже давно ведеться на рівні окремих військових баз, тоді як в українському контексті, попри очевидну актуальність в умовах системних атак на енергетичну інфраструктуру [22], вона поки що не набула порівнянного рівня деталізації щодо окремих навчальних підрозділів.

Порівняно з методологією сайзингу систем PV–EV–BESS, застосованою Osman et al. [24] на реальному об'єкті в Констанці, використаний у цій статті підхід є навмисно спрощеним. Замість оптимізаційної процедури підбору розмірів масиву та накопичувача під конкретний профіль навантаження застосовано пряме зіставлення заданої, уже визначеної технічним завданням, конфігурації обладнання з розрахованою енергетичною потребою. Для остаточного проєктного рішення доцільно застосувати повноцінну процедуру оптимізації розмірів системи за методологією, близькою до тієї, яку використали Osman et al. [24], або до підходів, узагальнених в оглядовій роботі Bhatti et al. [14], де систематизовано наявні способи поєднання фотоелектричної генерації із заряджанням електротранспорту. Це визначає вектор подальшого розвитку дослідження — перехід від перевірного розрахунку заданої конфігурації до оптимізаційної задачі підбору параметрів масиву та накопичувача під фактичний річний профіль навчального навантаження.

Варто згадати й екологічний ефект. За розрахунком, підготовка одного курсанта на ГАЗ-66 потребує 56 год практики $\times 8,3$ км/год $\approx 464,8$ км пробігу, а отже, $464,8$ км $\times 28,0$ л/100 км = 130,1 л бензину А-92. Заміна цих 130,1 л на одного курсанта електроенергією, частково отриманою із сонячної генерації, пропорційно зменшує викиди CO₂ у межах навчального циклу. Точна оцінка потребує окремого підходу з урахуванням вуглецевого сліду батареї та вуглецевої інтенсивності енергосистеми й залишена поза межами цієї статті, зосередженої на економічній і безпековій, а не кліматичній аргументації. Аналогічного розмежування дотримуються Prehoda et al. [26] і Peterson et al. [25].

Підсумовуючи, варто окреслити межі, у яких отриманий результат може бути масштабований. У відкритому доступі відсутні дані про кількість військовослужбовців, які щороку проходять підготовку за категоріями С і С1 у системі ЗСУ загалом, а також про фактичну кількість і завантаження навчальних автодромів. Тому кількісна екстраполяція економії на всю систему

підготовки водіїв у цій статті свідомо не наводиться: будь-яка така оцінка була б не результатом розрахунку, а припущенням і виходила б за межі фактично виконаного дослідження. Обґрунтованим є лише твердження, що за встановленої різниці у витратах на енергоресурси – 8 698 грн на одного курсанта за прийнятих вихідних даних – сукупний ефект зростає лінійно зі збільшенням кількості підготовлених курсантів. Отже, предмет дослідження зберігає бюджетну значущість і поза межами одного навчального підрозділу. Отримання достовірної системної оцінки потребує доступу до відомих статистичних даних і є окремим завданням.

Висновки

У статті виконано кількісне порівняння витрат на енергоресурси для практичної підготовки водіїв категорій С і С1 на електричній вантажівці BYD T5 та автомобілі ГАЗ-66 у межах вправи № 5 Курсу водіння автомобільної техніки, а також оцінено потенціал покриття енергетичної потреби цього процесу за рахунок власної сонячної генерації. Розрахунок, побудований на чинних нормативних документах і базовому непобутовому тарифному сценарії, показав, що за базовими вхідними параметрами модель дає співвідношення витрат на енергоресурси $\times 8,8$ на користь BYD T5, а для типового навчального потоку зі 100 осіб – економію близько 870 тис. грн. Оскільки норму витрати пального ГАЗ-66 і питоме споживання BYD T5 отримано за різних умов вимірювання, коректним є твердження, що в дослідженому діапазоні енергоспоживання (20–40 кВт·год/100 км) якісний висновок про нижчі енергетичні витрати BYD T5 зберігається, а не те, що економію $\times 8,8$ доведено для навчального циклу. Це співвідношення не залежить від прийнятої середньої швидкості руху, оскільки вона аналітично скорочується у формулі (3), і залишається стійким як до реалістичних коливань тарифу на електроенергію ($\times 7,0$ за 13,00 грн/кВт·год), так і до зміни питомого енергоспоживання вантажівки в діапазоні 20–40 кВт·год/100 км ($\times 5,6$ у найменш сприятливому випадку). Водночас абсолютна економія на одного курсанта та строк окупності прямо пропорційні прийнятій середній швидкості, що враховано в окремому сценарному аналізі.

Показано, що стаціонарний сонячний масив потужністю 29,25 кВтп у поєднанні з мобільними акумуляторними джерелами живлення здатний, з урахуванням втрат у ланцюзі PV–BESS–EV ($\eta_{\text{сист}} \approx 0,865$), покрити середньорічну енергетичну потребу для підготовки приблизно 312 курсантів на рік за базового сценарію із середньою швидкістю 8,3 км/год. Це перевищує пропускну здатність навчального автопарку із шести машин за однозмінного режиму (≈ 235 курсантів на рік). Такий результат не доводить енергетичної автономності, оскільки середньорічний баланс не враховує сезонної нерівномірності інсоляції. Водночас в умовах війни та системних атак на енергетичну інфраструктуру України навіть часткова незалежність навчального процесу від централізованої мережі має самостійну цінність, що виходить за межі суто економічного розрахунку. Орієнтовний строк окупності капітальних витрат за рахунок лише навчальної функції становить близько 257 курсантів, або приблизно 6,6 року, для самої вантажівки BYD T5 та приблизно 7,3 року для повного комплексу із шести машин і стаціонарного енергетичного комплексу за однозмінного завантаження автодрому (5,5 року — за двозмінного).

Перспективи подальших досліджень пов'язані з побудовою повного профілю вправ Курсу водіння автомобільної техніки з відповідними нормативними швидкостями та пробігами замість екстраполяції параметрів вправи № 5; переходом від оцінювання витрат на енергоресурси до повноцінної моделі сукупної вартості володіння (TCO/LCC) з урахуванням технічного обслуговування, деградації батареї та вартості капіталу; кількісним оцінюванням логістичної й енергетичної функцій BYD T5 як мобільного джерела живлення підрозділу; а також уточненням щонайменше місячного профілю генерації сонячного масиву протягом року та відповідного профілю навчального навантаження.

Подяки

Автор висловлює подяку доценту кафедри фундаментальних наук Військової академії (м. Одеса), кандидату фізико-математичних наук В. В. Завальнюку за обговорення результатів дослідження та консультації щодо його виконання.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

Використання штучного інтелекту

Інструменти штучного інтелекту використовувалися для пошуку та попереднього опрацювання наукових джерел, перевірки розрахунків і мовного редагування тексту. Автор несе повну відповідальність за зміст рукопису.

Список використаних джерел

1. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (дата звернення: 15.07.2026).
2. Курс водіння автомобільної техніки. БП 7-00(01).01 / Головне управління підготовки Збройних Сил України. Центр оперативних стандартів і методики підготовки Збройних Сил України, 2019.
3. Горошко О. О., Завальнюк В. В. Аналіз перспектив переходу до вантажівок із електричним приводом у навчанні водінню військовослужбовців ЗС України. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2025. № 86. С. 34–43. DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2025/86-04> (дата звернення: 15.07.2026).
4. Горошко О. О., Завальнюк В. В. Просторове планування мережі зарядних хабів для важких електричних вантажівок та перспективи її використання в логістиці Збройних Сил України. Social Development and Security. 2026. Т. 16, № 3. С. 341–364. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.3.22> (дата звернення: 15.07.2026).
5. Про затвердження Типової навчальної програми підготовки та перепідготовки водіїв транспортних засобів : постанова Кабінету Міністрів України від 02.03.2010 № 229. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/229-2010-n> (дата звернення: 15.07.2026).
6. Про внесення змін до постанов Кабінету Міністрів України з питань теоретичної та практичної підготовки, перепідготовки і підвищення кваліфікації водіїв транспортних засобів : постанова Кабінету Міністрів України від 10.05.2022 № 601. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/601-2022-n> (дата звернення: 15.07.2026).
7. Вартість бензину А-92 на АЗС України. Мінфін. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/a92/> (дата звернення: 15.07.2026).
8. Про затвердження норм витрати пального, масел, мастил і спеціальних рідин при експлуатації, ремонті та консервації військової техніки й озброєння Збройних Сил України : наказ Міністра оборони України від 06.01.1999 № 1.
9. Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії : постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, від 14.03.2018 № 312. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18> (дата звернення: 15.07.2026).
10. Одеська обласна енергопостачальна компанія. Ціни на універсальні послуги на серпень 2026 року. 10.07.2026. URL: <https://oook.od.ua/uk/news/390/> (дата звернення: 15.07.2026).

11. Реальні дорожні випробування BYD T5EV. 360che.com. 2025. URL: <https://www.360che.com/tech/250109/194497.html> (дата звернення: 15.07.2026).
12. Ukraine chokes fuel to Crimea, Russian consumers, targeting military supply. Al Jazeera. 2026. 10 July. URL: <https://www.aljazeera.com/news/2026/7/10/ukraine-chokes-fuel-to-crimea-russian-consumers-targeting-military-supply> (дата звернення: 15.07.2026).
13. Anuat E., Van Bossuyt D. L., Pollman A. Energy resilience impact of supply chain network disruption to military microgrids. Infrastructures. 2022. Vol. 7, No. 1. Art. 4. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures7010004> (дата звернення: 15.07.2026).
14. Bhatti A. R., Salam Z., Aziz M. J. B. A., Yee K. P., Ashique R. H. Electric vehicles charging using photovoltaic: Status and technological review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 54. P. 34–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.091> (дата звернення: 15.07.2026).
15. Burke A. F., Zhao J., Fulton L. M., Miller M. Projections of the costs of medium- and heavy-duty battery-electric and fuel cell vehicles (2020–2040) and related economic issues. Energy for Sustainable Development. 2023. Vol. 77. Art. 101343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.101343> (дата звернення: 15.07.2026).
16. Light truck T5EV. BYD Commercial Vehicles. URL: <https://cv.byd.com/cn/vehicles/T5EV> (дата звернення: 15.07.2026).
17. Ukraine escalates attacks on tankers near Crimea as Russian fuel shortages bite. CNBC. 2026. 10 July. URL: <https://www.cnbc.com/2026/07/10/ukraine-russia-crimea-fuel-oil.html> (дата звернення: 15.07.2026).
18. Danielis R., Niazi A. M. K., Scorrano M., Masutti M., Awan A. M. The economic feasibility of battery electric trucks: A review of the total cost of ownership estimates. Energies. 2025. Vol. 18, No. 2. Art. 429. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18020429> (дата звернення: 15.07.2026).
19. BYD T5-Van EV 132 kWh Liquid Brake Wealth Edition Van. EVC Energy. 2026. URL: <https://evc-energy.com/uk/elektromobili-legki-vantazhivki-do-10-ton/158-804-gibridnijektrichnij-furgon-byd-t5-van.html> (дата звернення: 15.07.2026).
20. Система накопичення енергії Bluesun Solar BSE50KH3-100.3KWH. Gurkit. 2026. URL: <https://gurkit.ua/ua/> (дата звернення: 15.07.2026).
21. Кільницька О., Яремова М., Афонін О. Енергоменеджмент як напрям соціально-економічної та енергетичної безпеки України. Інфраструктура ринку. 2024. Вип. 78. С. 133–138. URL: <https://doi.org/10.32782/infrastruct78-25> (дата звернення: 15.07.2026).
22. Kurbatova T., Sidortsov R., Trypolska G., Hulak D., Sotnyk I. Maintaining Ukraine's grid reliability under rapid growth of renewable electricity share: Challenges in the pre-war, war-time, and post-war periods. International Journal of Sustainable Energy Planning and Management. 2024. Vol. 40. P. 39–51. DOI: <https://doi.org/10.54337/ijsepm.8112> (дата звернення: 15.07.2026).
23. Mallery J., Van Bossuyt D. L., Pollman A. Defense installation energy resilience for changing operational requirements. Designs. 2022. Vol. 6, No. 2. Art. 28. DOI: <https://doi.org/10.3390/designs6020028> (дата звернення: 15.07.2026).
24. Osman M. G., Lazaroiu G., Hamad S. A., Messaoud H., Mohammed D., Stoica D. Analysis of photovoltaic systems with battery storage, electric vehicle charging, and smart energy management. Sustainability. 2025. Vol. 17, No. 9. Art. 3887. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17093887> (дата звернення: 15.07.2026).
25. Peterson C. J., Van Bossuyt D. L., Giachetti R. E., Oriti G. Analyzing mission impact of military installations microgrid for resilience. Systems. 2021. Vol. 9, No. 3. Art. 69. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems9030069> (дата звернення: 15.07.2026).
26. Prehoda E. W., Schelly C., Pearce J. M. U.S. strategic solar photovoltaic-powered microgrid deployment for enhanced national security. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

2017. Vol. 78. P. 167–175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.094> (дата звернення: 15.07.2026).
27. Сонячна фотоелектрична панель Jinko Solar JKM-585N-72HL4-BDV 585 Вт. Prom.ua. 2026. URL: <https://prom.ua/ua/p2376875923-solnechnaya-fotoelektricheskaya-panel.html> (дата звернення: 15.07.2026).
28. Revin F. Ukraine's energy sector security and sustainable development in light of the war with Russia. *Future Human Image*. 2023. Vol. 19. P. 58–65. DOI: <https://doi.org/10.29202/fhi/19/8> (дата звернення: 15.07.2026).
29. Samet M. J., Liimatainen H., Pihlatie M., van Vliet O. P. R. Levelized cost of driving for medium and heavy-duty battery electric trucks. *Applied Energy*. 2024. Vol. 361. Art. 122976. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122976> (дата звернення: 15.07.2026).
30. Serogina D., Bezdyetko K. The role of renewable energy in the sustainable development of Ukraine's territories. *Economy and Society*. 2024. No. 68. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-87> (дата звернення: 15.07.2026).
31. Simulcik J. D., Villalobos F. E., Bazilian M. D. Electrification of the joint force: Challenges and opportunities for competition in the Pacific and Arctic theaters. *The Electricity Journal*. 2025. Vol. 38, No. 1. Art. 107458. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2025.107458> (дата звернення: 15.07.2026).
32. СЕС у Одеській області: сонячні електростанції, АКБ та резервне живлення. SolarProm. 2026. URL: <https://solarprom.com.ua/solar-odeska.html> (дата звернення: 15.07.2026).
33. Sugihara C., Hardman S., Kurani K. Who decides which trucks to buy? Implications for electrifying freight fleets. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2024. Vol. 126. Art. 104015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.104015> (дата звернення: 15.07.2026).
34. Yu H., Adhikari A., Sun X., Solvang W. D., Gan M., Aydin N. Can electric trucks be a viable green logistics and transportation solution? Modeling a joint logistics-and-charging-infrastructure network design problem. *Green Energy and Intelligent Transportation*. 2026. Vol. 5, No. 1. Art. 100295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geits.2025.100295> (дата звернення: 15.07.2026).

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2017, April 13). *Pro rynek elektrychnoi enerhii: Zakon Ukrainy № 2019-VIII* [On the electricity market: Law of Ukraine No. 2019-VIII]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
2. Holovne upravlinnia pidhotovky Zbroinykh Syl Ukrainy, & Tsentr operatyvnykh standartiv i metodyky pidhotovky Zbroinykh Syl Ukrainy. (2019). *Kurs vodinnia avtomobilnoi tekhniki. BP 7-00(01).01* [Military vehicle driving course. BP 7-00(01).01].
3. Horoshko, O. O., & Zavalniuk, V. V. (2025). Analiz perspektiv perekhodu do vantazhivok iz elektrychnym pryvodom u navchanni vodinniu viiskovosluzhbovtziv ZS Ukrainy [Analysis of prospects for the transition to electric-drive trucks in driving training of the Armed Forces of Ukraine personnel]. *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, 86, 34–43. <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2025/86-04>
4. Horoshko, O. O., & Zavalniuk, V. V. (2026). Prostorove planuvannia merezhi zariadnykh khabiv dlia vazhkykh elektrychnykh vantazhivok ta perspektyvy yii vykorystannia v lohistytsi Zbroinykh Syl Ukrainy [Spatial planning of a charging hub network for heavy electric trucks and prospects for its use in the logistics of the Armed Forces of Ukraine]. *Social Development and Security*, 16(3), 341–364. <https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.3.22>
5. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2010, March 2). *Pro zatverdzhennia Typovoi navchalnoi prohramy pidhotovky ta perepidhotovky vodiiv transportnykh zasobiv: Postanova № 229* [On approval of the standard training program for training and retraining drivers of motor vehicles: Resolution No. 229]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/229-2010-n>

6. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022, May 10). *Pro vnesennia zmin do postanov Kabinetu Ministriv Ukrainy z pytan teoretychnoi ta praktychnoi pidhotovky, perepidhotovky i pidvyshchennia kvalifikatsii vodiiv transportnykh zasobiv: Postanova № 601* [On amendments to resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine concerning theoretical and practical training, retraining, and advanced training of motor vehicle drivers: Resolution No. 601]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/601-2022-n>
7. Minfin. (n.d.). *Vartist benzynu A-92 na AZS Ukrainy* [Price of A-92 gasoline at filling stations in Ukraine]. Retrieved July 15, 2026, from <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/a92/>
8. Ministry of Defence of Ukraine. (1999, January 6). *Pro zatverdzhennia norm vytraty palnogo, masel, mastyl i spetsialnykh ridyn pry ekspluatatsii, remontu ta konservatsii viiskovoi tekhniki y ozbroiennia Zbroinykh Syl Ukrainy: Nakaz № 1* [On approval of fuel, oil, lubricant, and special fluid consumption standards for the operation, repair, and preservation of military equipment and weapons of the Armed Forces of Ukraine: Order No. 1].
9. National Energy and Utilities Regulatory Commission. (2018, March 14). *Pro zatverdzhennia Pravyi rozdribnoho rynku elektrychnoi enerhii: Postanova № 312* [On approval of the rules of the retail electricity market: Resolution No. 312]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18>
10. Odeska oblasna enerhopostachalna kompaniia. (2026, July 10). *Tsiny na universalni posluhy na serpen 2026 roku* [Universal service prices for August 2026]. <https://oook.od.ua/uk/news/390/>
11. 360che.com. (2025). *Realni dorozhni vyprovuvannia BYD T5EV* [Real-world road testing of the BYD T5EV]. Retrieved July 15, 2026, from <https://www.360che.com/tech/250109/194497.html>
12. Al Jazeera. (2026, July 10). *Ukraine chokes fuel to Crimea, Russian consumers, targeting military supply*. <https://www.aljazeera.com/news/2026/7/10/ukraine-chokes-fuel-to-crimea-russian-consumers-targeting-military-supply>
13. Anuat, E., Van Bossuyt, D. L., & Pollman, A. (2022). Energy resilience impact of supply chain network disruption to military microgrids. *Infrastructures*, 7(1), Article 4. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7010004>
14. Bhatti, A. R., Salam, Z., Aziz, M. J. B. A., Yee, K. P., & Ashique, R. H. (2016). Electric vehicles charging using photovoltaic: Status and technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.091>
15. Burke, A. F., Zhao, J., Fulton, L. M., & Miller, M. (2023). Projections of the costs of medium- and heavy-duty battery-electric and fuel cell vehicles (2020–2040) and related economic issues. *Energy for Sustainable Development*, 77, Article 101343. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.101343>
16. BYD Commercial Vehicles. (n.d.). *Light truck T5EV*. Retrieved July 15, 2026, from <https://cv.byd.com/cn/vehicles/T5EV>
17. CNBC. (2026, July 10). *Ukraine escalates attacks on tankers near Crimea as Russian fuel shortages bite*. <https://www.cnbc.com/2026/07/10/ukraine-russia-crimea-fuel-oil.html>
18. Danielis, R., Niazi, A. M. K., Scorrano, M., Masutti, M., & Awan, A. M. (2025). The economic feasibility of battery electric trucks: A review of the total cost of ownership estimates. *Energies*, 18(2), Article 429. <https://doi.org/10.3390/en18020429>
19. EVC Energy. (2026). *BYD T5-Van EV 132 kWh Liquid Brake Wealth Edition Van*. Retrieved July 15, 2026, from <https://evc-energy.com/uk/elektromobili-legki-vantazhivki-do-10-ton/158-804-gibridnijelektrichnij-furgon-byd-t5-van.html>
20. Gurkit. (2026). *Systema nakopychennia enerhii Bluesun Solar BSE50KH3-100.3KWH* [Bluesun Solar BSE50KH3-100.3KWH energy storage system]. Retrieved July 15, 2026, from <https://gurkit.ua/ua/>
21. Kilnitska, O., Yareмова, M., & Afonin, O. (2024). Enerhomenedzhment yak napriam sotsialno-ekonomichnoi ta enerhetychnoi bezpeky Ukrainy [Energy management as a direction of socio-economic and energy security in Ukraine]. *Infrastruktura rynku*, 78, 133–138. <https://doi.org/10.32782/infrastruct78-25>

22. Kurbatova, T., Sidortsov, R., Trypolska, G., Hulak, D., & Sotnyk, I. (2024). Maintaining Ukraine's grid reliability under rapid growth of renewable electricity share: Challenges in the pre-war, war-time, and post-war periods. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 40, 39–51. <https://doi.org/10.54337/ijsepm.8112>
23. Mallery, J., Van Bossuyt, D. L., & Pollman, A. (2022). Defense installation energy resilience for changing operational requirements. *Designs*, 6(2), Article 28. <https://doi.org/10.3390/designs6020028>
24. Osman, M. G., Lazaroiu, G., Hamad, S. A., Messaoud, H., Mohammed, D., & Stoica, D. (2025). Analysis of photovoltaic systems with battery storage, electric vehicle charging, and smart energy management. *Sustainability*, 17(9), Article 3887. <https://doi.org/10.3390/su17093887>
25. Peterson, C. J., Van Bossuyt, D. L., Giachetti, R. E., & Oriti, G. (2021). Analyzing mission impact of military installations microgrid for resilience. *Systems*, 9(3), Article 69. <https://doi.org/10.3390/systems9030069>
26. Prehoda, E. W., Schelly, C., & Pearce, J. M. (2017). U.S. strategic solar photovoltaic-powered microgrid deployment for enhanced national security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.094>
27. Prom.ua. (2026). *Soniachna fotoelektrychna panel Jinko Solar JKM-585N-72HL4-BDV 585 Wt* [Jinko Solar JKM-585N-72HL4-BDV 585 W photovoltaic panel]. Retrieved July 15, 2026, from <https://prom.ua/ua/p2376875923-solnechnaya-fotoelektricheskaya-panel.html>
28. Revin, F. (2023). Ukraine's energy sector security and sustainable development in light of the war with Russia. *Future Human Image*, 19, 58–65. <https://doi.org/10.29202/fhi/19/8>
29. Samet, M. J., Liimatainen, H., Pihlatie, M., & van Vliet, O. P. R. (2024). Levelized cost of driving for medium and heavy-duty battery electric trucks. *Applied Energy*, 361, Article 122976. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122976>
30. Serogina, D., & Bezdyetko, K. (2024). The role of renewable energy in the sustainable development of Ukraine's territories. *Economy and Society*, (68). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-87>
31. Simulcik, J. D., Villalobos, F. E., & Bazilian, M. D. (2025). Electrification of the joint force: Challenges and opportunities for competition in the Pacific and Arctic theaters. *The Electricity Journal*, 38(1), Article 107458. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2025.107458>
32. SolarProm. (2026). *SES u Odeskii oblasti: Soniachni elektrostantsii, AKB ta rezervne zhyvlennia* [Solar power systems in Odesa region: Solar power plants, battery storage, and backup power]. Retrieved July 15, 2026, from <https://solarprom.com.ua/solar-odeska.html>
33. Sugihara, C., Hardman, S., & Kurani, K. (2024). Who decides which trucks to buy? Implications for electrifying freight fleets. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 126, Article 104015. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.104015>
34. Yu, H., Adhikari, A., Sun, X., Solvang, W. D., Gan, M., & Aydin, N. (2026). Can electric trucks be a viable green logistics and transportation solution? Modeling a joint logistics-and-charging-infrastructure network design problem. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 5(1), Article 100295. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2025.100295>



This is an open access journal and all published articles are licensed under a Creative Commons «Attribution» 4.0.