

# ВИБІР ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЙ L7 ТА N1

ТОВ «Науково-технічний центр «АВТОПОЛІПРОМ»

## **Анотація**

Запропоновані критерії та коефіцієнти ефективності, економічності та економічної ефективності тягових акумуляторних батарей, призначених для живлення електричних тягових приводів електромобілів малої вантажопідйомності. Наведені формули для їх визначення та проведення аналізу і оптимізації вибору тягових АКБ на етапі розроблення ескізних пропозицій щодо створення електромобілів категорій L7 і N1.

**Ключові слова:** тягова акумуляторна батарея, електромобіль малої вантажопідйомності, електричний тяговий привід.

## **Abstract**

The criteria and coefficients of effectiveness, efficiency and economic efficiency of traction batteries designed to supply electric traction drives of electric vehicles of small capacity are proposed. The formulas for their definition and for analysis and optimization of traction battery selection at the stage of development of sketch proposals for creation of electric traction electric vehicles of L7 and N1 categories are given.

**Keywords:** traction battery, low load electric vehicle, electric traction drive.

## **Вступ**

Вибір типу тягових акумуляторних батарей (АКБ) для живлення тягових електродвигунів привідних мостів вантажних електромобілів категорій L7 та N1 являється доволі складним завданням. Адже, уже на початковій стадії ескізного проектування – етапі розроблення ескізних пропозицій щодо створення перспективних електромобілів малої вантажопідйомності, необхідно вирішувати ряд питань, пов'язаних з вибором типу тягових АКБ, фірми-виробника, параметрів ємності або енергоемності, номінальної напруги, розмірних параметрів, параметрів мас та вартості однієї АКБ для формування блоків тягових АКБ заданої робочої ємності або заданої робочої енергоемності (енергетичної потужності).

Метою роботи є вибір критеріїв і розроблення методики аналізу та вибору тягових АКБ на етапі формування ескізних пропозицій щодо створення перспективних вантажних електромобілів категорій L7 та N1.

## **Результати дослідження**

На етапі розроблення ескізних пропозицій перспективних електромобілів малої вантажопідйомності першочергово повинні враховуватися конструктивні параметри – маса блоків тягових АКБ заданої ємності та площа, необхідна для їх розміщення на шасі цих транспортних засобів. Від маси тягових АКБ за умови застосування однакової агрегатної бази ходової частини та електричного тягового приводу електромобілів залежить корисна маса базових шасі, тобто вантажопідйомність. Проте, дуже важливим параметром блоків тягових АКБ являється їх вартість та величина життєвого циклу – термін працездатності до заміни, який характеризується кількістю циклів заряджання-розряджання при рекомендованому коефіцієнті робочого розрядження.

З наведених міркувань видається доцільним вибір тягових АКБ заданої робочої ємності (або заданої робочої енергоемності – енергетичної потужності) по одному із наступних трьох варіантів:

- з умови мінімізації маси блоків тягових АКБ;
- з умови мінімізації вартості блоків тягових АКБ;
- з умов мінімізації маси та вартості блоків тягових АКБ.

Для вибору тягових АКБ з умови мінімізації їх маси у якості критерію ефективності однієї АКБ різних типів пропонується питома ємнісна маса (кг/А·год.) з урахуванням коефіцієнтів їх робочого розрядження та кількості робочих циклів заряджання-розряджання при відповідному коефіцієнті.

Ефективність однієї тягової АКБ різних типів за питомою ємнісною масою доцільно оцінювати коефіцієнтом ефективності АКБ, який визначаються за виразом

$$k_{em} = \frac{m_{акб}}{0,0001E_o \times k_p \times n_{\psi} \times U_o}, \quad (1)$$

де  $m_{акб}$  – маса однієї тягової АКБ, кг;

$U_o$  – номінальна напруга однієї тягової АКБ, В;

$E_o$  – номінальна ємність (С5, С10 або С20 – однакова для порівнюваних АКБ) однієї тягової АКБ, А·год.;

$k_p$  – рекомендований коефіцієнт розрядження тягової АКБ;

$n_{\psi}$  – кількість робочих циклів розрядження-зарядження тягової АКБ при рекомендованому коефіцієнт розрядження.

Критерієм ефективності однієї АКБ різних типів при виборі тягових АКБ з умови мінімізації їх вартості являється питома ємнісна вартість (грн./А·год.), також з урахуванням коефіцієнтів їх робочого розрядження та кількості робочих циклів заряджання-розряджання при відповідному коефіцієнті. Ефективність однієї тягової АКБ різних типів за питомою ємнісною вартістю пропонується оцінювати коефіцієнтом економічності АКБ, який визначається за виразом

$$k_{ec} = \frac{C_o}{E_o \times k_p \times n_{\psi} \times U_o}, \quad (2)$$

де  $C_o$  – вартість однієї тягової АКБ, грн.

Для вибору тягових АКБ різних типів з умови мінімізації їх маси та вартості пропонується коефіцієнт їх економічної ефективності

$$k_{ef} = k_{em} \times k_{ec} \quad (3)$$

Результати розрахунків з визначення коефіцієнтів ефективності тягових АКБ типу VRLA GEL виробництва фірм "S.I.A.P. Sp. o.o." (Польща) [1], "Victron Energy B.V." (Нідерланди) [2] та "EverExceed Corporation" (Великобританія) [3] за питомою ємнісною масою, коефіцієнтів їх економічності за питомою ємнісною вартістю та коефіцієнтів економічної ефективності наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Аналіз параметрів тягових АКБ типу VRLA різних виробників

Найменування параметра	Модель тягової АКБ типу VRLA GEL															
	6Gel					3Gel	BAT412					12-				
	L3	85	140	165	175	5501	6001	1011	1511	2011	60G	70G	100G	160G	200G	
Фірма-виробник	"S.I.A.P. Sp. o.o."					"Victron Energy B.V."					"EverExceed Corporation"					
Напруга, В	12,0					12,0					12,0					
Ємність (С20), А·год.	70	100	170	200	195	60	66	110	165	220	55	75	110	160	200	
Маса, кг	22	34	60	71	34	20	24	33	48	66	18,7	25	31	52,2	65	
Коефіцієнт розряджання, $k_p$	0,8					0,8					0,8					
Кількість циклів при $k_p, n_{\psi}$	700					500					1000					
Вартість однієї АКБ, грн.	6987	8771	14566	16201	8178	6419	8014	10445	15687	20436	8007	8424	12095	18629	22855	
Коефіцієнт ефективності, $k_{em}$	0,468	0,506	0,525	0,528	0,519	0,694	0,758	0,625	0,606	0,625	0,354	0,347	0,294	0,340	0,339	
Коефіцієнт економічності, $k_{ec}$	0,148	0,131	0,128	0,121	0,125	0,223	0,253	0,198	0,198	0,194	0,152	0,117	0,115	0,121	0,119	
Коефіцієнт економічної ефективності, $k_{ef}^e$	0,069	0,066	0,067	0,064	0,065	0,155	0,192	0,124	0,120	0,121	0,054	0,041	0,034	0,041	0,040	

Аналіз отриманих результатів показує, що питома маса тягових АКБ типу VRLA GEL різних виробників (без урахування коефіцієнтів робочого розрядження та кількості робочих циклів заряджання-розряджання) знаходиться у діапазоні 0,281-0,364 кг/А·год., а їх різниця складає 22,8 %. Проте, різниця у величинах коефіцієнтів ефективності тягових АКБ цього ж типу, обчислених за пропонуваним виразом (1), у 2,68 рази більша – 61,2 % (діапазон 0,294-0,758). Аналогічні результати отримані і для економічної ефективності цих тягових АКБ – діапазон їх питомої ємнісної вартості 81,0-145,0 грн./А·год. (різниця 44,1 %), а діапазон величин коефіцієнтів питомої ємнісної вартості –

0,115-0,253 (різниця 54,5 %). Діапазон коефіцієнтів економічної ефективності тягових АКБ типу VRLA GEL різних виробників 0,034-0,192, а їх різниця складає 82,3 %. Отже, оцінка параметрів мас тягових АКБ не за питомою ємнісною масою та за питомою ємнісною вартістю а за коефіцієнтами їх ефективності  $k_{em}$ , економічності  $k_{ec}$  та економічної ефективності  $k_{ef}$ , які враховують такі важливі параметри тягових АКБ як кількість робочих циклів заряджання-розряджання при відповідному коефіцієнті розрядження, являється коректнішою і адекватнішою.

Результати розрахунків з визначення коефіцієнтів ефективності тягових АКБ типу VRLA AGL виробництва фірм "Victron Energy B.V." [4], "EverExceed Corporation" [5] та "Shenzhen Firstpower Tech Co. Ltd" – АКБ "Ventura"(Італія-Китай) [6] за питомою ємнісною масою, коефіцієнтів їх економічності за питомою ємнісною вартістю та коефіцієнтів економічної ефективності наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Аналіз параметрів тягових АКБ типу VRLA AGM різних виробників

Найменування параметра	Модель тягової АКБ типу VRLA AGM														
	BAT412					DM-					BB EB				
	5500	6000	8000	1210	1510	1255	1280	12100	12135	12200	12-12	20-12	36-12	50-12	63-12
Фірма-виробник	«Victron Energy B.V.»					«EverExceed Corporation»					«Ventura»				
Напруга, В	12,0					12,0					12,0				
Ємність (С20), А·год.	60	66	90	130	165	55	80	100	135	200	12	20	38	50	63
Маса, кг	20	24	27	38	47	16,5	23	30	35	60,5	4,3	6,45	10,3	16,5	20,7
Коефіцієнт розряджання	0,6					0,8					0,8				
Кількість циклів при $k_p$	700					800					400				
Вартість однієї АКБ, грн.	5583	7673	8166	12193	15498	5371	7226	9209	11351	17522	1478	2441	3169	5354	6832
Коефіцієнт ефективності, $k_{em}$	0,496	0,541	0,446	0,435	0,424	0,391	0,374	0,391	0,338	0,394	0,933	0,840	0,706	0,859	0,856
Коефіцієнт економічності, $k_{ec}$	0,185	0,231	0,180	0,186	0,186	0,127	0,118	0,120	0,109	0,114	0,321	0,318	0,217	0,279	0,282
Коефіцієнт економічної ефективності, $k_{ef}^e$	0,092	0,125	0,080	0,081	0,079	0,050	0,044	0,047	0,037	0,045	0,299	0,267	0,153	0,240	0,242

На основі аналізу коефіцієнтів ефективності, економічності та економічної ефективності, визначених за пропонованими формулами (1-3), сформовані блоки тягових АКБ типів VRLA GEL та VRLA AGM різних виробників з робочою ємністю 240 А·год. і робочою напругою 48 В, маса, вартість, циклічна вартість та циклічно-ємнісна вартість яких наведені у табл. 3.

Номінальна ємність блоків тягових АКБ з урахуванням рекомендованого коефіцієнту розрядження визначається за виразом

$$E_{акб} = \frac{E_{np}}{k_p}, \quad (4)$$

де  $E_{np}$  – прийнята (розрахункова) робоча ємність блоку тягової АКБ, А·год.

Кількість окремих тягових АКБ у блоці необхідної номінальної ємності визначається за формулою

$$n_{акб} = \frac{E_{акб} \times U_p}{E_o \times U_o}, \quad (5)$$

де  $U_p$  – необхідна (задана) напруга блоку тягової АКБ, необхідна для живлення електродвигунів тягового приводу, В.

Маса блоків тягових АКБ розраховується за виразом

$$M_{акб} = n_{акб} \times m_{акб}, \quad (6)$$

а їх вартість за формулою

$$C_{акб} = n_{акб} \times C_o. \quad (7)$$

Циклічна вартість блоків тягових АКБ, яка враховує кількість циклів заряджання-розряджання при відповідному коефіцієнті робочого розрядження рівна

$$C_{акб}^c = \frac{C_{акб}}{n_c}. \quad (8)$$

або з урахуванням розрахованих величин їх номінальних ємностей, складених з АКБ різних моделей

$$C_{акб}^{еу} = \frac{C_{акб} \times E_{акб}^p}{n_{ч} \times E_{акб}}, \quad (9)$$

де  $E_{акб}^p$  – розрахована номінальна ємність блоку тягової АКБ, А·год.

Таблиця 3 – Параметри мас і вартості блоків тягових АКБ різних типів і різних фірм-виробників

Найменування параметра	«Victron Energy B.V.»		«EverExceed Corporation»		«S.I.A.P. Sp. o.o.»	«Ventura»
	GEL	AGM	GEL	AGM	GEL	AGM
Тип АКБ	BAT4121511	BAT4121510	12-100G	DM-1280	6Gel 165	304
Модель АКБ						
Ємність (C20), А·год.: - номінальна	330	390	330	320	330	304
- робоча	264	234	264	256	264	243
Кількість АКБ, од.	2x4=8	3x4=12	3x4=12	4x4=16	2x4=8	8x4=32
Маса блоку, кг	384	456	372	368	568	662
Вартість блоку АКБ, грн.	125496	146316	145140	115616	129608	218624
Циклічна вартість блоку АКБ, грн./цикл.	250992	209022	145140	144520	185154	546560
Циклічно-ємнісна вартість блоку АКБ, грн./цикл·А·год.	760,4	536,0	439,8	451,6	549,0	1798,0

### Висновки

Коефіцієнти ефективності, економічності та економічної ефективності тягових АКБ залежать не тільки від їх типів, а й від фірм-виробників та фірм-постачальників. Пропоновані коефіцієнти різняться навіть для тягових АКБ однакового типу, одного і того ж виробника та одного і того ж постачальника (продавця).

При виборі тягових АКБ для проєктованих електромобілів категорій L7 і N1 з максимальною вантажопідйомністю доцільно застосовувати коефіцієнт їх ефективності за питомою ємнісною масою. При створенні таких електромобілів з умови мінімізації їх вартості необхідно користуватися коефіцієнтом економічності тягових АКБ за їх питомою ємнісною вартістю.

Оскільки формування блоків тягових АКБ необхідної номінальної ємності не завжди можливе з урахуванням конкретної ємності однієї АКБ з найкращим коефіцієнтом економічної ефективності остаточний вибір типу, виробника та постачальника тягових АКБ повинен базуватися на порівнянні їх циклічної вартості та циклічно-ємнісної вартості.

Запропонована методика вибору типу і виробника тягових АКБ заданої робочої ємності з урахуванням кількості циклів їх заряджання-розряджання при рекомендованих коефіцієнтах розрядження забезпечує можливість аналізу параметрів базової моделі шасі перспективних електромобілів та його модифікацій на етапі розроблення ескізних пропозицій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A-TRADE. Гелевые аккумуляторы SIAP. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2020/author/submit/3?paperId=10107> (дата звернення: 05.04.2020).
2. Best Energy. Victron Energy: Аккумуляторные батареи Deep cycle GEL 12B 60-220Ач. URL: <https://best-energy.com.ua/product/batterys/victron-energy/deep-gel> (дата звернення: 07.04.2020).
3. Best Energy. EverExceed: Аккумуляторные батареи Deep cycle GEL 6/12B 20-250Ач. URL: <https://best-energy.com.ua/product/batterys/everexceed/dcg#> (дата звернення: 07.04.2020).
4. Best Energy. Victron Energy: Аккумуляторные батареи Deep cycle AGM 6/12B 20-240Ач. URL: <https://best-energy.com.ua/product/batterys/victron-energy/deep-agm#> (дата звернення: 09.04.2020).
5. Best Energy. EverExceed: Аккумуляторные батареи AGM Max Deep cycle Range 6/12B 20-250Ач. URL: <https://best-energy.com.ua/product/batterys/everexceed/max-dp#> (дата звернення: 09.04.2020).

**Войтків Станіслав Володимирович** – канд. техн. наук, генеральний конструктор ТОВ «Науково-технічний центр «АВТОПОЛІПРОМ», Заслужений машинобудівник України, Львів, e-mail: voytkivsv@ukr.net

**Voytkiv Stanislav V.** – Cand. Sc. (Eng), general designer "Scientific and technical center "Autopoliprom", The deserved machine engineer of Ukraine, e-mail: voytkivsv@ukr.net