

щільне прилягання до робочих поверхонь за рахунок рівномірного прогрівання та відсутності коробління.

Модернізація може бути проведена в умовах виробника двигуна і застосована силами машинної команди при виконанні ремонтно-профілактичних робіт на судні.

Запропоноване технічне рішення є універсальним і може бути застосоване на судах з двотактними і чотиритактними дизельними двигунами різної потужності.

Перелік використаної літератури

1. Білоусов Є.В. Паливні системи сучасних судових дизелів. Херсон, ХДМА, 2014.–260 с.
2. Наливайко В.С., Тимошевський Б.Г., Ткаченко С.Г. Суднові двигуни внутрішнього згорання: навч. посіб. Миколаїв: видавець Торубара В.В., 2015. 332 с.
3. Woodyard D. Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines – Oxford, Elsevier Linacre House, 9th ed., 2009. – 903 p.
4. Mollenhauer K., Tschoeke H. Handbook of Diesel Engines. – Heidelberg, Springer, 2010. – 636 p.

УДК 629.083: 519:872

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ ТЯГОВОЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ДЛЯ ТРОЛЕЙБУСА З АВТОНОМНИМ ХОДОМ

Проценко В.О., д.т.н., професор кафедри транспортних систем і технічного сервісу,
Херсонський національний технічний університет, e-mail: eseu@ukr.net

В роботі [1] за рахунок запису енергетичного балансу тягової акумуляторної батареї (ТАБ) запропоновано методику визначення її потрібної ємності. З урахуванням результатів, отриманих у [2], вона може представлена наступним чином. При додатному значенні величини Δ_m (недостачі заряду ТАБ за оберт) (1) пропонується використовувати вираз (2), при від'ємному – вираз (3). Додатне значення величини Δ_m означає, що енергія, яку витрачає ТАБ на автономний хід (АХ) за один оберт перевищує енергію, яку вона запасє при ходові під контактною мережею (КМ) («недостача заряду» за оберт). Від'ємне значення величини Δ_m означає, що довжини КМ достатньо з надлишком, щоб компенсувати витрату енергії ТАБ на АХ за один оберт тролейбуса на маршруті («надлишок заряду» за оберт).

$$\Delta_m = \left(H_0 L_{ax} - \frac{P_{зкм}}{V_{еср}} L_{км} \right) = \sum_{i=1}^n \delta_i; \quad (1)$$

$$C_{потр} = L_m \left(n_{op} C_0 k_1 - P_{зкм} \frac{n_{op} - 1}{V_{еср}} \times \frac{1 - k_1}{k_2} \right); \quad (2)$$

$$C_{потр} = C_0 L_{ax}, \quad (3)$$

де H_0 – питома витрата електроенергії під час роботи тролейбуса на маршруті, (кВт×год)/км;

$P_{зкм}$ – потужність, що відбирається від контактної мережі при заряджанні ТАБ на ходу, кВт (зазвичай становить 20...50);

$V_{еср}$ – середня експлуатаційна швидкість, км/год;

C_0 – питома ємність ТАБ, (кВт×год)/км [2];

L_m – довжина маршруту, км;

$L_{км}$ – сумарна довжина ділянок КМ маршруту, км;

L_{ax} – сумарна довжина ділянок АХ маршруту, км;
 n_{op} – кількість оборотних рейсів (обертів) за зміну;

$k_1 = \frac{L_{ax}}{L_m}$ – відношення ділянки АХ до загальної довжини маршруту.

$k_2 = 0,6$ – відношення робочого діапазону енергетичної ємності ТАБ до її конструктивної енергетичної ємності (для літій-іонних батарей), тобто розрядження допускається не більше як до 60% номінальної ємності.

Більш раціональним варіантом маршруту є такий, для якого $\Delta_m < 0$, тобто тролейбус закінчуватиме зміну із зарядженою ТАБ. Але для такого варіанту розрахунок за виразом (3) може давати достатньо великий запас. Так, для маршруту тролейбуса з АХ, на якому є n елементарних відрізків, причому для кожного з них відома довжина ділянки АХ L_{axi} та наступна до неї по ходу руху довжина ділянки КМ L_{kmi} , раціональнішою з точки зору мінімізації ємності ТАБ (а значить вартості та ваги ТАБ, а також пасажиромісткості тролейбуса) побудовою маршруту буде така, де для кожного елементарного i -го відрізка

показник $\delta_i = \left(H_0 L_{axi} - \frac{P_{зкм}}{V_{еср}} L_{kmi} \right)$ є від'ємним ($\delta_i < 0$, або «надлишок заряду» на відрізку). В

такому випадку потрібну ємність ТАБ можна визначати за співвідношенням:

$$C_{нотр} = C_0 L_{axMAX}, \quad (4)$$

де L_{axMAX} – максимальна довжина ділянки АХ з усіх n елементарних відрізків маршруту, км.

У менш досконалому варіанті, коли при $\Delta_m < 0$ (при «надлишку заряду» за оберт), для деяких елементарних відрізків маршруту справедливе співвідношення $\delta_i > 0$ (або «недостача заряду» на відрізках), потрібну ємність ТАБ пропонується обчислювати як:

$$C_{нотр} = C_0 L_{axMAX} + \frac{\sum_{i=1}^n positive(\delta_i)}{k_2}, \quad (5)$$

де $positive(\delta_i)$ – величина недостачі заряду на i -му елементарному відрізку, кВт×год.

Таким чином, пропонується наступний алгоритм розроблення маршруту для тролейбуса з АХ:

- виходячи з доступної тролейбусної та вуличної мережі намітити загальні контури маршруту так, щоб на ньому був «надлишок заряду» $\Delta_m < 0$;

- розбити намічений маршрут на n елементарних відрізків та визначити для кожного довжини ділянок КМ L_{kmi} та АХ L_{axi} ;

- з усіх елементарних відрізків знайти такий, що має L_{axMAX} ;

- для кожного з елементарних відрізків обчислити δ_i та проаналізувати отримані значення;

- у випадку коли для всіх n елементарних відрізків маршруту справедливе співвідношення

$\delta_i < 0$ («надлишок заряду» на всіх відрізках), обчислити потрібну ємність ТАБ $C_{нотр}$ за виразом (4);

- у випадку коли співвідношення $\delta_i < 0$ справедливе не для всіх елементарних відрізків маршруту («недостача заряду» на деяких відрізках), обчислити потрібну ємність ТАБ $C_{нотр}$ за виразом (5);

- вибрати ТАБ з каталоговою ємністю, більшою за обчислену потрібну ($C_{кат} > C_{нотр}$) та визначити вартість ТАБ;

- обчислити вартість тролейбуса з АХ з урахуванням вартості вибраної ТАБ, а також визначити його пасажиромісткість з урахуванням маси вибраної ТАБ;

- розрахувати собівартість експлуатації і перевезення пасажирів, наприклад за методикою [3].

При достатній кількості можливих варіантів прокладання маршруту, можна користуватись співвідношеннями (6), отриманими з умови $\delta_i < 0$.

$$L_{axi} < L_{kmi} \frac{P_{зкм}}{V_{еср} H_0},$$

$$L_{kmi} > L_{axi} \frac{V_{еср} H_0}{P_{зкм}}.$$
(6)

Для прикладу розглянемо маршрут №10 для тролейбуса з АХ, запропонований з метою удосконалення пасажирської мережі м. Херсона (рис. 1, табл. 1). При $C_0 = 3,8$ (кВт×год)/км, $H_0 = 2,3$ (кВт×год)/км, $V_{еср} = 15$ км/год, $P_{зкм} = 30$ кВт, загалом для маршруту маємо $\Delta_m = - 8,23$ кВт×год, тобто за один оберт є можливість повністю компенсувати розрядження ТАБ на ділянках АХ. Вираз (3) дає величину потрібної ємності ТАБ $C_{нотр} = 53$ кВт×год. Аналіз даних табл. 1 демонструє, що умова $\delta_i < 0$ справедлива не для всіх елементарних відрізків маршруту, на відрізках 1, 3 та 4 наявна «недостача заряду» ($\Sigma positive(\delta_i) = 5,66$ кВт×год), а розрахунок за виразом (5) (при $L_{axMAX} = L_{ax3} = 4,5$ км) дає величину потрібної ємності ТАБ $C_{нотр} = 26,6$ кВт×год, тобто практично вдвічі менше, ніж за виразом (3). Якщо прийняти, що на тролейбусі встановлена ТАБ ємністю $C_{ТАБ} = 27$ кВт×год, розрахунок балансу на елементарних відрізках маршруту дає можливість визначити величини заряду ТАБ на границях ділянок, які на рис. 1, б, наведені в колах у кВт×год. Найбільшого розряду (залишок 16,7 кВт×год, або 61,85% номінальної ємності) ТАБ досягає на границі ділянки АХ елементарного відрізка №3 з найбільшою довжиною АХ. Це ілюструє використання запропонованої розрахункової моделі та може дати можливість знизити ємність і вартість ТАБ, які потрібно встановлювати на тролейбуси з АХ. Підтвердження того чи іншого варіанту комплектування тролейбуса ТАБ потребує детальнішої економічної оцінки, зокрема з урахуванням її ресурсу та інших чинників.

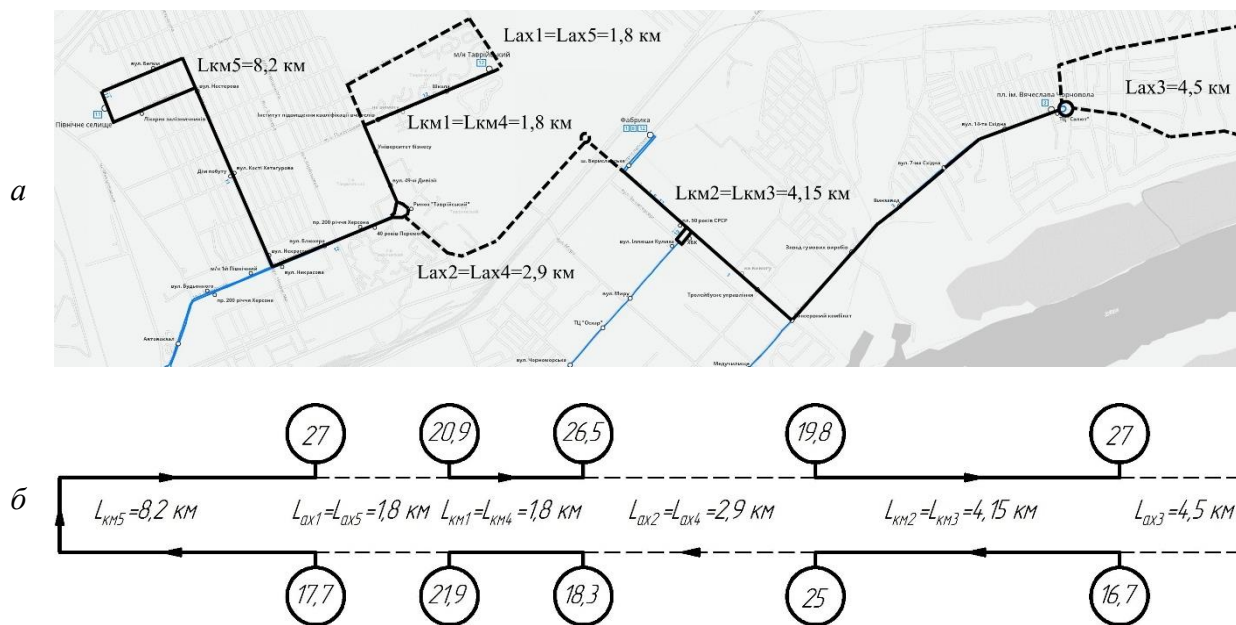


Рисунок 1 – Схема маршруту №10 (пунктир – ділянки АХ, суцільні – ділянки КМ):
а – розташування на карті, б – зміна заряду ТАБ

Таблиця 1 – Параметри елементарних відрізків тролейбусного маршруту №10

№ елементарного відрізка	$L_{кмi}$, км	L_{axi} , км	δ_i , кВт×год
1	1,8	1,8	0,54
2	4,15	2,9	-1,63
3	4,15	4,5	2,05
4	1,8	2,9	3,07
5	8,2	1,8	-12,26
	$L_M = 34,0$ км; $L_{км} = 20,1$ км; $L_{ax} = 13,9$ км.		$\Sigma_{positive}(\delta_i) = 5,66$

Перелік використаної літератури

1. Андрусенко С.І. Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. К.: НТУ. – 2021. – №3(50). – С. 3-10. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010
2. Будниченко І.В. Методика оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації / І.В. Будниченко, С.А. Харламов // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – 2024. – №1(22), – С. 97-105. DOI: 0.36910/automash.v1i22.1350
3. Андрусенко С.І. Розробка методики визначення експлуатаційних витрат автобусів та тролейбусів з різними видами силових установок / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт). – 2022. – № 2 (270). – С. 15-25. DOI: 10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25