

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ПЕРЕХОДУ ДО ВАНТАЖІВОК ІЗ ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ У НАВЧАННІ ВОДІННЮ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ЗС УКРАЇНИ

У статті проаналізовано перспективи впровадження електричних вантажівок у навчальний процес підготовки водіїв для військових потреб. Дослідження зосереджене на аналізі сучасного стану електрифікації вантажного автотранспорту, її проблем і найближчих перспектив, а також на розгляді актуальної проблеми підвищення ефективності курсів водіння автомобільної техніки в умовах зростання цін на паливо та необхідності оптимізації навчального процесу, в тому числі з урахуванням широкої номенклатури транспортних засобів, прийнятих на озброєння протягом останніх кількох років у зв'язку з наданням відсічі повномасштабній агресії російської федерації.

У роботі розглядається електричний транспорт як перспективна альтернатива традиційним автомобілям з двигунами внутрішнього згоряння, особливо в контексті навчання водінню, з урахуванням сучасних світових економічних і технологічних трендів, а також політичним процесам у ЄС і НАТО. Включення у 2021 році проблеми глобального потепління і збереження екології до переліку основних загроз безпеці країн-членів НАТО разом із прагненням України до вступу до ЄС і НАТО у найближчій перспективі додатково підсилює доцільність впровадження більш екологічно безпечних транспортних засобів у секторі безпеки й оборони країни.

Серед ключових переваг застосування електричних вантажівок для навчальних цілей виділені значні зниження витрат на паливо й обслуговування; можливість імітації різних режимів руху та характеристик різних видів транспортних засобів; здатність електронної системи керування пом'якшувати помилки недосвідчених водіїв; простота обслуговування та висока економічність в умовах навчального циклу. Цьому в значній мірі сприяє специфіка процесу навчання водінню (часті зупинки, низька середня швидкість, малий добовий пробіг тощо).

Початок поступового впровадження електричного транспорту насамперед у тилових навчальних підрозділах вже сьогодні виглядає цілком доцільним і може стати важливим кроком до більш широкої електрифікації автомобільного транспорту в секторі безпеки та оборони України.

Ключові слова: водіння, підготовка водіїв, вантажний транспорт, електричний привід, drive-by-wire.

Вступ та постановка задачі. Випускники вищих військових навчальних закладів (ВВНЗ) та військовослужбовці певних спеціальностей обов'язково повинні пройти курс водіння автомобільної техніки, мати посвідчення водія категорії С (у деяких випадках додатково і категорії В) та вміти керувати вантажним і легковим автомобільним транспортом.

Автошкола ВВНЗ (чи іншої відповідної установи МОУ) забезпечує викладання як теоретичної, так і практичної складової, підводячи курсанта до задачі іспиту в сервісному центрі МВС.

У ході навчання кожен курсант має практично наїздити до 60 годин [1]. Водночас на одну годину водіння вантажного автомобіля витрачається від 15 до 20 літрів пального (залежно від особливостей вправ, що відпрацьовуються, та моделі автомобіля). Отже, загальні витрати пального на навчання одного військовослужбовця можуть сягати 1000 літрів, а на сто чоловік (типовий обсяг навчального потоку) – від 100'000 літрів (біля 80 т).

У зв'язку з повномасштабним вторгненням російської федерації на територію незалежної України виникли проблеми як із вартістю і доступністю необхідної кількості пального, так і з широкою номенклатурою істотно відмінних (з точки зору процесу водіння) транспортних засобів, що стоять на озброєнні ЗС України, яка ще й неперервно зростає.

Одним зі шляхів вирішення цих проблем є впровадження у навчальний процес автомобільної техніки з електричним приводом (значно економічнішим за двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) в умовах занять з водіння та незалежним від поставок і вартості пального) та спеціально розробленою системою управління drive-by-wire [2-4], здатною як імітувати роботу двигунів і трансмісій різних типів, так і виправляти певні помилки тих, хто навчається, зменшуючи ризик пошкодження техніки та спрощуючи навчання складним прийомам водіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ціни на пальне. Розглянемо динаміку зростання цін на пальне за останні 6 років, зумовлену як загальноекономічними факторами, так і наслідками вторгнення російської федерації на територію України.

Бензин А-95 [5]. У 2019 році середня ціна цього бензину становила 28,6 грн за літр. У першому півріччі 2020 року вона впала до 21,8 грн/л (внаслідок зниження попиту через пандемію covid 2019), проте до кінця року зупинилась на позначці 24,9 грн за літр. Протягом 2021 року ціна зросла до 30,4 грн/л, незважаючи на продовження пандемії, і зберігалася приблизно на тому ж рівні у перші чотири місяці 2022 року.

Проте вже з травня 2022 року ціна А-95 підскочила до 42,5 грн/л, а наприкінці першого року повномасштабної війни сягнула 51 грн/л. Протягом першої половини 2023 року вартість бензину трохи знизилася, досягнувши мінімуму в червні (44,7 грн/л), але до кінця року вона знову зросла 52-55 грн/л. У 2024 після невеликого і нетривалого спаду на початку року ціна бензину піднялася до 54 грн/л у квітні, а переважну частину другої половини року трималася вище 56 грн/л, демонструючи практично дворазове зростання, порівняно з 2019 роком.

Дизельне пальне [6]. Загалом динаміка цін дизельного пального збігається із динамікою цін бензину А-95, а головна відмінність полягає у відсутності вираженого тренду до зростання, починаючи з другої половини 2022 року. Так, у 2019 році ціна дизельного пального становила біля 28 грн/л, а протягом 2020 року, як і ціна бензину, вона впала до 24 грн/л, та почала відновлюватися у 2021 році, сягнувши 30 грн/л наприкінці року. Із початком повномасштабного вторгнення рф ціна дизельного пального почала стрімко зростати (37 грн/л на початку квітня, 46 грн/л у травні та 56 грн/л у червні та липні). З тих пір, за винятком тимчасового зниження у першій половині 2023 року (із мінімумом біля 44-46 грн/л у липні), ціна дизельного пального знаходиться у діапазоні 52-55 грн/л. Отже, за п'ять років вона також зросла майже вдвічі.

Скраплений газ [7]. Ціна скрапленого газу протягом 2019 – 2020 років була порівняно стабільною і трималась у діапазоні 11,8-12,7 грн/л. Однак вже протягом 2021 року вона поступово зросла до 19 грн/л, а з початком повномасштабного вторгнення рф стрімко підскочила до 37-40 грн/л у першій половині літа. У другій половині року ціна знизилась і стабілізувалася на рівні 27-29 грн/л, а у 2023 році знову дещо впала у першій половині року і традиційно зросла наприкінці осені, сягнувши 33 грн/л у грудні. Протягом першої половини 2024 року ціна газу коливалася в діапазоні 26-29 грн/л, однак восени почала доволі стрімко зростати, сягнувши 37 грн/л наприкінці січня 2025 року. Отже, на тлі дворазового зростання цін на бензин і дизельне пальне, скраплений газ за п'ять років подорожчав найбільше – фактично втричі.

Зростання акцизного податку на пальне. З 01 вересня 2024 вступив в силу закон №3878-IX “Про внесення змін до Податкового кодексу України щодо імплементації положень актів права ЄС щодо акцизного податку”, який передбачає поетапне (з 01.09.2024 р. по 31.12.2027 р.) підвищення акцизного податку на пальне до мінімального рівня, встановленого в Європейському Союзі [8].

Внаслідок перших двох підвищень (01.09.2024 р. та 01.01.2025 р.) величина акцизу (за 1000 літрів) зросла наступним чином:

- бензин – з €213,5 до €271,7 (+27,3%);
- дизельне пальне – зі €139,5 до €215,7 (+54,6%);
- скраплений газ (пропан-бутан) – з €52 до €173 (+326,7%).

Зауважимо, що наведені тут відсотки є зростанням саме акцизу, а не фактичної ціни продажу пального, відсоткове зростання якої саме через підвищення акцизів є значно меншим (перерахунок у гривні із розрахунку €1 = 43 грн):

- бензин – €0,0582 на 1 л (+2,5 грн/л);
- дизельне пальне – €0,0762 на 1 л (+3,3 грн/л);
- скраплений газ (пропан-бутан) – €0,121 на 1 л (+5,2 грн/л).

Після фінального етапу підвищення акцизів 01.01.2028 року величина ставки (і її загальне зростання) та результуюче підвищення ціни 1 л пального становитимуть (за умови незмінного курсу гривні по відношенню до євро):

- бензин – €359 за 1000 л (+68,1%); +6,3 грн/л;
- дизельне пальне – €330 за 1000 л (+136,6%); +8,2 грн/л;
- скраплений газ (пропан-бутан) – €250 за 1000 л (+380,8%); +8,5 грн/л.

Тобто очікуване зростання вартості, наприклад, дизельного пального за 2025-2027 роки становитиме біля 5 грн/л лише внаслідок подальшого підвищення ставки акцизів (за умови стабільного курсу гривні!), що становить біля 10% від ринкової вартості дизельного пального станом на січень 2025 року.

Альтернативи органічному пальному. Із наведеного огляду динаміки зростання цін автомобільного пального та графіку підвищення акцизного податку на нього свідчать про те, що ймовірність істотного зниження цін пального у майбутньому є вкрай малою. Отже, постає логічне питання пошуку економічно доцільних альтернатив органічному пальному та автомобілям з ДВЗ як для курсу водіння автомобільної техніки, так і для забезпечення принаймні частини логістики Збройних Сил України.

Іншим важливим стимулом пошуку альтернатив органічному пальному є великий загальний вплив збройних сил держави на клімат [9]. В останні десятиріччя це питання активно вивчається як мінімум країнами НАТО та ЄС, які розглядають зміну клімату не лише як одну із найбільших майбутніх загроз безпеці континенту, але як і потенційний рушій різноманітних дестабілізуючих процесів [10]. З оглядом на стратегічне партнерство України з НАТО і ЄС, а також на наміри вступу до обох організацій, питання розгляду можливостей ефективного і доцільного впровадження “зелених” технологій у ЗС України постає у зовсім іншому світлі.

Важливою особливістю експлуатації транспортних засобів на заняттях курсу водіння автомобільної техніки є рух із низькою (у середньому) швидкістю та великою кількістю зупинок, схожий на гіпертрофований варіант руху у міському циклі (особливо такі вправи, як паркування, маневрування, розвороти, рух заднім ходом, проїзд перехрест'я і залізничних переїздів, подолання перешкод, рух по бездоріжжю та в особливо складних умовах, буксирування тощо) [1]. Навіть при відпрацюванні руху в колонах на шосе швидкість руху зазвичай становить до 25-30 км/год, а під час виконання багатьох стандартних вправ вона становить біля 10 км/год. Наслідком такої специфіки режиму руху є значне зростання розходу пального автомобілями із традиційними двигунами внутрішнього згорання відносно до фактично подоланої автомобілем дистанції.

Проблеми підвищення розходу пального у міському циклі руху була однією з основних причин появи гібридних автомобілів, здатних рекуперувати частину енергії при гальмуванні завдяки рекуперувальній гальмівній системі [11, 12]. Однак істотним недоліком гібридних автомобілів є дублювання систем і ускладнення будови трансмісії для забезпечення їх оптимальної взаємодії.

Проте досягнення останніх двох десятиріч у розробці акумуляторних батарей дозволили створення повністю електричного автобусного та вантажного автомобільного транспорту, використання якого є економічно доцільним як у міському циклі руху, так і для міжміських перевезень (за умови наявності відповідної інфраструктури). Більш того, електрифікація як логістичного транспорту, так і деяких зразків бойової техніки сьогодні активно розглядається на рівні НАТО як один зі шляхів зменшення витрат та внеску

збройних сил у протидію зміні клімату [13,14]. Прикладами таких програм є оснащення гібридною системою існуючих чотириколісних бронетранспортерів (Велика Британія), електрифікація небойового логістичного транспорту (Словацька Республіка), електрифікація логістичного транспорту портової інфраструктури (Туреччина) [13].

Питання розроблення малих автомобілів (баггі) підвищеної прохідності із гібридним приводом для військового застосування розглядалося й у вітчизняному військово-промисловому комплексі [15].

Серед додаткових переваг електрифікації транспортних засобів експерти International Military Council on Climate and Security відзначають [14]:

- зменшення залежності від імпорту паливно-мастильних матеріалів, цін на світовому ринку та складні ланцюги поставок (що яскраво проявилось в перший рік вторгнення РФ в Україну);
- зростання динамічних характеристик (завдяки особливостям роботи електричного приводу);
- підвищення скритності техніки внаслідок зменшення її шумності та нагрівання;
- зменшення потреби в обслуговуванні механічних підсистем, а також їх загальне спрощення;
- просте інтегрування систем автономного чи дистанційного управління та контролю за транспортними засобами;
- зменшення шкоди навколишньому середовищу в ході бойових дій завдяки зменшенню обсягів витікання паливно-мастильних матеріалів з пошкодженої техніки.

Звісно, електрифікація автомобільного транспорту тягне за собою й значну кількість добре відомих проблем, таких як обмежений запас ходу та довгий час зарядки (порівняно зі звичайними авто), велика маса й об'єм акумуляторів, недостатня інфраструктура зарядних станцій, значно вища початкова вартість транспортних засобів порівняно із дизельними аналогами, висока вартість заміни й утилізації акумуляторних батарей тощо.

Однак саме для тих задач, що постають в ході курсу водіння автомобільної техніки, практично всі зазначені недоліки електричного автотранспорту виявляються нерелевантними (внаслідок порівняно малого середньодобового пробігу, перебуванню переважну частину часу в межах автодрому та відсутності необхідності перевезення значних вантажів).

Метою цієї роботи є аналіз доцільності та перспектив переходу до вантажних автомобілів із електричним приводом у курсі водіння автомобільної техніки для курсантів і військовослужбовців.

Виклад основного матеріалу. Перші електричні вантажівки з'явилися ще на початку ХХ століття, коли електропривод, значно простіший за двигуни внутрішнього згорання, нерідко вважався більш оптимальним (звісно, внаслідок малого запасу ходу, лише у широкому спектрі задач міської логістики). І вже тоді електричний прилад найсильніше зарекомендував себе у колі задач, пов'язаних із необхідністю частих зупинок, протягом яких ДВЗ марно витрачає паливо на холостому ході (яскравим прикладом є вивіз сміття й автомобіль Electricar DV4, що експлуатувався у м. Бірмінгем, Англія, з 1938 по 1971 рік [17]). Зауважимо, що у ті часи можливості рекуперації енергії автомобіля на гальмуванні зазвичай були доволі обмеженими або взагалі відсутніми, а поява сучасних масових brake-by-wire систем у середині 90-х років надала електричному приводу на автотранспорті додаткової переваги над ДВЗ, особливо у міському циклі руху та ще більш специфічних застосуваннях, до яких відносяться і курси водіння.

В останній час електрифікація вантажного транспорту йде високими темпами, особливо у США, Європі та Китаї. Виробники пропонують електричні вантажівки всіх типів, починаючи з найбільш легкої категорії і закінчуючи важкими трейлерами і кар'єрними самоскидами. Це стало можливим у тому числі й завдяки низці ключових інновацій, що зробили електричні вантажівки життєздатною альтернативою традиційним дизельним

автомобілям. Основними серед них є удосконалення акумуляторних технологій і розвиток інфраструктури швидкісної зарядки.

Акумуляторні батареї. Щільність енергії в акумуляторних батареях протягом останнього десятиліття зростала приблизно на 5-7% щорічно. Її значення у сучасних літій-іонних батареях сягає понад 300 Вт·год/кг порівняно з приблизно 100-150 Вт·год/кг десять років тому. І певний потенціал для подальшого покращення даного типу акумуляторних батарей все ще зберігається [16]. Такі компанії, як BYD, CATL і Tesla неперервно вдосконалюють спеціалізовані акумулятори батареї для важкого автотранспорту, які забезпечують поступове збільшення запасу ходу та максимально можливої швидкості заряджання. Альтернативний варіант у формі літій-залізо-фосфатних батарей має гірші показники з точки зору енергетичної щільності (біля 200 Вт·год/кг), проте є значно безпечнішим і здатним видавати більшу потужність на 1 кг маси. Вартість обох типів батарей вже знаходиться на рівні \$80 за 1 кВт·год (що є приблизно у три з половиною рази меншим, ніж 10 років тому).

Наслідком вказаного прогресу у технологіях батарей, їх стрімкого здешевлення, а також поступового розвитку мережі потужних зарядних станцій є те, що сьогодні практично всі великі автовиробники мають власні лінійки електричних вантажівок. Деякі крупні логістичні компанії, як Amazon, навіть планують повністю перейти на електричний транспорт протягом наступних 10-15 років.

Технічні характеристики. Однією з найбільш важливих характеристик електричних автомобілів, коли мова йде про їх практичне застосування, є середня витрата енергії на 1 км подоланої відстані, яка зазвичай вимірюється у кВт·год/км і є прямим аналогом витрати палива у літрах на 100 км. Дослідженню залежності цього показника від умов руху та категорії вантажівки було присвячено багато наукових робіт, загальні результати яких можна підбити наступним чином: споживання сучасних автотрейлерів потрапляє у діапазон від 0.8 до 1.9 кВт·год/км, де максимальні значення відповідають 40-тонним трейлерам, що рухаються швидкісними хайвеями, а мінімальні значення – міському циклу руху вантажівок масою 10-15 т [18]. Зрозуміло, що споживання вантажівок легкої і середньої категорій є ще меншим, наприклад, Mitsubishi eCanter із завантаженою масою 7.5 т споживає біля 0.7 кВт·год/км [19].

Враховуючи, що значна частина загального споживання енергії йде на додання опору повітря при русі по трасі на максимальній дозволений швидкості (незалежно від маси автомобіля) і на надання автомобілю кінетичної енергії при розгонах (пропорційно його масі), а також на систему кондиціонування кабіни тощо, то у контексті курсів водіння на автомобілях з масою біля 5 т можна впевнено очікувати середнього споживання енергії, меншого за 0.5 кВт·год/км, навіть за умови більш частих зупинок, ніж у типовому міському циклі руху (у т.ч. завдяки системі рекуперації енергії).

Що стосується повної енергетичної ємності батареї, то її значення, що перевищують 500 кВт·год (для трейлерів 8-го класу) більше не виглядають фантастичними, як ще 2-3 роки тому, а Scania вже пропонує серійні зразки із батареями у 728 кВт·год. Але такі місткі батареї дійсно потрібні лише для найбільш вантажопідйомних автотрейлерів, що працюють виключно на дуже довгих маршрутах. А для міських чи регіональних перевезень вантажівками із загальною масою до 10 т зазвичай цілком вистачає батарей ємністю до 150 кВт·год.

Зарядна інфраструктура. Однією з основних проблем переходу логістики на електричний вантажний транспорт є необхідність попереднього створення розвиненої мережі потужних зарядних станцій. І у розрізі України це питання є найбільш проблемним.

Якщо для заряджання легкових автомобілів і фургонів цілком достатньо малопотужних станцій, кількість яких із кожним роком стає все більшою як у містах, так і поза їхніми межами (наприклад, на важливій сьогодні логістичній артерії Одеса-Рені, довжиною біля 300 км, вже налічується як мінімум 9 електрозаправок за межами великих міст (Одеси та Ізмаїла).

Але для швидкого заряджання електричних вантажівок потрібні дуже потужні станції як мінімум від 300 кВт і вище, які в Україні й досі практично відсутні. Однак такі великі потужності не є принципово обов'язковими, хоча й бажані. Альтернативною є станції середньої потужності, прикладом яких можна навести мережу YASNO E-mobility енергетичної компанії Yasno, яка налічує тільки поза межами Києва 26 електрозаправок з конекторами потужністю від 50 до 180 кВт [21], по три з яких розташовані на стратегічно важливих трасах Київ-Львів, Київ-Одеса і Київ-Харків (протяжністю менше 500 км кожна). Тобто одна лише мережа цієї компанії здатна забезпечити порівняно швидке заряджання певної кількості далекобійних вантажівок на основних транспортних магістралях країни.

Вартість експлуатації. Коли мова йде про професійне застосування автомобільного транспорту, стає важливою не його початкова ціна, а загальна вартість експлуатації протягом всього терміну експлуатації.

На сьогодні існує чимало міфів про вартість експлуатації електричних автомобілів, значне число яких прийшло зі сфери легкових цивільних електричних авто перших поколінь. Більшість з цих міфів стосується вартості та строку придатності акумуляторної батареї, які на початку епохи електрифікації дійсно залишали бажати кращого. Окрім того традиційні літій-іонні акумулятори були і залишаються порівняно небезпечними стосовно самозаймання у видку дефектів чи пошкоджень.

Однак за більше ніж десятиріччя неперервного вдосконалення більшість із цих проблем була у значній мірі вирішена чи, принаймні, істотно зменшена.

Наприклад вартість заміни батареї впала пропорційно вартості літій-іонних елементів, тобто приблизно у три рази, у той час як середня тривалість її експлуатації дещо зросла. У випадку ж, коли мова йде саме про вантажний автотранспорт, старі батареї (які все ще можуть мати від 50 до 70% від своєї початкової ємності) відмінно підходять для організації потужних стаціонарних джерел резервного живлення, тобто їх кінцева вартість є далекою від нульової.

Ситуація із пожежонебезпечністю залишається складною у випадку застосування легких літій-іонних батарей, однак більш сучасні літій-залізо-фосфатні батареї, головним недоліком яких залишається лише дещо більша маса при тій самій ємності, практично позбавлені цієї проблеми, а також у значній мірі є екологічно безпечнішими. Отже ризик втрати чи пошкодження транспортного засобу внаслідок займання стає не більшим, ніж у випадку типових дизельних автомобілів.

Окрім того, неперервне зростання загального числа електричних вантажівок у сфері професійної логістики в останні роки відкрило можливість для серйозних досліджень фактичних витрат на обслуговування цього виду транспорту, а також визначення загальної вартості їхньої експлуатації протягом всього її терміну.

Наприклад, встановлено, що загальна вартість експлуатації типових електричних вантажівок 8-го класу із запасом ходу до 160 км вже є меншою, ніж у найкращих дизельних аналогів. А у випадку вантажівок з запасом ходу біля 400 км вартість експлуатації вже зрівнялася із дизельними [22]. Загалом, використання електричних вантажівок у міському циклі руху та схожих із ним за профілем моделях вже є економічно виграшним, особливо у легкій та середній категоріях [23].

Більш того, вартість експлуатації нового електричного вантажного автомобіля Volvo FH Electric з дальністю пробігу до 300 км (лідера лінійки електромобілів Volvo) протягом середнього терміну експлуатації (1.5 млн. км пробігу) оцінюється приблизно у півтора рази нижчою, ніж у аналогічних автомобілів того ж виробника із дизельними двигунами [24].

Варто додати, що всі наведені дослідження проводилися з урахуванням цін на електроенергію на рівні країн ЄС, який є значно вищим за ціну електроенергії в Україні.

У всіх зазначених випадках головними факторами економії є витрати на паливо, а також на обслуговування двигуна (відсутні заміни мастила, поточні та капітальні ремонти

тощо), гальм (значно менший знос внаслідок гальмування у тому числі й електричними двигунами) тощо.

Застосування у навчальній сфері. Повертаючись до питання впровадження електричного вантажного транспорту саме у сфері курсів водіння автомобільної техніки варто відзначити, що більшість із зазначених вище недоліків електромобілів не відіграють у ній практично ніякого значення.

А саме, враховуючи малий добовий пробіг і порівняно малу масу вантажівки, а також її типове використання без вантажу, відпадає необхідність у застосуванні високовартісних батарей великої ємності або порівняно небезбечних літій-іонних батарей (які лише дещо зменшують втрату вантажопідйомності порівняно із літій-залізо-фосфатними батареями).

Також повністю відпадає потреба у розгалуженій мережі зарядної інфраструктури, бо після виконання всіх навчальних вправ автомобілі щоденно повертаються в парк, де можуть заряджатися протягом ночі (тобто у більшості випадків довше 12 годин). Це, разом із порівняно малою для вантажного транспорту ємністю батареї, нівелює й проблему забезпечення високої потужності зарядних станцій. На доданок, можливість заряджання протягом нічного періоду дозволяє додатково заощаджувати, завдяки значно меншій ринковій вартості електрики у нічний період.

Падіння ємності батарей протягом експлуатації також становить значно меншу проблему, ніж у логістичних застосуваннях, внаслідок малого щоденного пробігу, який зменшує знос самої батареї та ставить менші вимоги до її залишкової ємності, дозволяючи проводити її заміну на значно більш пізніх етапах деградації.

Одночасно електричний привід надає ряд додаткових переваг. По-перше, навчання водінню пов'язане з великою кількістю зупинок при працюючому двигуні, а також русі на низькій швидкості. З одного боку це дещо зменшує вигреш, який надає система рекуперації енергії, але істотно збільшує економічність порівняно с автомобілями з ДВЗ.

Більш того, *drive-by-wire* – комп'ютеризована система керування електричними автомобілями – відкриває неймовірні можливості з підвищення гнучкості навчання. А саме, імітації різних видів автомобілів і двигунів, а також різних режимів і умов їхньої експлуатації, що є неможливим при застосуванні традиційних авто.

Електричний двигун здатний розвивати великий крутний момент навіть на малих обертах, що є неможливим для ДВЗ. І вже сама по собі ця здатність є дуже корисною у багатьох практичних ситуаціях. Однак у контексті навчання вона дозволяє електричному двигуну імітувати роботу двигунів внутрішнього згоряння (але не навпаки) різних видів і характеристик. Наприклад, для ознайомлення з поведінкою певних типів транспорту чи моделей автомобілів. Ретельно розроблена програмна система може частково імітувати динаміку завантаженого автомобіля навіть за відсутності вантажу.

І останньою (не за важливістю, а лише за переліком) її перевагою є здатність “пробачати” помилки водія у ситуаціях, здатних призвести до пошкодження двигуна чи трансмісії звичайного автомобіля, які часто трапляються саме із недосвідченими водіями-початківцями.

Висновки. Підсумовуючи, можемо виділити наступне: з одного боку, ринок електричних вантажівок йде фактично тим самим шляхом, що і ринок легкових, тобто він поступово розвивається разом із здешевшенням самих автомобілів і розвитком зарядної інфраструктури. На сьогодні вже немає жодних сумнівів, що за декілька років електричні вантажівки стануть не менш важливою складовою цивільної логістики, ніж сьогодні є автомобілі з ДВЗ.

Однак, попри всі наведені переваги і достатній вибір сучасних закордонних і вітчизняних електричних вантажівок на ринку України, очікувати на широке впровадження електричного транспорту у ЗС України протягом найближчих років навряд варто.

Серед основних причин цього є недоцільність застосування існуючих зразків у прифронтових регіонах, їх занадто високу залежність від належного функціонування

стаціонарних електромереж і системи електроенергетики країни у цілому, які наразі знаходяться у доволі важкому стані внаслідок повномасштабної агресії російської федерації.

Однак ці та інші проблеми і характерні недоліки електричного автотранспорту не виглядають істотними перешкодами для його поступового впровадження у тилкових підрозділах, до яких відносяться різноманітні навчальні центри та заклади військової освіти. Навпаки, саме електрифікація транспорту у цій сфері (враховуючи всі пов'язані з цим переваги, перелічені вище) може стати тим першим поштовхом, який у майбутньому призведе до широкого впровадження електричних транспортних засобів у різні сфери сектору безпеки та оборони України, де воно принципово є доцільним, в тому числі й завдяки збільшенню обізнаності особового складу як логістичних, так і ремонтних служб із відповідним типом техніки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Курс водіння автомобільної техніки. БП 7-00(01).01. Головне управління підготовки Збройних Сил України спільно з Центром оперативних стандартів і методики підготовки Збройних Сил України, 2019, 125 с.

2. Pruckner, A., Stroph, R., Pfeiffer, P. Drive-By-Wire. In: Eskandarian, A. (eds) Handbook of Intelligent Vehicles. Springer, London, 2012, 1599 p. URL: https://doi.org/10.1007/978-0-85729-085-4_11.

3. Katupitiya, J. Drive-by-Wire Technologies. In: Zhang, Q. (eds) Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies. Springer, Cham, 2023. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7_138-2.

3. Pillai, A.V., Manojkumar, B. Overview of drive by wire technologies in automobiles. *AIP Conf. Proc.* 2022. 2452 (1): 030001. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0113232>.

4. Вартість бензину А-95 на АЗС України. Міністерство фінансів України. Електронний ресурс. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/a95/>.

5. Вартість дизельного палива на АЗС України. Міністерство фінансів України. Електронний ресурс. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/dt/>.

6. Вартість автогазу на АЗС України. Міністерство фінансів України. Електронний ресурс. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/lpg/>.

7. Закон України "Про внесення змін до Податкового кодексу України щодо імплементації положень актів права Європейського Союзу щодо акцизного податку". Електронний ресурс. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3878-20#Text>.

8. Pata, U.K., Destek, M.A., Manga, M., Cengiz, O. Militarization of NATO countries sparks climate change? Investigating the moderating role of technological progress and financial development. *Journal of Cleaner Production.* 2023. № 409 (10). P. 137241. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137241>

9. NATO, NATO Climate Change and Security Action Plan. 2021. URL: https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_185174.htm.

10. Hannan, M.A., Azidin, F.A., Mohamed, A. Hybrid electric vehicles and their challenges: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2014. № 29. P. 135–150. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.097>.

11. Vasiljević, S, Aleksandrović, B, Glišović, J, and Maslač, M. Regenerative braking on electric vehicles: working principles and benefits of application. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2022. № 1271. P. 012025 URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1271/1/012025>.

12. NATO Climate Change and Security Action Plan. Compendium of Best Practice. 2023. 178 с. URL: https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/7/pdf/230710-climate-change-best-practices.pdf.

13. Conger, J., Havstrup, E., Jasper, L. et al. World Climate and Security Report: Military Innovation and the Climate Challenge 2024, International Military Council on Climate and Security, Council on Strategic Risks. 2024. 152 pp. URL: <https://councilonstrategicrisks.org/wp-content/uploads/2024/07/WCSR-2023-24.pdf>.

14. Крайник Л.В., Кіхтан А.В., Кохан В.Ф., Волошук М.Я. Концептуальні основи формування гібридного привода автомобіля високої прохідності. *Військово-технічний збірник.* 2022. Вип. 27. С. 10-18. URL: [10.33577/2312-4458.27.2022.10-18](https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.10-18)

15. Niu, H., Zhang, N., Lu, Y. et al. Strategies toward the development of high-energy-density lithium batteries. *Journal of Energy Storage.* 2024. № 88. P. 111666. URL: <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111666>

16. De Boer, R. F. *Birmingham's Electric Dustcarts*. Birmingham & Midland Motor Omnibus Trust, 1990.
17. Shoman, W., Yeh, S., Sprei, F., Plötz, P., Speth, D. Battery electric long-haul trucks in Europe: Public charging, energy, and power requirements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2023. V. 121. № 103825. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103825>
18. Liimatainen, H., van Vliet, O., Aplyn, D. The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis. *Applied Energy*. 2019. № 236. P. 804-814. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.017>
19. Mohammed J and Villegas J. Total impact of electric vehicle fleet adoption in the logistics industry. *Front. Sustain.* 2023. № 4. P. 1158993. URL: [10.3389/frsus.2023.1158993](https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1158993)
20. Електронний ресурс. URL: <https://yasno.com.ua/charge-stations>
21. Bhardwaj S, Mostofi H. Technical and Business Aspects of Battery Electric Trucks – A Systematic Review. *Future Transportation*. 2022. № 2(2). P. 382-401. URL: <https://doi.org/10.3390/futuretransp2020021>
22. Samet, M.J., Liimatainen, H., Pihlatie, M., Patrick, O., van Vliet, R. Levelized cost of driving for medium and heavy-duty battery electric trucks. *Applied Energy*. 2024. № 361. P. 122976. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123287>
23. Chojnowski J, Dziubak T. Multi-Criteria Analysis of Semi-Trucks with Conventional and Eco-Drives on the EU Market. *Energies*. 2024. № 17(5). P. 1018. URL: <https://doi.org/10.3390/en17051018>

REFERENCES:

1. “Kurs vodinnia avtomobilnoi tekhniki” [Automotive driving course], BP 7-00(01).01. Holovne upravlinnia pidhotovky Zbroinykh Syl Ukrainy spilno z Tsentrom operatyvnykh standartiv i metodyky pidhotovky Zbroinykh Syl Ukrainy, 125 p.
2. Pruckner, A., Stroph, R. and Pfeffer, P. (2012), “Drive-By-Wire”, in: Eskandarian, A. (eds) *Handbook of Intelligent Vehicles*, Springer, London. URL: https://doi.org/10.1007/978-0-85729-085-4_11.
3. Katupitiya, J. (2023), “Drive-by-Wire Technologies”, in: Zhang, Q. (eds) *Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies*, Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7_138-2.
4. Pillai, A.V. and Manojkumar, B. (2022), “Overview of drive by wire technologies in automobiles”, *AIP Conf. Proc.*, 2452 (1), p. 030001. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0113232>.
5. Costs of A-95 gasoline at Ukrainian gas stations. Ministry of Finance of Ukraine. Electronic resource. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/a95/>.
6. Costs of diesel fuel at gas stations in Ukraine. Ministry of Finance of Ukraine. Electronic resource. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/dt/>.
7. Costs of autogas at gas stations in Ukraine. Ministry of Finance of Ukraine. Electronic resource. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/lpg/>.
8. Law of Ukraine "On Amendments to the Tax Code of Ukraine Regarding the Implementation of the Provisions of the European Union Law on Excise Tax". Electronic resource. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3878-20#Text>.
9. Pata, U.K., Destek, M.A., Manga, M. and Cengiz, O. (2023), “Militarization of NATO countries sparks climate change? Investigating the moderating role of technological progress and financial development”, *Journal of Cleaner Production*, № 409 (10), p. 137241. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137241>
10. NATO (2021), “NATO Climate Change and Security Action Plan”. Electronic resource. URL: https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_185174.htm.
11. Hannan, M.A., Azidin, F.A. and Mohamed, A. (2014), “Hybrid electric vehicles and their challenges: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, № 29, pp. 135–150. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.097>.
12. Vasiljević, S., Aleksandrović, B., Glišović, J. and Maslač, M. (2022), “Regenerative braking on electric vehicles: working principles and benefits of application”, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, № 1271, p. 012025. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1271/1/012025>.
13. NATO (2023), “NATO Climate Change and Security Action Plan. Compendium of Best Practice”, 178 p. URL: https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/7/pdf/230710-climate-change-best-practices.pdf.
14. Conger, J., Havstrup, E. and Jasper, L. et al. (2024), “World Climate and Security Report: Military Innovation and the Climate Challenge 2024”, International Military Council on Climate and Security,

Council on Strategic Risks, 152 p.

URL: <https://councilonstrategicrisks.org/wp-content/uploads/2024/07/WCSR-2023-24.pdf>.

15.Kraynyk L., Kikhtan A., Kokhan V. and Voloshchuk M. (2022), “Konceptualjni osnovy formuvannja ghibrydnogho pryvoda avtomobilja vysokoji prokhidnosti” [Conceptual bases for forming a hybrid drive of a high traffic vehicle], *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk*, № 27, pp. 10-18.

URL: [10.33577/2312-4458.27.2022.10-18](https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.10-18)

16.Niu, H., Zhang, N. and Lu, Y. et al (2024), “Strategies toward the development of high-energy-density lithium batteries”, *Journal of Energy Storage*, № 88, p. 111666.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111666>

17.De Boer, R.F. “*Birmingham's Electric Dustcarts*”. Birmingham & Midland Motor Omnibus Trust, 1990.

18.Shoman, W., Yeh, S., Sprei, F., Plötz, P. and Speth, D. (2023), “Battery electric long-haul trucks in Europe: Public charging, energy, and power requirements”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 121, p. 103825. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103825>

19.Liimatainen, H., van Vliet, O. and Aplyn, D. (2019), “The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis”, *Applied Energy*, № 236, pp. 804-814.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.017>

20.Mohammed J. and Villegas J. (2023), “Total impact of electric vehicle fleet adoption in the logistics industry”, *Front. Sustain*, № 4, p.1158993. URL: [10.3389/frsus.2023.1158993](https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1158993)

21.Electronic resource. URL: <https://yasno.com.ua/charge-stations>

22.Bhardwaj S. and Mostofi H. (2022), “Technical and Business Aspects of Battery Electric Trucks – A Systematic Review”, *Future Transportation*, № 2(2), pp. 382-401.

URL: <https://doi.org/10.3390/futuretransp2020021>

23.Samet, M.J., Liimatainen, H., Pihlatie, M., Patrick, O. and van Vliet, R. (2024), “Levelized cost of driving for medium and heavy-duty battery electric trucks”, *Applied Energy*, № 361, p. 122976.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123287>

24.Chojnowski J. and Dziubak T. (2024), “Multi-Criteria Analysis of Semi-Trucks with Conventional and Eco-Drives on the EU Market”, *Energies*, № 17(5), p. 1018. URL: <https://doi.org/10.3390/en17051018>

Horoshko O.O, PhD. Zavalniuk V.V.

PROSPECTS FOR IMPLEMENTING ELECTRIC TRUCKS IN DRIVER TRAINING FOR MILITARY NEEDS

This article analyzes the prospects for integrating electric trucks into the driver training process for military applications. The study focuses on assessing the current state of freight transport electrification, its challenges, and near-term prospects. Additionally, it examines the pressing issue of enhancing the efficiency of vehicle operation training courses in the context of rising fuel costs and the need to optimize the training process. This optimization must account for the broad range of vehicles adopted over the past few years in response to the full-scale aggression of the Russian Federation.

The study considers electric transport as a promising alternative to conventional internal combustion engine (ICE) vehicles, particularly in driver training, given global economic and technological trends as well as political developments within the EU and NATO. The inclusion of global warming and environmental preservation in NATO's list of key security threats in 2021, coupled with Ukraine's aspirations for EU and NATO membership in the near future, further reinforces the rationale for adopting more environmentally sustainable transport solutions in the country's security and defense sector.

Among the key advantages of using electric trucks for training purposes, the study highlights the significant reduction in fuel and maintenance costs, the ability to simulate various driving modes and vehicle characteristics, and the capacity of electronic control systems to mitigate errors made by inexperienced drivers. Additionally, electric trucks offer ease of maintenance and high cost efficiency within the training cycle. These benefits are particularly relevant given the specifics of driver training, which typically involve frequent stops, low average speeds, and short daily mileage.

The gradual introduction of electric transport, initially in rear-echelon training units, already appears to be a viable step. This move could serve as an important milestone toward the broader electrification of automotive transport within Ukraine's security and defense sector.

Keywords: driving, driver training, electric trucks, electric drive, drive-by-wire.