

## Напрямки розвитку конструкцій маловантажних електромобілів в аспекті ресурсозбереження

Войтків С. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Науково-технічний центр «Автополіпром»

***Анотація.** У статті проведений аналіз тенденцій розвитку конструкцій та основних технічних параметрів маловантажних електромобілів категорій L та N1, запропонована їх класифікація за ознаками функціонального призначення та вантажопідйомності. Розглянуті перспективні напрямки створення таких максимально-уніфікованих транспортних засобів, зокрема, на основі застосування принципів модульного проектування технічних об'єктів виробництва. Наведені рекомендації з вибору оптимальних величин експлуатаційних параметрів проєктованих конкурентоспроможних маловантажних електромобілів у залежності від сфери застосування.*

***Ключові слова:** маловантажний електромобіль; електромобілі категорії L та N1; питома потужність; модульне проектування; класифікація маловантажних електромобілів; оптимізовані параметри електромобілів.*

### Вступ

Маловантажні електромобілі уже широко застосовуються у багатьох сферах суспільного життя, зокрема, для перевезення різних вантажів масою до 1000 кг, для доставляння продуктів харчування та поштових відправлень за індивідуальними замовленнями. Окрім того, такі транспортні засоби використовуються для виконання багатьох технологічних операцій, наприклад, для прибирання територій та вивозу сміття з пішохідних зон центральних частинах міст тощо.

На протязі кількох останніх років спостерігаються відповідні спроби впровадження таких колісних транспортних засобів (КТЗ) у різні сфери життєдіяльності нашої держави, навіть за умови ведення війни. Так, на нещодавній виставці "Com Auto Trans", що проходила у м. Києві з 30 травня по 01 червня 2023 року, було презентовано кілька моделей маловантажних електромобілів. Зокрема, група компаній "БЕЕМ Металавтопром" показала перший дослідний зразок такого КТЗ моделі EN31 "Карпати" [1], спроектованого за участю автора, який являється першим маловантажним електромобілем, виготовленим в Ук-

раїні (а не зібраним у Китаї). Його конструкція успішно витримала приймальні та сертифікаційні випробування. Наразі ведуться підконтрольні експлуатаційні випробування електромобіля, роботи по вдосконаленню конструкції і технічної підготовки його дрібносерійного виробництва на заводі "Стрий-Авто" (Львівська обл.).

### Аналіз публікацій

Дослідженням, пов'язаним з доцільністю проектування, організації дрібносерійного виробництва, придбання та експлуатації маловантажних електромобілів, присвячена велика кількість робіт зарубіжних та вітчизняних науковців. Особливо стосовно електромобілів, які здійснюють розвезення продуктів харчування, медикаментів та інших товарів до кінцевих споживачів за індивідуальними замовленнями. У іноземних англомовних виданнях їх називають "*electric vehicles performing last-mile delivery*" (LMD) – електромобілі, що здійснюють доставку на останню милю.

За тематикою сукупність проведених досліджень у сфері маловантажних електромобі-

білів можна об'єднати у п'ять груп, які присвячені розгляду питань екологічності та/ або економічності їх експлуатації, огляду автономних джерел електричної енергії (ДЕЕ), зокрема, тягових акумуляторних батарей (АКБ), аналізу пропонуваніх концепцій створення перспективних конструкцій та розвитку і застосуванню автономних моделей таких КТЗ.

Тенденції зростаючого впровадження маловантажних електромобілів у сферу розвезення вантажів до торгівельних точок та індивідуальних замовників проаналізовані у роботі [2]. У ній зазначено, що найбільші світові компанії у сфері електронної комерційної діяльності та поштові оператори планують у найближчі 10-15 років повністю перейти на застосування КТЗ з електричним приводом. Наприклад, гігант електронної комерції американська компанія "Amazon.com Inc." одна із перших підписала "Climate Pledge" – зобов'язання повністю перейти на експлуатацію екологічно чистих КТЗ до 2040 року. Вона замовила 100 000 електричних фургонів доставки вантажів у американський виробника електромобілів "Rivian LLC", а також 1800 електричних фургонів "Mercedes-Benz" для свого європейського парку КТЗ. Ще одна американська транснаціональна логістична компанія "FedEx Corporation" теж планує електрифікувати весь свій парк КТЗ для доставляння вантажів замовникам до 2040 року. Крім того, компанія планує інвестувати 2 мільярди доларів США в створення та організацію виробництва вантажних електромобілів. Американська компанія UPS, що спеціалізується на експрес-доставці вантажів, інвестує в британського виробника електромобілів проекту "Arrival" і замовила 10 000 електромобілів для поповнення свого автопарку в Північній Америці та Європі.

Аналіз собівартості транспортного процесу по доставлянню вантажів замовникам на основі використання різних КТЗ наведений у роботах [3, 4]. Проведені дослідження свідчать, що експлуатація маловантажних електромобілів принаймні на 30 % дешевша за автомобілі, обладнані традиційними двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ). Окрім переваг зниження експлуатаційних витрат і загальної вартості володіння такими КТЗ, перехід до їх широкого застосування необхідний з умови швидкого зменшення запасів сировини для виробництва різних видів палива та негатив-

ного впливу транспортних засобів з ДВЗ на навколишнє середовище. Хоча однією з необхідних умов для цього являється створення інфраструктури зарядних станцій.

Техніко-економічний аналіз використання маловантажних електричних транспортних засобів у сфері доставляння продуктів харчування на основі оцінки викидів парникових газів (ПГ) у навколишнє середовище та економічних витрат наведений у дослідженні [5]. У ньому порівнюється економічна доцільність використання вантажних електромобілів у порівнянні з автомобілями, обладнаними ДВЗ, для транспортування агропродовольчої продукції та вплив на викиди ПГ. Результати, засновані на емпіричних даних, показують, що впровадження комерційного електромобіля не є економічно вигідним рішенням у короткостроковій перспективі, головним чином через початкову вартість їх придбання. Окрім того, з точки зору викидів ПГ, на коротких відстанях вантажні електромобілі мають більший вплив, ніж автомобілі з ДВЗ.

У дослідженні [6] зазначено, що навіть за високих початкових інвестицій в у сферу маловантажних електромобілів завдяки закупівельній ціні, яка майже вдвічі вища порівняно з КТЗ, обладнаними ДВЗ, нижчі експлуатаційні витрати роблять їх все ж конкурентоспроможним варіантом, особливо з огляду на екологічні аспекти, адже застосування електромобілів призводить до зменшення викидів парникових газів на 17 % (у випадку денного пробігу 20 км) та до 54 % (у випадку пробігу 120 км/день).

Доцільність застосування маловантажних електромобілів LMD для доставляння товарів у сільській місцевості на основі аналізу витрат електроенергії досліджується у роботі [7]. У ній показано, що ефективність їх використання залежить від характеристики конкретної місцевості, зокрема, відстані доставляння товарів, щільності споживачів тощо.

У ряді проведених досліджень у сфері маловантажних електромобілів пропонуються нові концепції їх проектування. Зокрема, у роботі [8] розглянуті питання, пов'язані з розрахунками необхідного енергетичного забезпечення, вибором типу тягових електродвигунів (ЕД) та тягових АКБ маловантажних електромобілів групи LMD. У тягових приводах таких КТЗ найчастіше застосовуються безщіткові тягові ЕД постійного або змінного струму та свинцево-кислотні або літій-іонні

тягові АКБ. Свого роду стандартними параметрами електромобілів LMD, на думку авторів, являються: напруга живлення ЕД – 48,0 В; максимальна швидкість руху – 40 км/год.; автономний пробіг – до 100 км.

Концептуальний проект модульного маловантажного електромобіля [9] ґрунтується на основі застосування базового мобільного шасі та кузовів різного функціонального призначення (рис. 1).



Рис. 1. Система модульної уніфікації маловантажних електромобілів

Проект спрямований на розробку транспортного засобу, що характеризується новим дизайном, у якому основним завданням являлось досягнення найнижчого співвідношення між спорядженою масою та вантажопідйомністю. Іншими важливими досліджуваними аспектами були визначення конкретних його сфер використання, діапазону автономного пробігу, тривалості та вартості заряджання різних типів тягових АКБ.

Цікава концепція КТЗ для доставляння вантажів замовникам запропонована у роботі [10]. Вона передбачає застосування системи з двох вантажних КТЗ, один з яких великої вантажопідйомності може бути обладнаний навіть двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ). Другий КТЗ – невеликий вантажний розкладний електромобіль групи LMD розміщений у кузові великого вантажного авто- або електромобіля. Щоразу, коли це необхідно, його вивантажують, розкладають і використовують для доставляння вантажу на вузьких вулицях, у пішохідних зонах або у випадку заторів. Така система гарантує гнучку та своєчасну доставку вантажів, оскільки проектування маловантажного електромобіля повинно враховувати регламентовані вимоги для руху по смугах, виділених для руху велосипедистів, та у пішохідних зонах населених пунктів. Конструкція такого триколісного електромобіля повинна мати запас ходу 40-60 км і електричний привід номінальною потуж-

ністю  $2 \times 0,25$  кВт, що забезпечує максимальну швидкість руху до 40 км/год. Тягові АКБ електромобіля, який відноситься до категорії L2e-U можуть заряджатися від генератора великого вантажного автомобіля.

Проект маловантажного електромобіля подвійного призначення – для міських перевезень товарів до кінцевих споживачів з кузовом-фургоном та для виконання різних технологічних операцій у приміських та сільських місцевостях – наведений у [11]. На основі аналізу технічних параметрів електромобілів-аналогів у роботі рекомендовані їх граничні показники для перспективних моделей: довжина не більше 5,0 м, корисне навантаження не менше 600 кг, навантажувальна площа не менше  $5 \text{ м}^2$ , ємність літій-іонних тягових АКБ 28,8-31,6 кВт·год., величина автономного пробігу за циклом тестування WLTP не менше 150 км. Окрім того, з метою покращення характеристик пропонованого маловантажного електро-мобіля порівняно з більшістю КТЗ аналогового призначення, встановлені додаткові умови: відношення потужності тягового ЕД до повної конструктивної маси понад 0,05 кВт/кг; співвідношення вантажо-підйомності до повної маси – не менше 0,4. Концепція пропонованого проекту теж базується на основі застосування модульної системи із базового мобільного шасі та кузовів різного функціонального призначення.

Проблеми, пов'язані зі створенням за використанням автономних маловантажних електромобілів LMD, розглядаються у дослідженнях [12-14]. Зокрема, у роботі [12] зазначено, що за статистичними даними на доставку товарів від складу до кінцевих споживачів припадає 53 % загальних витрат на їх транспортування від виробників. Одним з можливих напрямків зменшення цих витрат – використання автономних транспортних засобів доставки товарів (ADV). Очікується, що з 2019 року ринок ADV зростатиме на 11 % на рік та до 200 мільярдів доларів США до 2029 року. Проблеми, пов'язані із впровадженням інтелектуальних технологій у сферу доставляння товарів кінцевим споживачам автономними електромобілями LMD, розглянуті у роботі [13].

Оригінальна концепція створення та застосування автономних електромобілів LMD запропонована у дослідженні [14]. Пропонована система "Ducktrain" у вигляді автомобільного потяга базується на двох

типах КТЗ – триколісному маловантажному LMD, керованому водієм-кур'єром, та кількох чотириколісних маловантажних ADV з електричним тяговим приводом (рис. 2). Суть запропонованої системи – доставляння вантажів на останніх етапах одночасно кільком різним кінцевим споживачам окремими автономними електромобілями з метою зменшення часу їх доставляння, особливо під час заторів.



Рис. 2. Система доставляння товарів кінцевим споживачам "Ducktrain"

Проблемні питання ресурсозбереження у сфері міського електричного транспорту, зокрема, енергозбереження, до якої, безумовно, відносяться і маловантажні електромобілі LMD, розглядаються у багатьох дослідженнях вітчизняних науковців. Зокрема, у роботі [15] йдеться про значне підвищення енергетичної ефективності перспективних моделей електрорухомого складу шляхом застосування енергозберігаючого тягового приводу з рекуперативним гальмуванням.

### Мета та постановка задачі

Мета роботи – визначення напрямків розвитку вітчизняної сфери проектування та дрібносерійного виробництва перспективних конкурентоспроможних моделей маловантажних електромобілів з урахуванням сучасних тенденцій ресурсозбереження та розробка рекомендацій щодо вибору значень їх основних технічних і експлуатаційних параметрів та характерних відносних показників.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз основних технічних параметрів сучасних моделей маловантажних електромобілів;
- класифікувати такі транспортні засоби за основним функціональним призначенням

та іншими характерними класифікаційними ознаками;

- встановити параметри, визначальні в аспекті ресурсо- та енергозбереження;
- проаналізувати можливі напрямки створення маловантажних електромобілів, зокрема, на основі застосування принципів їх модульного проектування;
- розробити і запропонувати найбільш доцільні напрямки формування систем модульного проектування маловантажних електромобілів для освоєння їх виробництва вітчизняними підприємствами.

### Класифікація маловантажних електромобілів за експлуатаційними параметрами

На основі огляду та аналізу публікацій стосовно вантажних КТЗ, які використовуються в логістичних системах доставляння вантажів від підприємств-виробників до кінцевих споживачів, сукупність їх типів можна об'єднати у дві основні групи:

- КТЗ групи FMD (англ. *first mile delivery* – доставка першої милі), які призначені для транспортування товарів від виробників до складів або від великих оптових складів (регіональних) до менших оптово-роздрібних (районних) складів;
- КТЗ групи LMD (англ. *last mile delivery* – доставка останньої милі), основне призначення яких – доставляння товарів або поштових відправлень кінцевим замовникам та споживачам, зокрема, ха замовленнями фізичних осіб.

До групи FMD можна віднести вантажні КТЗ категорії N усіх підкатегорій, тобто, N1 повною масою до 3500 кг, N2, повна маса яких становить понад 3500 кг до 7500 кг, та N3 повною масою понад 7500 кг.

До групи LMD відносяться вантажні мототранспортні засоби категорії L. До цієї групи можна віднести також і КТЗ підкатегорії N1, вантажопідйомність яких становить 500-800 кг.

Маловантажні електромобілі категорії L за регламентованими ознаками [16] поділяються на п'ять підкатегорій (табл. 1).

Хоча, транспортні засоби підкатегорії L1e-A не зовсім коректно відносити до електричних. Вони, радше, відносяться до КТЗ з гібридним тяговим приводом [17], адже обладнані тяговими приводами двох типів – механічним (мускульним або педальним) та електричним (рис. 3).



Таблиця 1 – Класифікація маловантажних електромобілів категорії L за регламентованими ознаками

Категорія електромобіля	L1e-A	L2e-U	L5e-B	L6e-BU	L7e-CU
Кількість коліс, од.	3 або 4	3			4
Споряджена маса без маси АКБ, кг	-	≤ 270	≤ 1000	≤ 425	≤ 600
Номінальна потужність ЕД, кВт	≤ 1,0	-	-	≤ 6,0	≤ 15
Допустима довжина/ ширина, м	≤ 4,0/ ≤ 1,0	≤ 4,0/ ≤ 2,0		≤ 3,0	≤ 3,7
Максимальна швидкість, км/год.	≤ 25	≤ 50	-	≤ 45	≤ 90

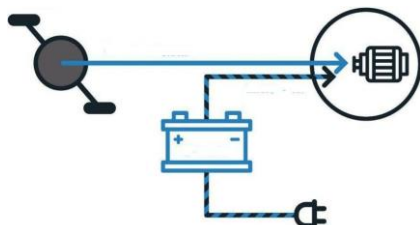


Рис. 3. Схема мускульно-електричного тягового приводу КТЗ підкатегорії L1e-A

Такі транспортні засоби можуть рухатися за допомогою тільки педального приводу, оскільки при досягненні максимальної швидкості руху 25 км/год. електричний тяговий привід вимикається.

Аналіз величин регламентованих параметрів маловантажних електромобілів категорії L показує, що їх експлуатаційні характеристики можуть бути доволі різними навіть для моделей однакових підкатегорій. Адже, їх вантажопідйомність, як і повна конструктивна маса, не регламентовані, хоча, формально, обмежені допустимою спорядженою масою

Таблиця 2 – Основні технічні параметри велоелектромобілів підкатегорії L1e-A

Модель електромобіля	Citkar	Mubea	EAV eCargo	CityQ
Довжина/ ширина, м	3,01/ 1,0	2,77/ 0,995	2,775/ 1,0	2,22/ 0,87
Повна/ споряджена маса, кг	415/ 200	500/ 300	420/ 170	350/ 100
Вантажопідйомність, кг	150	135	185	
Параметри тягового приводу:				
- номінальна потужність ЕД, кВт	0,25			
- тип тягових АКБ	літій-іонні			
- ємність тягових АКБ, кВт·год.	1,6	1,24	-	
- напруга тягових АКБ, В	-	48	48	-
Автономний пробіг, км	50-60	50	65	70-100

Велоелектромобілі підкатегорії L1e-A обладнані одномісними відкритими кабінами водія. Їх максимальна швидкість руху сягає регламентованої максимальної величини 25 км/год. Діапазон повної конструктивної маси 350-500 кг, корисна вантажопідйомність становить 135-185 кг а величина автономного пробігу – 40-100 км.

Вантажні електромобілі-трицикли підкатегорії L2e-U обладнуються відкритими або

без урахування маси тягових АКБ, від яких залежить величина автономного пробігу.

Отже, до додаткових визначальних ознак поділу маловантажних електромобілів на групи з адекватними або близькими експлуатаційними параметрами відносяться:

- вантажопідйомність;
- повна конструктивна маса;
- величина автономного пробігу.

Це основні експлуатаційні характеристики електромобілів LMD, адже саме від них залежить ефективність їх експлуатації. Звичайно, не маловажне значення належить і ринковій вартості таких КТЗ з адекватними величинами цих параметрів.

Для визначення діапазонів величин вантажопідйомності, автономного пробігу та повної конструктивної маси, характерних для кожної з підкатегорій маловантажних електромобілів категорії L, у табл. 2-6 наведені основні технічні параметри їх сучасних моделей.

закритими (наприклад, модель "Carver R+") одномісними кабінами. Їх характерною особливістю являється широкий діапазон вантажопідйомності – від 50 кг до 250 кг.

Характерною особливістю маловантажних трициклів підкатегорії L5e-B є застосування тягових ЕД доволі малої номінальної потужності – 3,0-9,7 кВт, хоча цей параметр не є регламентованим.

Таблиця 3 – Основні технічні параметри велоелектромобілів підкатегорії L2e-U

Модель електромобіля	Carver R+	GECO Truck XC V9	OAK Series	CT-Kargo	CT-Kube
Вмістимість кабіни, чол.	1				
Довжина/ ширина, м	2,89/ 0,98	2,89/ 1,2	2,1/ 0,75	2,92/ 0,98	2,1/ 0,75
Повна/ споряджена маса, кг	500/ 395	676/ 426	380/ 330	685/ 441	380/ 330
Вантажопідйомність	105	250	50	244	50
Параметри тягового приводу:					
- номінальна потужність ЕД, кВт	2x2,0	3,0	2x2,0	3,7	4,0
- тип тягових АКБ	Li-NCM	AGM	LiFePO <sub>4</sub>		
- ємність тягових АКБ, кВт·год.	7,1	4,3	4,86	6,99	4,86
- напруга тягових АКБ, В	-	72,0	51,2	-	51,2
Максимальна швидкість, км/год.	45	45	45	50	50
Автономний пробіг, км	130	50-60	110		120

Таблиця 4 – Основні технічні параметри велоелектромобілів підкатегорії L5e-B

Модель електромобіля	Carver S+	EVIG	Zbee	HeavyTruck XC
Вмістимість кабіни, чол.	1			
Довжина/ ширина, м	2,89/ 1,06	3,14/ 1,4	2,4/ 1,25	2,99/1,09
Повна/ споряджена маса, кг	500/ 395	-	280/	830/ 499
Вантажопідйомність	105	350	-	331
Параметри тягового приводу:				
- номінальна потужність ЕД, кВт	2x3,5	9,7	4,0	3,0
- тип тягових АКБ	Li-NCM	LiFePO <sub>4</sub>		AGM
- ємність тягових АКБ, кВт·год.	7,1	5,0 або 10,0 + 0,57 (сонячні панелі)		-
- напруга тягових АКБ, В	-		51,2	-
Максимальна швидкість, км/год.	80	60	45	
Автономний пробіг, км	120	75 або 150	80	30-80

Таблиця 5 – Основні технічні параметри велоелектромобілів підкатегорії L6e-BU

Модель електромобіля	Antric One	Geco Travel	J2-C	EBU YY-E-Van
Вмістимість кабіни, чол.	1	2	1	2
Довжина/ ширина, м	3,05/ 1,18	2,45/ 1,22	2,89/ 1,18	2,86/ 1,21
Повна/ споряджена маса, кг	615/ 193	905/ -	500/ 300	520/ 270 (300)
Вантажопідйомність, кг	422	275	200	250 (220)
Параметри тягового приводу:				
- номінальна потужність ЕД, кВт	3,0			
- тип тягових АКБ	LiFePO <sub>4</sub>			
- ємність тягових АКБ, кВт·год.	2,8	7,2	6,3	7,2 (10,2)
- напруга тягових АКБ, В	-	72,0	60	
Максимальна швидкість, км/год.	25	45		38-45
Автономний пробіг, км	50	100	80-100	100 (120)

Маловантажні електромобілі підкатегорії L6e-BU при обмеженій номінальній потуж-

ності тягових АКБ вирізняються досить великою вантажопідйомністю – 200-422 кг.

Таблиця 6 – Основні технічні параметри велоелектромобілів підкатегорії L7e-CU

Модель електромобіля	Cargo XC V2	Pacta BOX	Wuling E10	LE17
Вмістимість кабіни, чол.	2		1	
Довжина/ ширина, м	3,15/ 1,297	3,65/ 1,26	3,31/ 1,08	3,474/ 1,08
Повна/ споряджена маса, кг	1064/ 604	1000/ 500	885/ 265	865/ 250
Вантажопідйомність, кг	460	500	620	615
Параметри тягового приводу:				
- номінальна потужність ЕД, кВт	7,5	5,0	-	7,5
- тип тягових АКБ	LiFePO <sub>4</sub>	літій-іонні		
- ємність тягових АКБ, кВт·год.	10,08	12,36	9,0	8,0-10,0
- напруга тягових АКБ, В	72	60	-	
Максимальна швидкість, км/год.	76	52	-	
Автономний пробіг, км	150	100	115	80

Найбільшу вантажопідйомність мають чотириколісні вантажні електромобілі підкатегорії L7e-CU – 460-620 кг, хоча номінальна потужність їх тягових ЕД – всього 5,0-7,5 кВт – не перевищує 50 % від максимально допустимої – 15,0 кВт.

Що стосується автономних пробігів електромобілів LMD, діапазон яких дуже широкий – від 30 до 150 км, зрозуміло, що він залежить, у першу чергу, від енергоємності тягових АКБ. Тому, варто мати на увазі, що великий автономний пробіг або зменшує вантажопідйомність, або збільшує повну конструктивну масу електромобілів, що погіршує економічну ефективність їх експлуатації.

На основі величин основного, відповідно до функціонального призначення електромобілів LMD, експлуатаційного параметра – вантажопідйомності їх сучасних типових моделей підкатегорій L1e-A, L2e-U, L5e-B, L6e-BU та L7e-CU (табл. 2-6) побудована діаграма, наведена на рис. 4.

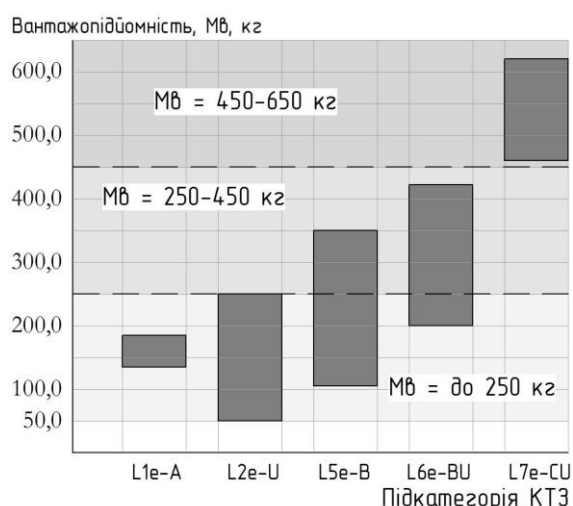


Рис. 4. Діапазони вантажопідйомності маловантажних електромобілів різних підкатегорій категорії L

На основі аналізу цієї діаграми можна виділити три групи електромобілів LMD за вантажопідйомністю:

- група LMD-S (S – англ. *smaller* – менший) – КТЗ вантажопідйомністю до 250 кг підкатегорій L1e-A, L2e-U, L5e-B та L6e-BU;

- група LMD-A (A – англ. *average* – середній) – КТЗ вантажопідйомністю понад 250 до 450 кг підкатегорій L5e-B та L6e-BU;

- група LMD-B (B – англ. *bigger* – більший) – КТЗ вантажопідйомністю понад 450 до 650 кг підкатегорії L7e-CU.

Оскільки електромобілі групи LMD-S підкатегорії L1e-A вирізняються педально-електричним тяговим приводом доречно виділити їх в окрему підгрупу LMD-Sв (в – англ. *bicycle* – велосипед).

Ще одна група маловантажних електромобілів LMD-N об'єднує КТЗ з електричним тяговим приводом підкатегорії N1 вантажопідйомністю до 800 кг.

Пропонована класифікація сприятиме проведенню доволі коректної оцінки технічного рівня проєктованих вантажних електромобілів LMD відповідної групи за вантажопідйомністю.

### Визначальні параметри маловантажних електромобілів в аспекті ресурсозбереження

Ресурсозбереження – це організаційна, економічна, науково-технічна, практична та інформаційна діяльність, яка супроводжує усі стадії життєвого циклу об'єктів виробництва і спрямована на мінімізацію витрат сировини, матеріалів та енергій різних видів на одиницю кінцевого продукту з огляду на існуючий рівень розвитку техніки і технологічних процесів та на забезпечення найменшого впливу на людину і навколишнє середовище [18].

Ресурсозбереження у галузі міського електричного транспорту – надзвичайно актуальний напрямок з огляду на сучасний стан економічного розвитку України. Основними напрямками ресурсозбереження у сфері електричного маловантажного міського транспорту являються скорочення термінів, зменшення обсягів фінансування, матеріалів, електричної та інших видів енергії тощо на проєктування і освоєння виробництва нових, більш досконалих моделей та їх експлуатацію, зокрема, технічне обслуговування та ремонт.

До заходів, які можуть забезпечувати ресурсозбереження на етапі проєктування перспективних конструкцій електромобілів LMD відносяться:

- скорочення термінів та обсягів фінансування на створення перспективних моделей маловантажних електромобілів

- зменшення спорядженої маси при заданих параметрах вантажопідйомності та автономного пробігу;

– застосування принципів модульного проектування на основі максимальної уніфікації їх конструкцій;

– розширення модельного ряду таких КТЗ різного функціонального призначення на основі створення типорозмірних рядів базових шасі.

З огляду на наведені заходи до найбільш впливових параметрів на забезпечення ресурсозбереження відносяться:

– споряджена та повна конструктивна маса;

– номінальна потужність тягових ЕД;

– максимальна швидкість руху КТЗ.

– Для оцінки впливу зазначених технічних параметрів КТЗ на ресурсозбереження, зокрема, витрату конструкційних матеріалів та електроенергії на перевезення вантажів, застосовуються наступні показники:

– коефіцієнт матеріалоемності КТЗ;

– коефіцієнт вантажопідйомності КТЗ;

– коефіцієнт питомої номінальної потужності КТЗ.

Як відомо, коефіцієнт матеріалоемності конструкцій КТЗ характеризує відношення їх спорядженої маси до повної конструктивної маси:

$$k_{me} = \frac{M_{сп}}{M_{п}}, \quad (1)$$

де  $M_{сп}$  та  $M_{п}$  – відповідно, споряджена та повна конструктивна маса КТЗ, кг.

Проте, таке визначення коефіцієнту матеріалоемності стосовно КТЗ, обладнаних електричним тяговим приводом, видається не надто коректним. Адже, їх споряджена маса суттєво залежить від величини автономного пробігу, залежного від енергоемності тягових АКБ і, відповідно, їх

маси. Тому, доречніше, визначати коефіцієнт матеріалоемності за виразом:

$$k_{me}^0 = \frac{M_{сп}^0}{M_{п}} = \frac{M_{сп} - m_{акб}}{M_{п}}, \quad (2)$$

де  $M_{сп}^0$  – споряджена маса електромобіля LMD без маси тягових АКБ, кг;  $m_{акб}$  – маса тягових АКБ, кг.

Маса тягових АКБ за відсутності інформації від виробників, рівна:

$$m_{акб} = \frac{W_{акб}}{\rho_{акб}^w}, \quad (3)$$

де  $W_{акб}$  – енергоемність тягових АКБ, кВт·год.;  $\rho_{акб}^w$  – питома енергоемність тягових АКБ відповідного типу, кВт·год/кг.

Для найбільш застосовуваного типу тягових АКБ – LiFePO<sub>4</sub> –  $\rho_{акб}^w = 0,09-0,10$  кВт·год/кг. Для літій-іонних АКБ типів Li-NCM та LTO  $\rho_{акб}^w = 0,15-0,16$  кВт·год./кг та  $\rho_{акб}^w = 0,07-0,08$  кВт·год/кг, відповідно, а типу AGM –  $\rho_{акб}^w = 0,02-0,04$  кВт·год/кг.

Матеріалоемність конструкцій КТЗ характеризується також і коефіцієнтом вантажопідйомності:

$$k_g = \frac{M_{в}}{M_{п}} = \frac{M_{п} - M_{сп}}{M_{п}}, \quad (4)$$

де  $M_{в}$  – корисна маса або вантажопідйомність КТЗ, кг.

Результати порівняльних розрахунків з визначення коефіцієнтів матеріалоемності електромобілів груп LMD-S, зокрема, LMD-Sb, LMD-A та LMD-B за виразами (1) та (2) наведені у табл. 7-10.

Таблиця 7 – Оцінка матеріалоемності маловантажних електромобілів категорії L групи LMD-Sb

Модель електромобіля	Citkar	Mubea	EAV eCargo	CityQ
Повна/ споряджена маса, кг	415/ 200	500/ 300	420/ 170	350/ 100
Вантажопідйомність, кг	150	135	185	
Маса тягових АКБ, кг	16	23	-	
Споряджена маса без АКБ, кг	184	287	-	
Коефіцієнти матеріалоемності:				
- $k_{me}$	0,48	0,60	0,41	0,29
- $k_{me}^0$	0,44	0,57	-	
Коефіцієнт вантажопідйомності, $k_g$	0,36	0,27	0,44	0,53



Таблиця 8 – Оцінка матеріалоемності маловантажних електромобілів категорії L групи LMD-S

Модель електромобіля	Carver R+	GECO Truck XC V9	OAK Series	CT-Kargo	CT-Kube	Carver S+
Повна/ споряджена маса, кг	500/ 395	676/ 426	380/ 330	685/ 441	380/ 330	500/ 395
Вантажопідйомність, кг	105	250	50	244	50	105
Маса тягових АКБ, кг	48	143	49	70	49	45
Споряджена маса без АКБ, кг	290	283	281	371	281	350
Коефіцієнти матеріалоемності:						
- $k_{м\epsilon}$	0,79	0,63	0,87	0,64	0,87	0,79
- $k_{м\epsilon}^0$	0,58	0,37	0,74	0,54	0,74	0,70
Коефіцієнт вантажопідйомності, $k_g$	0,21	0,37	0,13	0,36	0,13	0,21

Таблиця 9 – Оцінка матеріалоемності маловантажних електромобілів категорії L групи LMD-A

Модель електромобіля	HeavyTruck XC	Antric One	EBU YY-E-Van	
Повна/ споряджена маса, кг	830/ 499	615/ 193	520/ 270	520/ 300
Вантажопідйомність, кг	331	422	250	220
Маса тягових АКБ, кг	100	28	72	102
Споряджена маса без АКБ, кг	399	165	198	
Коефіцієнти матеріалоемності:				
- $k_{м\epsilon}$	0,60	0,31	0,52	0,58
- $k_{м\epsilon}^0$	0,48	0,27	0,38	
Коефіцієнт вантажопідйомності, $k_g$	0,40	0,69	0,48	0,42

Таблиця 10 – Оцінка матеріалоемності маловантажних електромобілів категорії L групи LMD-B

Модель електромобіля	Cargo XC V2	Pacta BOX	Wuling E10	LE17
Повна/ споряджена маса, кг	1064/ 604	1000/ 500	885/ 265	865/ 250
Вантажопідйомність, кг	460	500	620	615
Маса тягових АКБ, кг	75	50	-	75
Споряджена маса без АКБ, кг	529	450	-	175
Коефіцієнти матеріалоемності:				
- $k_{м\epsilon}$	0,57	0,50	0,30	0,29
- $k_{м\epsilon}^0$	0,50	0,45	-	0,20
Коефіцієнт вантажопідйомності, $k_g$	0,43	0,50	0,70	0,71

На основі аналізу діаграми коефіцієнтів матеріалоемності та вантажопідйомності маловантажних електромобілів категорії L, наведеної на рис. 5, для проектування нових перспективних і конкурентоспроможних моделей повинні прийматися наступні їх величини:

– при застосуванні сталевих профільних матеріалів (труб, швелерів, кутників) та листового прокату  $k_{м\epsilon} = 0,4-0,5$ ;  $k_{м\epsilon}^0 = 0,3-0,4$ ;  $k_g = 0,35-0,45$ ;

– за умови застосування профільних матеріалів та листового прокату з алюмінієвих або інших сплавів  $k_{м\epsilon} = 0,3-0,4$ ;  $k_{м\epsilon}^0 = 0,2-0,3$ ;  $k_g = 0,5-0,6$ .

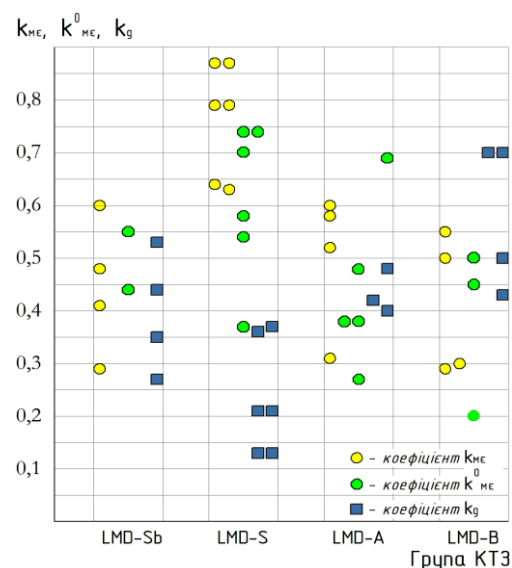


Рис. 5. Коефіцієнти матеріалоемності та вантажопідйомності маловантажних електромобілів різних підкатегорій категорії L

Вагомий вплив на енергозбереження, окрім матеріалоемності маловантажних електромобілів, мають такі параметри як номінальна потужність тягових ЕД та максимальна швидкість руху. Саме від них та від повної конструктивної маси залежить середня витрата електроенергії тягових АКБ при інших однакових умовах руху таких КТЗ.

Аналіз номінальної потужності тягових ЕД типових моделей електромобілів LMD показує, що навіть для моделей підкатегорій L2e-U та L5e-B, для яких цей параметр не регламентований, її величина становить всього 3,0-4,0 кВт у моделей підкатегорії L2e-U та 3,0-9,7 кВт у моделей підкатегорії L5e-B. Зрештою, і у моделей підкатегорії L7e-CU номінальна потужність тягових ЕД сягає лише 50 % максимально дозваної – 7,5 кВт.

Тому, при проектуванні перспективних і конкурентоспроможних електромобілів LMD необхідно орієнтуватися на питомі параметри типових моделей:

- питому потужність;
- коефіцієнт експлуатаційної потужності;
- коефіцієнт ефективної (економічної) потужності.

Як відомо, питома потужність КТЗ характеризує відношення сумарної номінальної потужності тягових ЕД до повної конструктивної маси:

$$\Delta N_e = \frac{\sum N_{ед}^H}{M_{п}}, \quad (5)$$

де  $\sum N_{ед}^H$  – сумарна номінальна потужність тягових ЕД, кВт.

Пропонований коефіцієнт експлуатаційної потужності КТЗ характеризує і його питому потужність і максимальну швидкість руху:

$$k_{екN} = k_p \frac{10^4 \sum N_{ед}^H}{M_{п} \cdot V_{max}}, \quad (6)$$

де  $V_{max}$  – максимальна швидкість руху КТЗ, км/год.;  $k_p$  – розмірний коефіцієнт, кг·км/год/кВт.

Коефіцієнт ефективної (економічної) потужності характеризує відношення потужності ЕД, необхідної для руху із заданою максимальною швидкістю, до номінальної потужності встановлених ЕД:

$$k_{эфN} = \frac{N_{ед}^V}{\sum N_{ед}^H}, \quad (7)$$

де  $N_{ед}^V$  – номінальна потужність тягових ЕД, необхідна для руху із заданою максимальною швидкістю, кВт:

$$N_{ед}^V = \frac{M_{п} (170 + 0,053 V_{max}^2) V_{max}}{3,6 \cdot 10^3 \eta_{пр}}, \quad (8)$$

де  $\eta_{пр}$  – коефіцієнт корисної дії тягового приводу.

Для тягових приводів сучасних моделей маловантажних електромобілів на етапі проведення порівняльних розрахункових досліджень  $\eta_{пр} = 0,9$ .

Розрахункові величини питомої потужності та коефіцієнтів експлуатаційної і економічної потужностей типових моделей маловантажних електромобілів LMD категорії L наведені у табл. 11-14.

Таблиця 11 – Оцінка матеріалоемності маловантажних електромобілів категорії L групи LMD-Sb

Модель електромобіля	Citkar	Mubea	EAV eCargo	CityQ
Повна маса, кг	415	500	420	350
Номінальна потужність тягових ЕД, кВт	0,25			
Максимальна швидкість руху, км/год.	25			
Питома потужність, кВт/кг	0,0006	0,0005	0,0006	0,0007
Коефіцієнт експлуатаційної потужності, $k_{екN}$	0,24	0,2	0,24	0,28
Коефіцієнт економічної потужності, $k_{эфN}$	2,58	3,11	2,61	2,17

Таблиця 12 – Оцінка матеріалоемності маловантажних електромобілів категорії L групи LMD-S

Модель електромобіля	Carver R+	Geco Truck XC V9	OAK Series	CT-Kargo	CT-Kube	Carver S+
Повна, кг	500	676	380	685	380	500
Номинальна потужність тягових ЕД, кВт	2x2,0	3,0	2x2,0	3,7	4,0	2x3,5
Максимальна швидкість руху, км/год.	45			50		80
Питома потужність, кВт/кг	0,008	0,0044	0,0105	0,0054	0,0105	0,014
Коефіцієнт експлуатаційної потужності, $k_{екN}$	1,78	0,98	2,33	1,08	2,1	1,75
Коефіцієнт економічної потужності, $k_{ефN}$	0,31	0,35	0,15	0,86	0,44	0,90

Таблиця 13 – Оцінка матеріалоемності маловантажних електромобілів категорії L групи LMD-A

Модель електромобіля	HeavyTruck XC	Antric One	EBU YY-E-Van
Повна маса, кг	830	615	520
Номинальна потужність тягових ЕД, кВт	3,0		
Максимальна швидкість руху, км/год.	45	25	45
Питома потужність, кВт/кг	0,00036	0,00488	0,00577
Коефіцієнт експлуатаційної потужності, $k_{екN}$	0,80	1,95	1,28
Коефіцієнт економічної потужності, $k_{ефN}$	0,69	0,32	0,44

Таблиця 14 – Оцінка матеріалоемності маловантажних електромобілів категорії L групи LMD-B

Модель електромобіля	Cargo XC V2	Pacta BOX	Wuling E10	LE17
Повна маса, кг	1064	1000	885	865
Номинальна потужність тягових ЕД, кВт	7,5	5,0	7,5	
Максимальна швидкість руху, км/год.	76	52	71	
Питома потужність, кВт/кг	0,007	0,005	0,0085	0,0087
Коефіцієнт експлуатаційної потужності, $k_{екN}$	0,093	0,096	0,119	0,122
Коефіцієнт економічної потужності, $k_{ефN}$	1,58	1,01	1,39	1,35

Аналіз отриманих результатів показує, що коефіцієнти експлуатаційної  $k_{екN}$  та економічної потужностей  $k_{ефN}$ , фактично, обидва характеризують економічність тягового приводу за встановленою потужністю тягових ЕД.

Оптимальними величинами коефіцієнта економічної потужності являються  $k_{ефN} = 0,9-1,0$ . Величини цього коефіцієнта  $k_{ефN} > 1,0$  характеризують не достатню потужність тягових ЕД для руху із заданою максимальною швидкістю на міських

вулицях з ухилами дорожнього покриття. Проте, з огляду на енергозбереження, такі моделі електромобілів LMD все ж найбільш економічно доцільні в експлуатації.

Питома потужність маловантажних електромобілів різної вантажопідйомності з огляду на регламентовані величини номінальної потужності тягових ЕД для відповідних їх підкатегорій (L1e-A, L6e-BU та L7e-CU) різняться, практично, щонайменше у десять разів (табл. 15)

Таблиця 15 – Питома потужність маловантажних електромобілів різних підкатегорій категорії L

Підкатегорія електромобілів LMD	L1e-A	L2e-U	L5e-B	L6e-BU	L7e-CU
Група за вантажопідйомністю	LMD-Sb	LMD-S	LMD-A		LMD-B
Вантажопідйомність, кг	до 250	>250 до 450	>450 до 650		
Питома потужність, кВт/кг	0,0005-0,0007	0,0044-0,0105	0,00036	0,00488-0,00577	0,005-0,0087

Для проектування перспективних моделей маловантажних електромобілів MLD з огляду на енергозбереження рекомендовані наступні величини питомої потужності:

– для електромобілів підкатегорії L1e-A – 0,00065-0,0007 кВт/кг;

– для електромобілів підкатегорії L5e-B – 0,00035-0,0004 кВт/кг;

– для електромобілів підкатегорії L2e-U L6e-BU та L7e-CU – 0,0055-0,008 кВт/кг.

### Напрямки створення перспективних моделей маловантажних електромобілів

На нинішньому етапі розвитку конструкцій маловантажних електромобілів MLD їх проектування здійснюється за двома уже традиційними напрямками, які передбачають їх якомога більший рівень уніфікації. Обидва напрямки ґрунтуються на модульно-блочних системах модульного проектування, в основі яких модулі базових шасі та модулі кузовів різного функціонального призначення. Відмінність цих напрямків у сукупності основних модулів базових шасі. В деяких системах модульного проектування всього одне базове шасі, в інших – кілька, зазвичай, два-три модулі, які відрізняють величиною колісних баз, інколи – і довжиною задніх звисів.

Проте, обидва цих напрямки створення базових шасі не забезпечують, по-перше, досягнення максимально-можливого рівня уніфікації їх конструкцій при наявності кількох типорозмірів. По-друге, такі системи не здатні задовольнити потреби споживачів у різних моделях, наприклад, триколісних підкатегорій L1e-A, L2e-U або L5e-B та чотириколісних підкатегорій L6e-BU або L7e-CU. Потретье, розширення модельного ряду три- та чотириколісних моделей електромобілів LMD при застосуванні цих систем потребує більших обсягів фінансування, часу та відповідної підготовки виробництва.

Тому, для створення перспективних і конкурентоспроможних моделей маловантажних електромобілів категорій L та N1 з метою задоволення якомога ширшого кола споживачів, пропонуються системи їх модульного проектування на основі застосування більшої сукупності основних модулів.

Один з можливих варіантів систем модульного проектування таких КТЗ реалізований у конструкції вантажного електромобіля моделі EN31 "Карпати". Рами їх базових шасі з різними колісними базами складаються з двох основних модулів – модуля передньої частини з вузлами кріплення керованого моста та модуля задньої частини з кронштейнами кріплення тягового моста (рис. 6).

Модулі передньої та задньої частин рам базових шасі мають різні максимально-уніфіковані модифікації, які передбачають застосування керованих або керовано-тягових мостів різних типів за конструкцією та різної вантажопідйомності. Аналогічно і модулі задніх частин рам шасі можуть мати

виконання не тільки різної довжини, що забезпечує створення електромобілів з різною колісною базою, а й можуть обладнуватися тяговими мостами різних типів та тяговими ЕД різної потужності тощо.

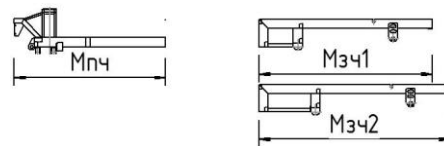


Рис. 6. Модулі базових шасі рам вантажного електромобіля EN31 "Карпати": Мпч – модуль передньої частини рами; Мзч1 і Мзч2 – модулі задньої частини рами

Інший перспективний варіант системи модульного проектування маловантажних міських електромобілів LMD передбачає застосування ще більшої сукупності основних модулів – модуля кабіни водія, модулів керованого моста, модулів тягового моста та допоміжних модулів – модулів кузовів-фургонів різного призначення необхідних типорозмірів (рис. 7).

Одноколісні Мкм1 та двоколісні Мкм2 модулі керованих мостів у сукупності з, відповідно, двоколісними Мтм2 та одноколісними Мтм1 модулями тягових мостів забезпечують створення базових шасі, щонайменше, у чотирьох варіантах:

- триколісні з колісною формулою 1+2.1;
- триколісні з колісною формулою 2+1.1;
- триколісні з колісною формулою 2+1.2;
- чотириколісні з колісною формулою 4x2.1.

Пропонована система забезпечує також створення максимально-уніфікованих тягових модулів, обладнаних ЕД різної потужності у відповідності до вимог [2]. Звісно, максимально-уніфіковані три- та чотириколісні моделі матимуть, відповідно, різну вантажопідйомність, а кузова-фургони – різний об'єм.

На основі базових модулів можуть бути створені і їх різні варіанти (модифікації), наприклад, модулі кабіни водія різної ширини, принаймні, однієї шириною 1,2 м та однієї і двомісної шириною 1,4...1,5 м, а при потребі, і більш ширші або вужчі.

Аналогічно, модулі тягового моста можуть бути виконані у варіантах з різною довжиною, що забезпечить створення базових шасі з кількома величинами колісної бази.



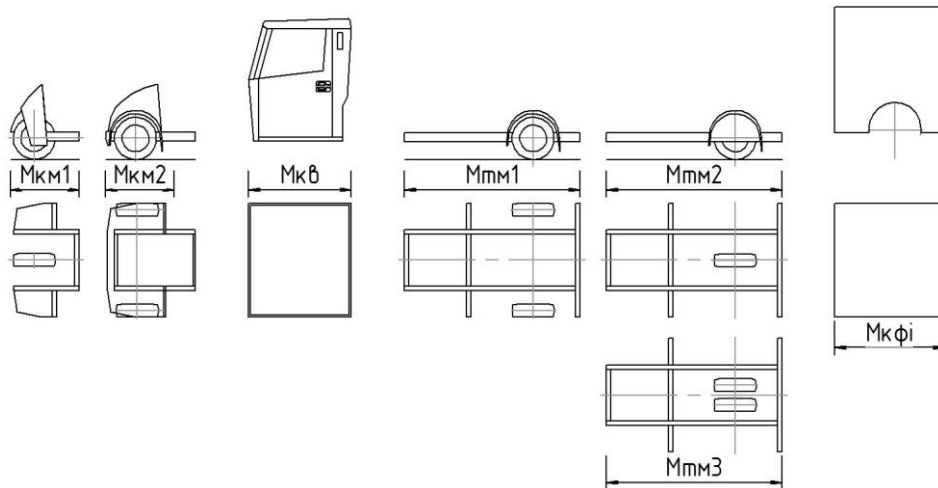


Рис. 7. Сукупність базових модулів системи модульного проектування маловантажних електромобілів: Mkm – модулі керованого моста; Mkv – модуль кабіни водія; Mtm – модулі тягового моста; Mkfi – модулі кузовів-фургонів різних типів і розмірів

Ці ж модулі та модулі керованого моста повинні мати, принаймні, два варіанти за шириною для створення базових шасі електромобілів з шириною кабіни 1,2 м та 1,4...1,5 м.

Пропонована сукупність базових та допоміжних модулів забезпечує проектування та виробництво маловантажних електромобілів LMD, принаймні, підкатегорій L5e-B (триколісні) та L6e-BU і L7e-CU (чотириколісні) різної ширини та вантажопідйомності (рис. 8).

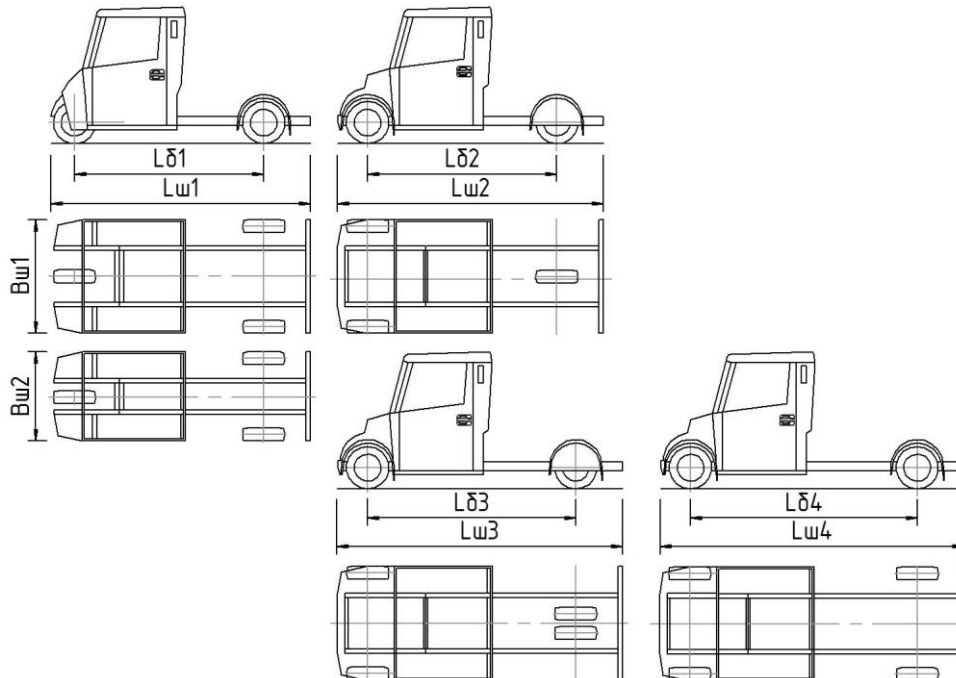


Рис. 8. Типорозмірний ряд базових шасі маловантажних електромобілів LMD

### Результати досліджень

Проведений аналіз основних технічних параметрів маловантажних електромобілів LMD показав, що існуюча їх класифікація на

категорії L та N зовсім не враховує їх основних функціональних параметрів – вантажопідйомності та величини автономного пробігу. Більше того, вона базується на принципово різних класифікаційних ознаках (табл. 16),

причому, для категорії L прийнято п'ять ознак, а для категорії N – всього дві.

Як видно з табл. 16, лише допустимі габаритні розміри являються спільною ознакою вантажних електромобілів категорій L та N. Саме тому, для адекватного порівняння експлуатаційних параметрів маловантажних електромобілів різних підкатегорій категорії L та підкатегорії N1, вантажопідйомність яких може різнитися до 30 разів або на 3000 %, видається необхідною їх класифікація за вантажопідйомністю (табл. 17).

Таблиця 17 – Класифікація маловантажних електромобілів категорій L та N1 за вантажопідйомністю

Категорія електромобілів LMD	L				N1	
Група за вантажопідйомністю	LMD-Sb	LMD-S	LMD-A	LMD-B	LMD-N1	FMD-N1
Вантажопідйомність, кг	до 250	> 250 до 450	> 450 до 650		до 800	> 800 до 1500

Примітка: До групи LMD-S входять виключно велоелектромобілі з комбінованим педально-електричним тяговим приводом

Ще одним дуже важливим експлуатаційним параметром маловантажних електромобілів LMD являється величина автономного пробігу. Для сучасних типових моделей електромобілів LMD величина автономного пробігу становить 50-150 км. Зазвичай, пробіг понад 100 км досягається у модифікаціях, обладнаних тяговими АКБ збільшеної енергоємності. Тому, для адекватного порівняння технічних параметрів проєктованих моделей електромобілів MLD з моделями-аналогами доцільним видається їх поділ на дві групи:

- група L100 – моделі з автономним пробігом 50-100 км;
- група L150 – моделі з автономним пробігом понад 100 км до 150 км.

Рекомендована величина автономного пробігу проєктованих перспективних моделей маловантажних електромобілів LMD 70-80 км. Проєктування таких КТЗ з величною автономного пробігу понад 150 км являється недоцільним, тому що низький коефіцієнт вантажопідйомності сприятиме малій економічності їх експлуатації. У будь-якому разі, рекомендований коефіцієнт вантажопідйомності проєктованих перспективних маловантажних електромобілів MLD з огляду на забезпечення їх конкурентоспроможності не повинен бути меншим  $k_g = 0,4$ .

З огляду на потреби енергозбереження дуже важливе значення має вибір оптимізованих величин двох параметрів – питомої потужності та максимальної швидкості руху проєктованих перспективних моделей електромобілів LMD. Вибір величин цих параметрів обумовлений регламентованими допус-

Таблиця 16 – Класифікаційні ознаки маловантажних електромобілів категорій L та N

Категорія електромобілів LMD	L	N
Кількість коліс	+	-
Допустимі габаритні розміри	+	
Допустима повна маса	-	+
Допустима споряджена маса без маси тягових АКБ	+	-
Допустима номінальна потужність тягових ЕД	+	
Допустима максимальна швидкість руху	+	

тимою номінальною потужністю їх тягових ЕД та максимальною швидкістю руху для більшості підкатегорій електромобілів категорії L. Загалом, доцільним видається дотримання принципів застосування тягових ЕД для забезпечення коефіцієнта економічної потужності  $k_{\text{ефN}} = 1,0$  та обмеження максимальної швидкості руху не більше 50 км/год. Тим паче, що ця швидкість являється максимально дозволеною у вітчизняних населених пунктах.

Оскільки маловантажні електромобілі LMD різних підкатегорій у великій мірі різняться, перш за все, вантажопідйомністю і, відповідно, повною конструктивною масою, найбільш оптимальними напрямками створення їх нових перспективних і конкурентоспроможних конструкцій являються:

- проєктування типорозмірних рядів базових шасі, які забезпечать виробництво та експлуатацію багатьох моделей і модифікацій електромобілів різного функціонального призначення у багатьох сферах суспільного життя;

- застосування систем модульного проєктування базових шасі електромобілів та кузовів для забезпечення максимальних рівнів уніфікації їх конструкцій, зменшення обсягів робіт з технологічної підготовки їх виробництва за рахунок скорочення номенклатури стапельного оснащення, кондукторів, інструментів тощо.

Наприклад, запропонована система модульного проєктування маловантажних електромобілів забезпечить створення типорозмір-

них рядів базових шасі категорій L та N1, зокрема:

- триколісних моделей з колісними формулами 3x1.1, 3x1.2 та 3x2.2 з різними колісними базами, розрахованих на різну вантажопідйомність;

- чотириколісних моделей з колісною формулою 4x2.1з або 4x2.1п, обладнаних, відповідно, заднім або переднім тяговим приводом, а за необхідності і 4x4.1, тобто, повнопривідних.

Лише велоелектромобілі підкатегорії L1-eA потребують індивідуального підходу до проектування, що пов'язало із застосування педально-електричного тягового приводу з дуже обмеженою номінальною потужністю тягового ЕД.

### Висновки

Розглянуті напрямки створення перспективних моделей маловантажних електромобілів LMD, являються актуальними для сфери розвитку вітчизняного електромобілебудування.

На основі розробленої класифікації маловантажних електромобілів LMD за вантажопідйомністю та аналізу величин основних технічних та експлуатаційних параметрів їх сучасних типових моделей різних підкатегорій категорії L наведені рекомендації щодо вибору:

- коефіцієнтів вантажопідйомності  $k_g$  ;
- коефіцієнтів матеріалоємності  $k_{me}$  та  $k_{me}^0$  (без урахування маси тягових АКБ);
- коефіцієнтів економічної  $k_{efN}$  та експлуатаційної  $k_{ekN}$  потужності;
- максимальної швидкості руху;
- величини автономного пробігу

Пропонована система модульного проектування маловантажних електромобілів категорій L2e-U, L5e-B, L6e-BU, L7e-CU та N1 забезпечує суттєве зменшення:

- трудових ресурсів на усіх стадіях – проектування, сертифікації, технологічної підготовки та дрібносерійного виробництва типорозмірних рядів модульно-уніфікованих базових шасі та не тільки електромобілів LMD, а й моделей іншого функціонального призначення;

- фінансових ресурсів, оскільки конструкції проєктованих транспортних засобів будуть максимально уніфіковані;

- матеріальних ресурсів завдяки виробництву та експлуатації електромобілів з оптимізованими параметрами для виконання заданих функцій;

- енергоресурсів завдяки мінімізації типажності та збільшенню тиражності складових деталей, необхідних для виробництва маловантажних електромобілів з оптимізованими параметрами їх габаритних розмірів (довжини і ширини) та вантажопідйомності;

- витрати електроенергії тягових АКБ за рахунок прийняття виважених і оптимізованих величин експлуатаційних параметрів проєктованих моделей КТЗ.

Розглянуті напрямки та наведені рекомендації сприятимуть створенню конкурентоспроможних вітчизняних моделей маловантажних електромобілів

### Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

### Література

1. Войтків С. В. (2023). Аналіз процесу створення вітчизняного електромобіля малої вантажопідйомності за результатами виготовлення і випробувань дослідного зразка. Матер. XI Міжнар. наук.-техн. інтер.-конф. "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2023 року: зб. наук. пр. Вінниця: ВНТУ, 8-19. Voytkiv S. V. (2023). Analiz protsesu stvorennia vitchyznianoho elektromobilia maloi vantazhopidionnosti za rezultatamy vyhotovlennia i vyprobuvan doslidnoho zrazka. [Analysis of the process of creating a domestic electric vehicle with a small carrying capacity based on the results of the production and testing of the prototype]. Mater. XI Mizhnar. nauk.-tekhn. inter.-konf. "Problemy ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu", 13-14 kvitnia 2023 roku: zb. nauk. pr. Vinnytsia: VNTU, 8-19. [in Ukrainian].
2. Tanase, G. C. (2021). The Increasing Adoption of Electric Vehicles (EVs) in The Last-Mile Delivery Operations. Romanian Distribution Committee Magazine, Romanian Distribution Committee, 12(3), 33-37. Retrieved from: <http://crd-aida.ro/RePEc/rdc/v12i3/3.pdf>.
3. Starczewski, J. (2019). Analysis of Transport Process' Costs with Use Various Technologies in Terms of Last Mile Delivery Problem. Research Methods and Solutions to Current Transport Problems, 401-410. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27687-4\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27687-4_40)
4. Kishore, S., Waghmare, R. & Johnvieira, A. (2022). Use Of Electric Vehicles In Last-Mile

- Delivery For B2c: A Step Towards Green Supply Chain. *Journal of Positive School Psychology*, 6 (6), 2439-2447. <https://doi.org/journalppw.com> 2022,
5. Galati, A., Adamashvili, N. & Crescimanno, M. (2023). A feasibility analysis on adopting electric vehicles in the short food supply chain based on GHG emissions and economic costs estimations. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.001>
  6. Siragusa, C., Tumino, A., Mangiaracina, R. & Perego, A. (2022). Electric vehicles performing last-mile delivery in B2C e-commerce: An economic and environmental assessment. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(1), 22-33. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1847367>
  7. Gee, I. M., Faust, K. M. & Webber, M. E. (2021). A framework for determining energy use in rural food delivery services: capturing system interdependencies through an agent-based discrete-event approach. *Environ. Res.: Infrastruct. Sustain*, 1, 14. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ac2b10>
  8. Yardjouman, Y., Kumar, T. P., Kiran, S. S., Ajith, L. & Dharmaraju, T. V. (2021). Development of a Last Mile Delivery Electric Vehicle. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, 16-27. <https://doi.org/10.46501/GIETAE04>
  9. Andaloro, L., Napoli, G., Micari, F., Agnello, S. S. & Antonucci, G. V. (2015). Development of a new concept electric vehicle for last mile transportation. *World Electric Vehicle Journal*, 7(3), 342-348. <https://doi.org/10.3390/wevj7030342>
  10. Höfer, A., Esl, E., Türk, D. & Hüttinger, V. (2021). Conception and Development of a Last Mile Vehicle for Urban Areas. *Small Electric Vehicles*, 167-177. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-65843-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65843-4_13)
  11. Napoli, G., Polimeni, A., Micari, S., Dispenza, G., Antonucci, V. & Andaloro, L. (2021). Freight distribution with electric vehicles: A case study in Sicily. *Delivery van development. Transportation Engineering*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100048>
  12. Sorooshian, S., Sharifabad, S. K., Parsaee, M. & Afshari, A. R. (2022). Toward a Modern Last-Mile Delivery: Consequences and Obstacles of Intelligent Technology. *Applied System Innovation*, 4, 16. <https://doi.org/10.3390/asi5040082>
  13. Moradi, N., Sadati, İ. & Çatay, B. (). Last mile delivery routing problem using autonomous electric vehicles. *Computers & Industrial Engineering*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109552>
  14. Schomakers, E.-M., Klatte, M., Lotz, V., Biermann, H., Kober, F. & Ziefle, M. (2022). Analysis of the potential of a new concept for urban last-mile delivery: Ducktrain. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 14, 10. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100579>
  15. Харченко В. Ф., Козлова О. С. (2019). До питання реального потенціалу підвищення енергоефективності міського електротранспорту. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*, 30 (69), 184-190. Kharchenko V. F., Kozlova O. S. (2019). Do pytannia realnoho potentsialu pidvyshchennia enerhoefektyvnosti miskoho elektrotransportu. [To the question of the real potential of increasing the energy efficiency of city electric transport]. *Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky University, series Technical Sciences*, 30 (69), 184-190. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/32> [in Ukrainian].
  16. Regulation (EU) No 168/2013 of the European Parliament and of the council of 15 January 2013 on the approval and market surveillance of two- or three-wheel vehicles and quadricycles. *Official Journal of the European Union*, L60/52.
  17. Войтків С. В. (2023). Огляд і аналіз конструкцій вантажних велоелектромобілів категорії L1e-A. Зб. тез доповідей III-ї Між. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2023". Вінниця: ВНТУ, 193-194. Voytkiv S. V. (2023). Ohliad i analiz konstruksii vantazhnykh veloelektromobiliv katehorii L1e-A. [Review and analysis of the constructions of cargo bicycle electric vehicles of category L1e-A.]. *Zb. tez dopovidei III-yi Mizh. nauk.-tekhn. konf. "Perspektyvy rozvytku mashynobuduvannia ta transportu – 2023"*. Vinnytsia: VNTU, 2023, 193-194. [in Ukrainian].
  18. Біла, І. С., Красман, Н. В. (2018). Розвиток ресурсозбереження в Україні. *Економіка та управління національним господарством*, 21, 53-58. Bila, I. S., Krasman, N. V. (2018). Rozvytok resursozberezhennia v Ukraini. [The development of resource savings in Ukraine]. *Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom*, 21, 53-58. Retrieved from: [http://www.market-infr.od.ua/journals/2018/21\\_2018\\_ukr/12.pdf](http://www.market-infr.od.ua/journals/2018/21_2018_ukr/12.pdf) [in Ukrainian].

**Войтків Станіслав Володимирович<sup>1</sup>**, к.т.н., генеральний конструктор, voytkivsv@ukr.net, тел. +38 067-447-04-90, ORCID: 0000-0002-7789-2081  
<sup>1</sup>Науково-технічний центр "Автополіпром", 79066, Україна, м. Львів, вул. Зубрівська, 32/24.

***The development directions of light-duty electric vehicle designs in the aspect of resource saving.***

**Abstract. Problem.** Every year, light-duty electric vehicles are used more and more for the delivery of various industrial goods, food products, and postal items to end consumers, in particular, on the orders of individuals. Such electric vehicles are called last-



mile delivery vehicles. According to the main design and operational parameters, they belong to two categories – to three- or four-wheeled motor vehicles of category L and four-wheeled category N1. Today, light-duty electric vehicles with very different load capacities (from 50 kg to 800 kg) and autonomous mileage (from 30 km to more than 150 km) are manufactured and operated. It is clear that their operational characteristics are so different that their adequate comparison of different models is very often practically meaningless. And the selection of the values of the main technical and operational parameters at the stage of developing sketch proposals according to different structural schemes and on the basis of different aggregate base causes significant problems. **Goal.** The determination of the directions of development of the domestic field of design and production of promising competitive models of light-duty electric vehicles, taking into account modern problems of resource conservation, and development of recommendations regarding the selection of the values of their main technical and operational parameters and characteristic relative indicators. **Methodology.** The methods of conducting analytical studies and expert evaluation of existing systems of modular unification of structures of light-duty electric vehicles are used to classify low-capacity electric vehicles by their carrying capacity and establish their defining technical and operational parameters. **Results.** On the basis of analytical studies, the classification of light-duty

electric vehicles by load capacity was developed and the determination, taking into account the developed classification, of the recommended values of their defining technical and operational parameters. On the basis of expert assessment of existing systems of modular unification of structures of light-duty electric vehicles, the concept of their modular design system was developed. **Originality.** The relative indicators of the technical excellence of light-duty electric vehicles are proposed, the concept of a modular design system of standard-sized series of maximum-unified basic chassis of such vehicles is developed. **Practical value.** The proposed classification of small-capacity electric vehicles by cargo capacity greatly facilitates the selection of their relative evaluation indicators and operational parameters at the stage of developing draft proposals for the creation of promising and competitive models for the organization.

**Key words:** light-duty electric vehicle; electric vehicles of category L and N1; specific power; modular design; classification of light-duty electric vehicles; optimized parameters of electric vehicles.

**Voytkiv Stanislav<sup>1</sup>**, Cand. of Science, General Designer, voytkivsv@ukr.net, тел. +38 067-447-04-90, ORCID: 0000-0002-7789-2081

<sup>1</sup>Scientific and technical Center "Autopoliprom", 32/24, Zubrivska, str., Lviv, 79066, Ukraine.