

Шифр «Bogdan»

НАУКОВА РОБОТА

зі спеціальності «Автомобільний транспорт»

напряму конкурсу «Автомобілі та трактори»

на тему:

«Розрахунок тягової батареї для силової установки тролейбуса
з автономним ходом у межах передмістя»

2020

АНОТАЦІЯ

Наукова робота присвячена дослідженню деяких експлуатаційних показників тролейбуса з автономним ходом та показників його роботи на ділянках маршрутів в околицях міста та передмісті на прикладі м. Луцьк без контактних електромереж з метою розрахунку та підбору електрообладнання для реалізації автономного ходу.

За результатами досліджень визначено затрати енергії на подолання автономним ходом тролейбусом Т70110 визначеного шляху протяжністю 7,8 км та підбрано елементи живлення силової установки електроприводу.

Ключові слова: тролейбус, автономний хід, ландшафт, потужність, енергія, ємність, акумуляторна батарея.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 Актуальність проведення досліджень	6
.....	6
2 Характеристика тролейбуса та умови його роботи на визначених маршрутах	7
2.1 Коротка технічна характеристика тролейбуса Т70110	7
2.2 Актуальні маршрути тролейбусів з виїздом за межі міста.	8
2.3 Умови подолання тролейбусом профілю ландшафту дороги в умовах автономного ходу на маршруті	11
3 Розрахунок експлуатаційних показників автономного ходу тролейбуса.	13
3.1 Розрахунок і підбір електродвигуна тролейбуса	13
3.2 Розрахунок та підбір тягової акумуляторної батареї.	15
ВИСНОВКИ.	19
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.	20

ВСТУП

Міський електротранспорт, як тип транспорту загального користування, призначений для виконання важливої соціально-економічної функції з перевезення населення як у нашій країні так і за кордоном.

Актуальність обраної теми полягає у розвитку єдиної транспортної мережі за рахунок мобільності, маневреності тролейбуса з автономним ходом без розширення дорожньої інфраструктури електротранспорту, що призведе до зменшення транспорту з двигунами внутрішнього згорання.

Метою роботи є розроблення методики розрахунку джерела живлення силової установки тролейбуса та для забезпечення автономного ходу.

Для досягнення мети поставлені такі задачі:

- розглянути можливість організації актуальних маршрутів тролейбусів у передмісті м. Луцьк;
- дослідити ландшафт ділянок дороги без контактної мережі на вибраних маршрутах тролейбуса;
- провести дослідження витрат енергії на подолання шляху, та вибрати характеристики накопичувачів електричної енергії.

Об'єкт дослідження – експлуатаційні показники тролейбуса під час руху у режимі автономного ходу.

Предмет дослідження – залежність експлуатаційних показників тролейбуса у режимі автономного ходу від умов експлуатації на ділянках шляху визначених маршрутів.

Методи дослідження. Теоретичні методи дослідження затрат енергії які затрачає тролейбус, для подолання тролейбусом автономним ходом ділянок визначеного маршруту.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблена методика для визначення характеристик накопичувачів енергії для експлуатації тролейбуса у режимі автономного ходу з врахуванням затрат енергії на ділянках шляху у

місцевості певного ландшафту.

Практичне значення одержаних результатів. Отриманні дані дозволяють поліпшити розробку систем автономного ходу тролейбусів для їх експлуатації у межах околиць міст та передмістя без контактної мережі.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основною перевагою тролейбусів у порівнянні з іншим громадським транспортом у першу чергу відсутність шкідливих викидів в атмосферу. Також значно більша надійність силового агрегату і трансмісії транспортного засобу та вища їх ремонтпридатність. Є й фактор економії – тролейбус має можливість, при гальмуванні повертати електричну енергію у мережу та заряджати накопичувачі за рахунок рекуперації, перетворюючи в електричну накопичену кінетичну енергію [1]. Термін експлуатації тролейбусів в Україні і за кордоном значно вищий ніж в автобусів.

Недоліком тролейбуса у порівнянні з автобусом є його не мобільність «прив'язка» до контактної мережі та потреба в інфраструктурі. Доцільність побудови якої обумовлюється наявністю великих пасажиропотоків.

Як правило, через особливості виготовлення і налаштування за звичайний тролейбус приблизно в півтора-два рази дорожчий від автобуса. У півтора рази дорожче звичайних тролейбусів тролейбуси з накопичувачами енергії на борту [2, 3, 4], та приблизно у два рази дорожче звичайних дизельних автобусів (вартість зростає зі збільшенням величини автономного ходу).

На сьогодні поширені тролейбуси з використанням дизель-генераторних установок [4]. Окрім того розробляються транспортні засоби з накопичувачами де електроенергії як в акумуляторних батареях так і у так званих “Суперконденсаторах” або іоністорах [5, 6].

Тролейбуси з акумуляторами мають запас ходу від 5-ти кілометрів з можливістю заряджатись від контактної мережі під час руху [2, 4].

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТРОЛЕЙБУСА ТА УМОВИ ЙОГО РОБОТИ НА ВИЗНАЧЕНИХ МАРШРУТАХ

2.1 Коротка технічна характеристика троллейбуса Т70110

Тролейбус, випускався з 2010 року ДП «Автоскладальний завод № 1» ПАТ «Автомобільна компанія «Богдан Моторс» (рис. 2.1) [7].



Рисунок 2.1 – Тролейбус Т70110 [5].

Заводом випускалися ряд модифікацій у тому числі новіші версії троллейбуса такого класу – Т70116, Т70117 [2, 8]. Тролейбус Т70116 з системою автономного ходу і двигуном змінного струму [2]. Технічні характеристики троллейбуса «Богдан» Т70110 наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік технічних характеристики троллейбуса Т70110

<u>Габаритні розміри</u>	
Ширина	2 550 мм
Висота	3 800 мм
Коля	2 160 мм
<u>Маса і навантаження</u>	
Споряджена маса	11 200 кг
Максимально допустима маса	18 000 кг

Продовження таблиці 2.1

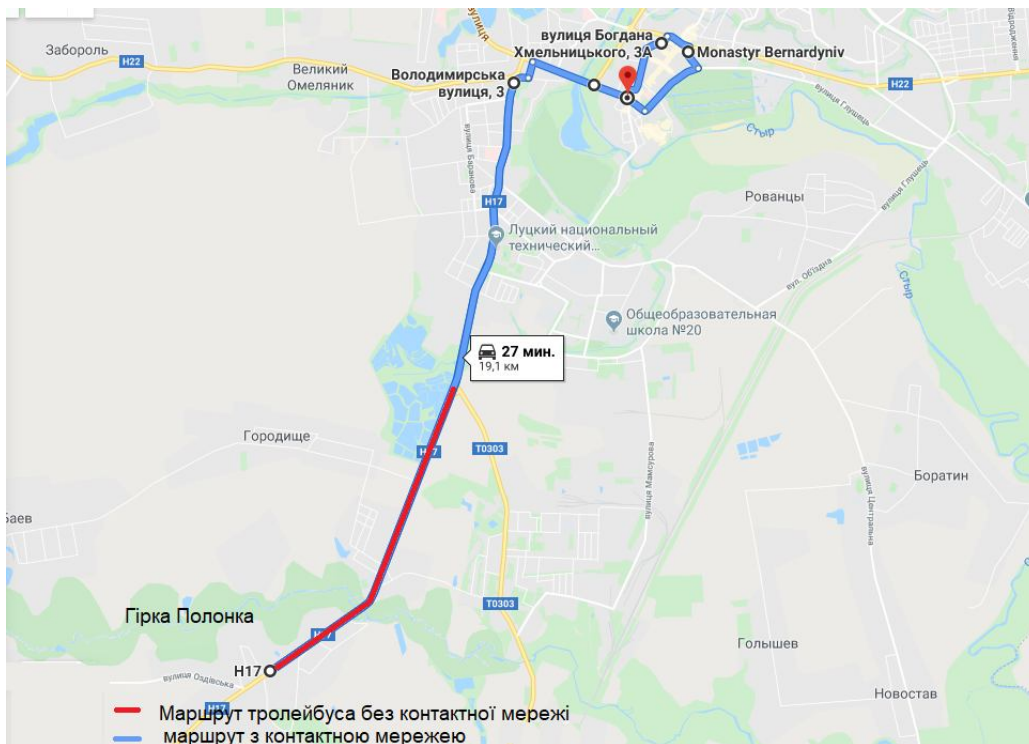
<u>Шасі</u>	
Підвіска	<i>Система ECAS</i>
Колеса	275/80R \times 22.5
Осі, штук	2 (4 \times 2)
<u>Двигун</u>	
Кількість двигунів	1
Годинна продуктивність на двигун	206 PS
Потужність	140 кВт
Крутний момент номінальний	810 Н \times м
Дозволена максимальна швидкість	55 км/год

2.2 Актуальні маршрути тролейбусів з виїздом за межі міста

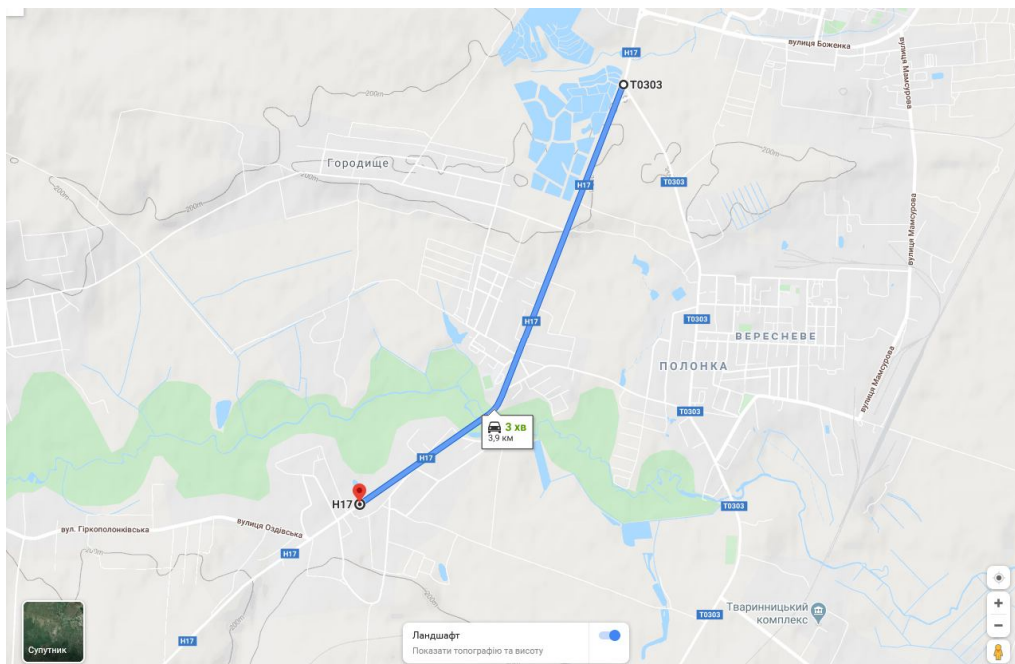
На основі аналізу пасажиропотоків прийнято розвивати тролейбусну мережу за двома маршрутами з ділянками, що не обладнані контактними мережами:

– «м. Луцьк – с. Гірка Полонка – м. Луцьк» (рис. 2.2). Загальна довжина маршруту – 38,2 км. Ділянка маршруту з потребою автономного ходу становить 7,8 км. Тривалість оборотного рейсу 1 година (швидкість транспортного потоку 20 км/год). Тривалість автономного ходу зі швидкістю 36 км/год – 0,22 год;

– «м. Луцьк – с. Забороль – м. Луцьк» (рис. 2.3). Загальна довжина маршруту – 42,4 км. Ділянка маршруту з потребою автономного ходу становить 6 км. Тривалість оборотного рейсу 1 година (швидкість транспортного потоку 20 км/год). Тривалість автономного ходу зі швидкістю 36 км/год – 0,16 год.

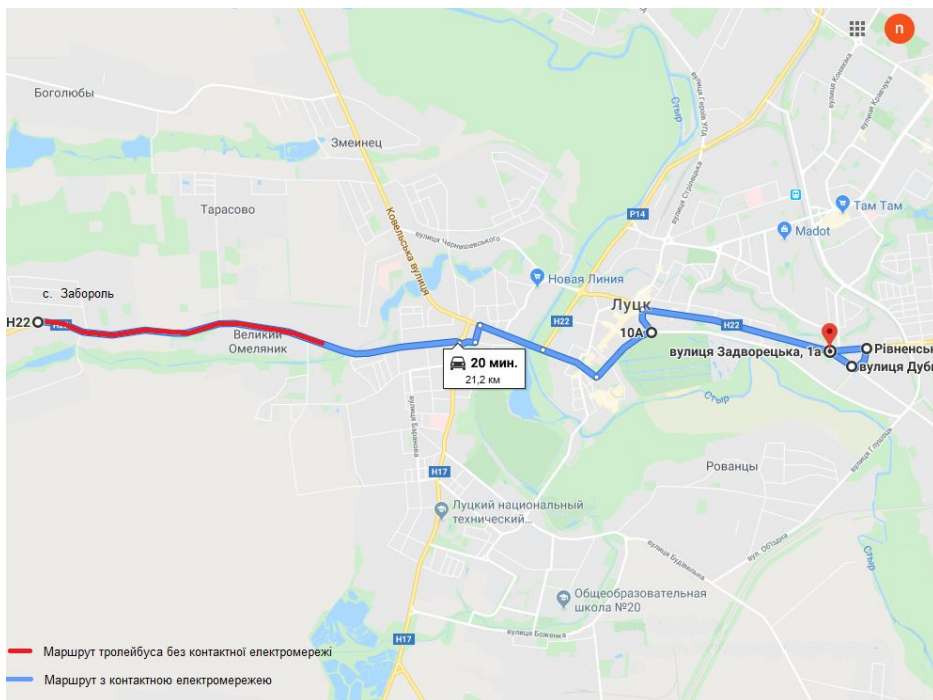


a

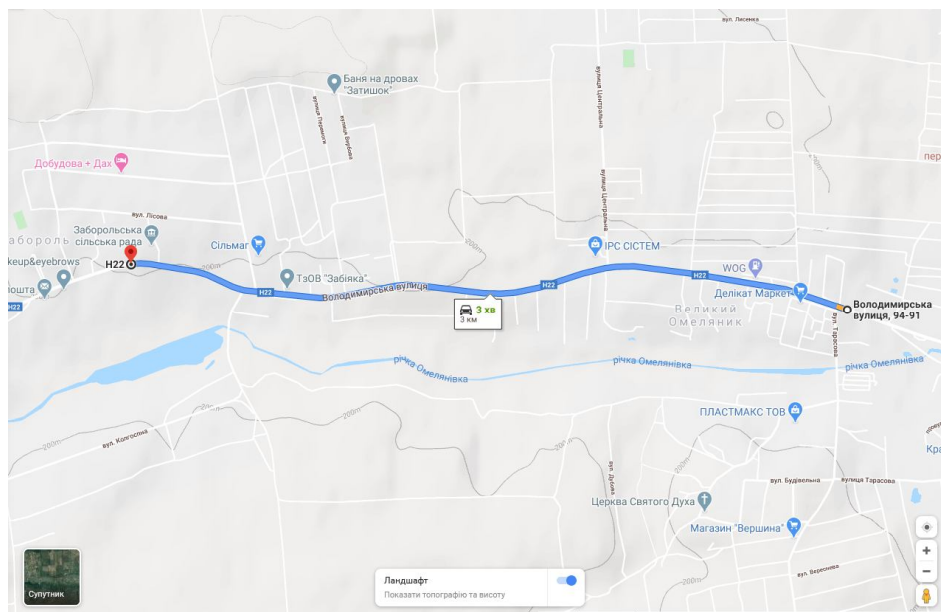


b

Рисунок 2.2 – Маршрут тролейбуса «м. Луцьк – с. Гірка Полонка»: *a* – загальний з ділянкою автономного ходу; *b* – ділянка не обладнана контактною мережею [9]



a



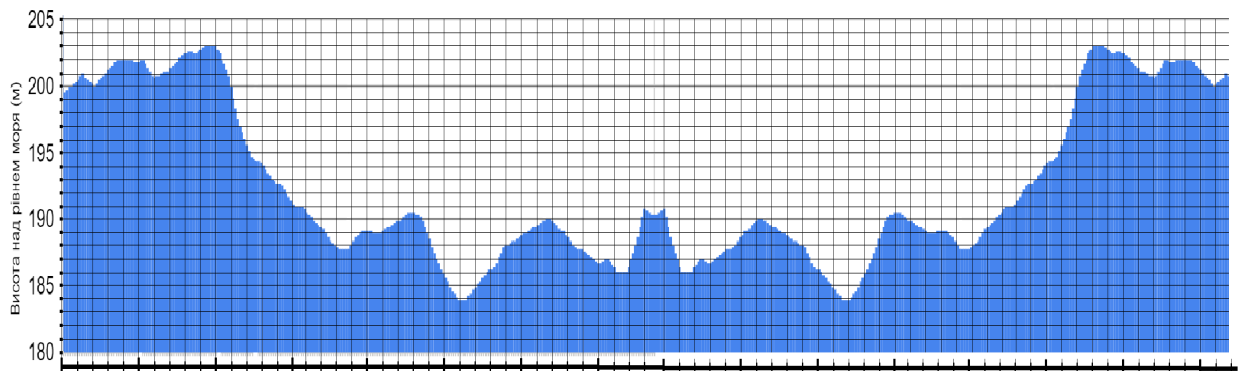
б

Рисунок 2.3 – Маршрут тролейбуса «м. Луцьк – с. Забороль»: *a* – загальний з ділянкою автономного ходу; *б* – ділянка не обладнана контактною мережею [9]

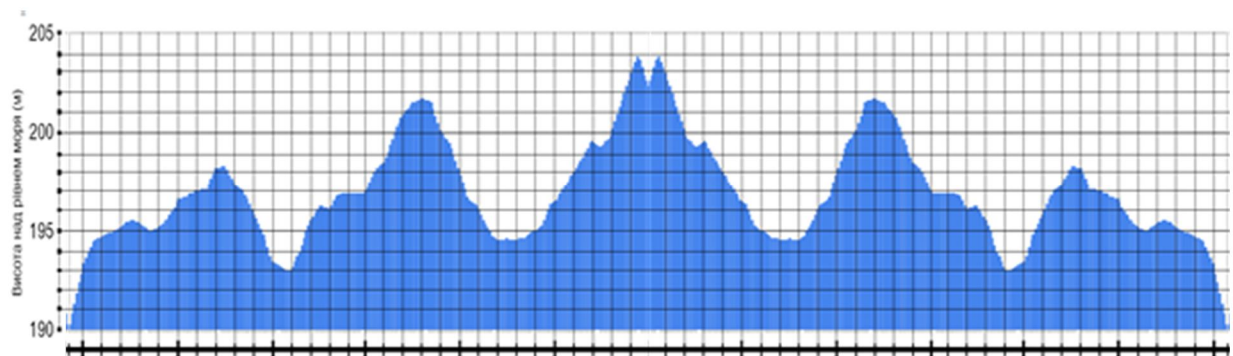
Актуальність реалізації проекту маршруту з автономним ходом обумовлена значною вартістю обладнання та часом зведення тролейбусної контактної мережі з відповідною інфраструктурою.

2.3 Умови подолання тролейбусом профілю ландшафту дороги в умовах автономного ходу на маршруті

Досліджуючи відрізки доріг зазначених маршрутів не обладнаних електромережами за висотами над рівнем моря, розраховуються кути поздовжнього ухилу дорожнього полотна – підйомів–спусків (рис. 2.4) [9, 10].



a



б

Рисунок 2.4 – Профіль ландшафту для дослідження кутів підйому–спуску на ділянках шляху без контактної електромережі: *a* – «м. Луцьк – Гірка Полонка – м. Луцьк»; *б* – «м. Луцьк – Забороль – м. Луцьк»; (Ціна поділки 100 м на відрізок шляху).

Володіючи інформацією про основні сили, що діють на тролейбус під час руху автономного ходу, можливим є розрахунок характеристик тролейбуса, для обґрунтованого вибору двигуна і акумуляторної батареї.

Аналізуючи профіль і протяжність ділянок доріг (рис. 2.4) подальші розрахунки слід проводити за ділянкою першого маршруту (рис. 2.2, 2.4 а).

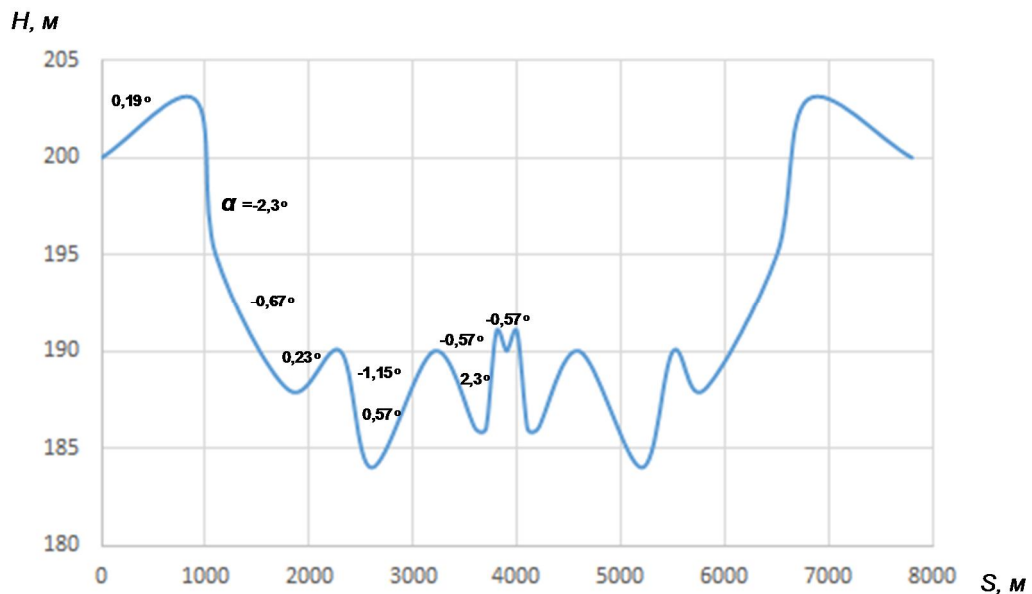


Рисунок 2.5 – Схема до визначення кутів α профілю ландшафту дороги ділянки автономного руху маршруту «м. Луцьк – Гірка Полонка – м. Луцьк»

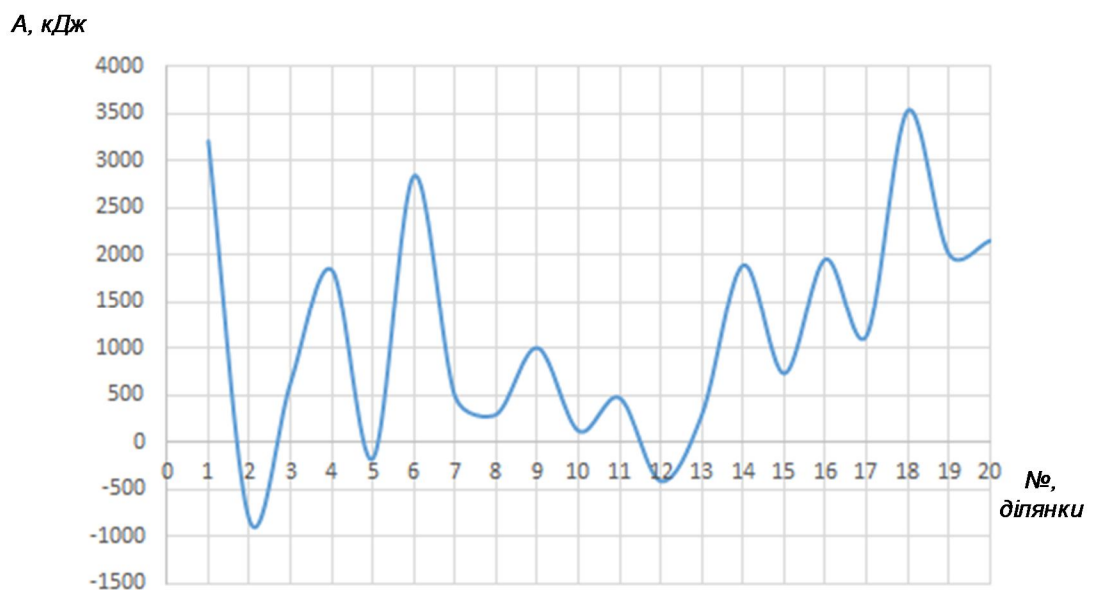


Рисунок 2.6 – Графік роботи сил на визначених переміщеннях ділянок маршруту за рисунком 2.5

Електрична енергія яку потрібно мати у накопичувачах для забезпечення автономного ходу на всій ділянці маршруту протяжністю 7,8 км визначиться як сума робіт на окремих ділянках (рис 2.6) і становитиме $W = \sum A = 23222$ кДж.

3 РОЗРАХУНОК ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОНОМНОГО ХОДУ ТРОЛЕЙБУСА

3.1 Розрахунок і підбір електродвигуна троллейбуса

На троллейбусі Богдан Т70110 встановлений двигун постійного струму ЕД139АУ2, система керування Cegelec TV Progress CDC [7].

Деякі технічні характеристики двигуна [11]:

- потужність – 140 кВт;
- струм – 280 А;
- номінальна частота оборотів двигуна – 1650 об/хв;
- максимальна частота оборотів двигуна – 3540 об/хв;
- номінальна напруга – 550 В;
- крутний момент – 810 Нм;
- ККД – 91 %.

У роботі розглядається тяговий колекторний електродвигун постійного струму для троллейбуса Т70110, який не потребує складної системи керування, недорогий та доступний та підходить до застосування у міських і приміських умовах руху.

Для розрахунку необхідної потужності прийнятого колекторного електродвигуна постійного струму у заданих умовах автономного ходу розглядають рівняння потужності [12–14]:

$$N = N_f + N_h + N_w + N_j, \quad (3.1)$$

де N_f – потужність необхідна на подолання опору кочення, Вт:

$$N_f = P_f \cdot V = f \cdot G \cdot V, \quad (3.2)$$

де P_f – сила опору кочення, Н;

$V = 36 \text{ км/год} = 10 \text{ м/с}$ – прийнята швидкість транспортного засобу;

$f = 0,015$ – коефіцієнт опору коченню (асфальтобетон) [13];

$G = g \cdot M = 9,81 \cdot 18000 = 176580$ Н – вага тролейбуса повної маси,

де $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння [12];

$M = 18000$ кг – повна маса тролейбуса (табл. 2.1);

N_h – потужність необхідна на подолання підйому (спуску), Вт:

$$N_h = P_h \cdot V = G \cdot \sin \alpha \cdot V \quad (3.3)$$

де P_h – сила подолання підйому (спуску), Н;

$\alpha = 2,3^\circ$ – максимальний кут підйому (спуску) – поздовжній ухил дорожнього полотна (рис. 2.5);

N_w – потужність необхідна на подолання опору повітря, Вт:

$$N_w = P_w \cdot V = k_g \cdot F \cdot V^3, \quad (3.4)$$

де P_w – сила подолання опору повітря, Н;

$k_g = 0,4$ – коефіцієнт обтічності кузова тролейбуса [12];

$F = 8,21$ м² – площа лобового опору [12] (за даними табл. 2.1);

N_j – потужність необхідна для розгону чи сповільнення, Вт:

$$N_j = P_j \cdot V = M \cdot j \cdot \delta \cdot V, \quad (3.5)$$

де P_j – сила подолання опору розгону (сповільнення), Н;

j – прискорення тролейбуса, м/с^2 ;

$\delta = 1,54$ – коефіцієнт обертових мас.

Отже за формулами (3.1–3.5) для руху тролейбуса повної маси 18000 кг дорогою з асфальтовим покриттям на автономному ході зі швидкістю до 36 км/год без прискорення $j = 0 \text{ м/с}^2$ з максимальним підйомом дорожнього полотна $\alpha = 2,3^\circ$ необхідна потужність близько 100 кВт:

$$\begin{aligned} N_{j=0}^{\alpha=2,3} &= f \cdot G \cdot V + G \cdot \sin \alpha \cdot V + k_g \cdot F \cdot V^3 + M \cdot j \cdot \delta \cdot V = \\ &= 0,015 \cdot 176580 \cdot 10 + 176580 \cdot \sin 2,3 \cdot 10 + 0,4 \cdot 8,21 \cdot 10^3 = 100,64 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Для розгону тролейбуса повної маси 18000 кг дорогою з асфальтовим покриттям на автономному ході зі швидкістю до 15 км/год з прискоренням $j = 1,05 \text{ м/с}^2$ з максимальним підйомом дорожнього полотна $\alpha = 2,3^\circ$ необхідна потужність до 156 кВт:

$$\begin{aligned} N_{j=1,05}^{\alpha=2,3} &= f \cdot G \cdot V + G \cdot \sin \alpha \cdot V + k_g \cdot F \cdot V^3 + M \cdot j \cdot \delta \cdot V = 0,015 \cdot 176580 \cdot 4 + \\ &+ 176580 \cdot \sin 2,3 \cdot 4 + 0,4 \cdot 8,21 \cdot 4^3 + 18000 \cdot 1,05 \cdot 1,54 \cdot 4 = 155,57 \text{ кВт} \end{aligned}$$

3.2 Розрахунок та підбір тягової акумуляторної батареї

Для подолання тролейбусом частини маршруту без підключення до контактної мережі до 7,8 км необхідно встановити накопичувачі електроенергії.

Як джерела та накопичувачі енергії для живлення тягових силових агрегатів використовують батареї з акумуляторами: свинцево-кислотними; лужними; літій іонними; натрій нікель-хлоридними; нікель-кадмієвими; нікель-металогідридні, а також суперконденсатори та паливні елементи.

Незважаючи на популярність, на даний час, Li-іонних батарей [15] у тому числі і на електромобілях, характеристики літій-іонних акумуляторів залежать від складу компонентів. Також менші значення сили струму таких батарей у порівнянні з типом акумуляторів на основі титанату літію.

Необхідна розрахункова ємність батареї:

$$C'_p = \frac{W}{U \cdot 3600} = \frac{23,222 \cdot 10^6}{550 \cdot 3600} = 11,73 \approx 12 \text{ Агод}, \quad (3.6)$$

Необхідна розрахункова ємність для забезпечення одного розгону протягом $t = 1 \text{ хв} = 0,017 \text{ год}$, з використанням у кінці розгону 30% ємності:

$$C_p = \frac{k_3 \cdot N_{j=1,05}^{\alpha=2,3} \cdot t}{U \cdot k \cdot \eta} = \frac{1,2 \cdot 155570 \cdot 0,017}{550 \cdot 0,3 \cdot 0,91} = 21,12 \text{ Агод}, \quad (3.7)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу ємності (до 20% [16]);

k – коефіцієнт використання ємності (30–70% [16]);

U, η – напруга і ККД електродвигуна.

Видача струму для споживання у постійному режимі:

$$I = 3 \cdot C_p = 3 \cdot 21,12 = 63,36 \text{ А} \quad (3.8)$$

Потужність в постійному режимі:

$$N = U \cdot I = 550 \cdot 63,36 = 34848 \text{ Вт} \approx 35 \text{ кВт} \quad (3.9)$$

За максимальної потужності двигуна, струм та потужність визначаються за формулами аналогічними (3.8–3.9):

$$I = 10 \cdot C_p = 10 \cdot 21,12 = 211,2 \text{ A}$$

$$N = U \cdot I = 550 \cdot 211,2 = 116160 \text{ Bm} = 116,16 \text{ kBm}$$

З розрахунків видно, що струму живлення і потужності батареї з такими параметрами недостатньо.

Тому, для батареї вибирається набір послідовно з'єднаних акумуляторів LTO40Ah-CY 2.3V з ємністю 40 Агод, максимальним струмом 400 А (рис. 3.1) [17].

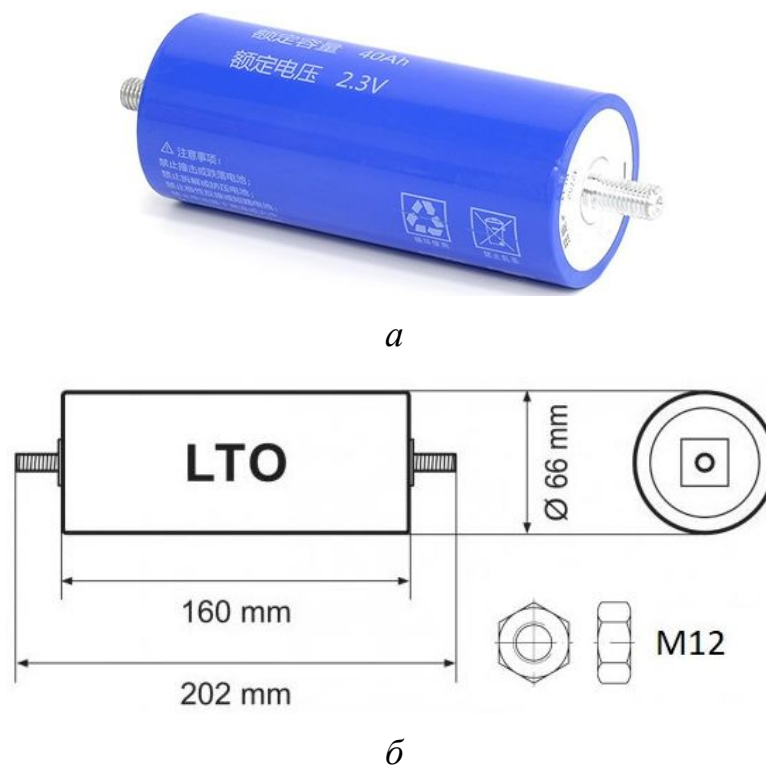


Рисунок 3.1 – Акумулятор на основі титанату літію LTO 2.3V 40AH (Cylindrical): *a* – вигляд акумулятора; *б* – габаритні розміри [17]

Технічні характеристики акумулятора LTO 2.3V 40AH [17]:

- | | |
|--|-------------------|
| - номінальна ємність, Агод | 40 |
| - номінальна напруга, В | 2,3 |
| - внутрішній опір | $\leq 10\text{m}$ |
| - максимальний зарядний (розрядний) струм, А | 10C (400A) |

- максимальна напруга заряджання, В	2,8
- лінійний розряд до напруги, В	2,0
- розряд до напруги відключення, В	1,5
- кількість циклів зарядки–розрядки	30 000
- вага одної ємності, кг	1,25

Необхідна кількість акумуляторів у батареї:

$$m_{LTO} = \frac{U_{\text{дв}}}{U_{LTO}} = \frac{550}{2,3} = 240 \text{ од.}, \quad (3.10)$$

де $U_{\text{дв}}$ – необхідна напруга для живлення двигуна;

U_{LTO} – напруга одного акумулятора.

Загальна маса необхідних акумуляторів LTO у батареї:

$$\sum M_{LTO} = M_{LTO} \cdot m_{LTO} = 1,25 \cdot 240 = 300 \text{ кг}, \quad (3.11)$$

де M_{LTO} – маса одної тягової батареї, кг;

m_{LTO} – кількість акумуляторів, одиниць.

За максимальна потужність визначаються за формулою (3.9):

$$N_{\text{max}} = U \cdot I = 550 \cdot 400 = 220000 \text{ Вт} = 220 \text{ кВт}$$

За розрахунками батарея з акумуляторів LTO 40 Агод забезпечує роботу двигуна тролейбуса в постійному та максимальних режимах навантаження на маршруті автономного ходу без контактної мережі. Недоліком застосування цих акумуляторів, на сьогодні, є їх значна вартість. Так вартість одного акумулятора близько 1500 грн [17].

ВИСНОВКИ

1. Вирішено науково-прикладне завдання поліпшення мобільності руху тролейбусів, шляхом теоретичного обґрунтування можливості використання автономного ходу з визначеними параметрами на прикладі маршрутів передмістя Луцька;

2. Визначено затрати енергії на подолання тролейбусом ділянок шляху на маршруті з автономним ходом. Встановлено, що для подолання шляху вибраної ділянки маршруту протяжністю 7,8 км необхідно затратити 23222 кДж енергії;

3. Визначено тип і характеристики тягової батареї. Для забезпечення умов руху тролейбуса Т70110 на ділянках маршруту без контактної мережі використовується батарея з акумуляторів, виготовлених на основі титанату літію, ємністю 40 Агод.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Как «питается» современный автономный электротранспорт? URL: <https://traffic.od.ua/blogs/1541/1214149>
2. Автоскладальний завод № 1 «ПАТ «АК «Богдан Моторс» URL: <http://busplant.bogdan.ua>
3. ТОВ "БАС МОТОР". 2020. URL: <http://busbogdan.com.ua>
4. Троллейбусы. ВКМ Holding. URL: <https://bkm.by/catalog/trollejbusy/>
5. Ионистор. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ионистор>
6. Суперконденсаторы на транспорте и в электронике: есть ли смысл и перспективы? URL: <https://hype.tech/@boevoy-homyak/superkondensatory-na-transporte-i-v-elektronike-est-li-smysl-i-perspektivy-3m58fgng>
7. Богдан Т701. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Богдан_Т701
8. Т70117 Троллейбус. ТОВ "БАС МОТОР". 2020. URL: <http://busbogdan.com.ua/bus/t701/>
9. Google maps – Google карти. URL: <https://www.google.com.ua/maps>
10. Google Планета Земля. URL: <https://www.google.com/intl/ru/earth>
11. Лущик В.Д. Електричні машини постійного струму з новою системою електромагнітного збудження URL: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/143022/09-Lushik.pdf?sequence=1>
12. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств: Учеб. для вуз. Москва. 1989. 240 с.
13. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория: Учеб. для вуз. Минск. 1986. 208 с.
14. Теорія експлуатаційних властивостей автомобілів Методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів спеціальності «Автомобілі та автомобільне господарство» усіх форм навчання, Луцьк. 2018. 62 с.

15. Литий-ионный_аккумулятор. Преимущества. URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Литий-ионный_аккумулятор
16. Що таке ємність акумулятора? Методика її розрахунку. 220volt. URL:
<https://akumulatory.com/shho-take-yemnist-akumulyatora-metodika-yiyi-rozrahunku-220volt>
17. Lithium Titanate Oxid Battery Cell - LTO 2.3V 40AH (Cyllindrical).
URL: <https://www.ev-power.eu/LTO-technology/Lithium-Titanate-Oxid-Battery-Cell-LTO-2-4V-40AH-Cyllindrical.html>