

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації  
та мехатроніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Адаптація системи монокристалічних сонячних батарей для збільшення автономного ходу тролейбуса  
(тема)

Виконав:  
студент 2 курсу, групи ІТМРТм-21-1

Мальцев Богдан Юрійович

Спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

Керівник доц. кафедри КІТАМ Іванов Л.С.

Допускається до захисту  
Зав. кафедри КІТАМ

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І. Ш.  
(прізвище, ініціали)

2022 р.

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка  
Тип програми Освітньо-професійна  
Освітня програма Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ \_\_\_\_\_  
(підпис)

«24» жовтня 2022 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Мальцеву Богдану Юрійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Адаптація системи монокристалічних сонячних батарей для збільшення автономного ходу тролейбуса

Затверджена наказом по університету від 24 жовтня 2022р. № 1391 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 12.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи

3.1 Площа – 0,025 м<sup>2</sup>;

3.2 Потужність – 5 В;

3.3 Напруга холостого ходу – 0,66 Voc В;

3.4 Максимальна напруга – 0,54 Vmp В;

3.5 Максимальний струм – 9,16 Imp А;

3.6 Струм короткого замикання – 9,64 Isc А;

3.7 ККД модуля – 20,4 %.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз предметної області;

4.3 Дослідження адаптації сонячних монокристалічних систем для тролейбуса;

4.4 Розробка сонячних монокристалічних систем для адаптації застосування її на тролейбусі;

4.5 Проведення експериментальних досліджень;

4.6 Охорона праці;

4.7 Висновки;

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

*5.1 Демонстраційний матеріал у вигляді презентації – 16 арк. ф. А4.*

1. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	27.09.22	Виконано
2	Опис сонячних системи	5.10.22	Виконано
3	Опис автономного ходу тролейбуса	12.10.22	Виконано
4	Аналіз характеристик сонячних систем для адаптації	23.10.22	Виконано
5	Розробка методів адаптації для збільшенню автономного ходу	10.11.22	Виконано
6	Підбір програми тестування	18.11.22	Виконано
7	Проведення експерименту	24.11.22	Виконано
8	Перевірка керівником роботи	01.12.22	
9	Нормоконтроль	05.12.22	
10	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	09.12.22	
11	Подання роботи на рецензію	13.12.22	
12	Подання роботи на підпис зав. кафедри	15.12.22	
13	Подання атестаційної роботи в ЕК	19.12.22	

Дата видачі завдання 24.10.2022 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. кафедри КІТАМ Іванов Л.С.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 86 с., 31 рис., 6 табл., 22 джерел, 1 додаток.

**ТРОЛЕЙБУС, СОНЯЧНА СИСТЕМА, АДАПТАЦІЯ, АВТОНОМНИЙ ХІД.**

Об'єктом роботи – є адаптація сонячних монокристалічних систем.

Метою даної роботи – є адаптація сонячних монокристалічних систем для збільшення автономного ходу троллейбуса.

Предметом роботи – є троллейбус.

Для виконання роботи було використано статистичний метод дослідження.

В ході виконання атестаційної роботи було виконано аналіз існуючих технологій сонячних монокристалічних систем, проведено аналіз конструкцій сонячної системи та розроблено методи адаптації для збільшення автономного ходу троллейбуса.

## **ABSTRACT**

Explanatory note: 86 p., 31 figures, 6 tables, 22 sources, 1 appendix.

**TROLLEYBUS, SOLAR SYSTEM, ADAPTATION, AUTONOMOUS DRIVING.**

The object of the work is the adaptation of solar monocrystalline systems.

The purpose of this work is to adapt solar monocrystalline systems to increase the autonomous travel of the trolleybus.

The subject of the work is a trolleybus.

A statistical research method was used to perform the work.

In the course of the certification work, an analysis of existing technologies of solar monocrystalline systems was performed, an analysis of solar system structures was performed, and adaptation methods were developed to increase the autonomous travel of the trolleybus.

## ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначення.....	8
Вступ .....	9
1 Аналіз предметної області дослідження .....	11
1.1 Характеристика монокристалічних сонячних батарей.....	11
1.2 Етапи розвитку сонячної електроенергетики.....	23
1.3 Система монокристалічних сонячних батарей для електротранспорту.....	28
1.4 Автономний хід у тролейбуса.....	30
1.5 Варіанти встановлення систем сонячних батарей на електротранспорті .....	41
1.6 Висновки аналізу предметної області .....	48
2 Дослідно-аналітичний розділ.....	49
2.1 Обґрунтування необхідності адаптації системи монокристалічних сонячних батарей на міському електротранспорті .....	49
2.2 Інженерно-конструктивні особливості монокристалічних сонячних батареї .....	52
2.3 Вибір та обґрунтування місця встановлення системи монокристалічних сонячних батарей на тролейбусі .....	54
2.4 Конструктивні особливості встановлення систем монокристалічних сонячних батарей на тролейбусі.....	58
2.5 Висновки дослідження предметної області .....	60
3 Проектно-рекомендаційний розділ.....	61
3.1 Розробка сонячних монокристалічних систем для адаптації застосування її на тролейбусі.....	61
3.2 Розрахунок елементів системи для збільшення автономного ходу .....	66

3.3 Інтерфейс тестової програми для перевірки працездатності системи .....	68
3.4 Проведення експерименту для перевірки працездатності системи .....	72
3.5 Безпека та охорона праці працівників при роботі та обслуговуванні сонячних монокристалічних систем для тролейбуса .....	74
3.6 Висновки проекту предметної області .....	79
Висновки .....	80
Перелік джерел посилань .....	81
Додаток А.....	84

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АБ – акумуляторна батарея;  
АКБ – акумуляторна батарея;  
ВАХ – вольт-амперна характеристика;  
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;  
ККД – коефіцієнт корисної дії;  
СБ – сонячна батарея;  
СЕ – сонячний елемент;  
ТАБ – тягова акумуляторна батарея;  
ТБ – тягова акумуляторна батарея;  
ТМП – точка максимальної потужності;  
ТО – технічне обслуговування;  
ФЕП – фотоелектричний перетворювач;  
СІGS – мідь, індій, селен, галій;  
СІS – мідь, індій, селен;  
CSG – Crystalline Silicon on Glass;  
DC – Direct current;  
EVA – етиленвінілацетат;  
MPPT – Maximum power point tracking;  
NMC – Литий-марганцевий никель;  
PWM – Pulse-width modulation;  
TPT – тедлар-поліестер-тедлар.

## ВСТУП

В багатьох країнах світу активно розвивається зелена енергетика. Ведуться дослідження і впроваджуються розробки по використанню альтернативних джерел енергії, в тому числі, енергії сонця.

Сфери застосування сонячних батарей дуже різноманітні. Це портативна електроніка, електромобілі, авіація, енергозабезпечення, енергозабезпечення населених пунктів, дорожнє покриття, використання в космосі, використання в медицині.

Зменшення вартості та розповсюдження сонячних панелей як у промисловому виробництві, так і в побуті стало відправною точкою для перепрошивки громадського транспорту в екологічно чистий вид пересування. Транспорт у майбутньому – це однозначне використання альтернативних джерел енергії задля забезпечення міських перевезень. Громадський транспорт у майбутньому, безперечно, стане повністю зеленим.

Розміщувати сонячні панелі на дахах троллейбусів зручніше, ніж на авто, оскільки площа даху набагато більша. Відповідно вирішується головна проблема – достатня площа для розміщення необхідної кількості сонячних панелей. При такому розкладі сонячні батареї можуть забезпечити енергію не тільки підтримки клімат-контролю в електрокарі, але і для роботи двигуна. Однак на сучасному рівні розвитку технології сонячних панелей вони часто не здатні повністю забезпечити рух. Обов'язкове додаткове заряджання на стаціонарних електростанціях.

На даний момент головне у розвитку цього напрямку – створення батарей із тривалим терміном експлуатації. Одним із актуальних питань є також розширення використання сонячних панелей у розвитку системи громадського

транспорту. Вирішення цих питань дозволить широко використовувати сонячні панелі.

Використання сонячної енергії в тязі дозволить брати енергію сонця для зменшення використовування загального електропостачання.

Метою данної роботи є розробка методу збільшення автономного ходу тролейбуса за допомогою системи монокристалічних сонячних батарей. Для досягнення данної мети потрібно:

- проаналізувати предметну область;
- проаналізувати сучасні системи монокристалічних сонячних батарей;
- розглянути впливи системи монокристалічних сонячних батарей на збільшення автономного ходу тролейбуса;
- розглянути методи установки сонячних систем;
- вибрати рішення поставленої задачі;
- провести статистичні розрахунки для збільшення автономного ходу;
- підібрати програму для тестування параметрів акумуляторної батареї;
- провести експерименти.

Об'єктом роботи є системи монокристалічних сонячних батарей для збільшення автономного ходу тролейбуса.

Предметом роботи – є тролейбус.

Також по даній темі була опублікована научна стаття на тему сонячна батарея. Ефективність використання сонячних батарей для тролейбуса [1].

Атестаційна робота виконується згідно ДСТУ 3008:15 [2] та керуючись методичними вказівками [3].

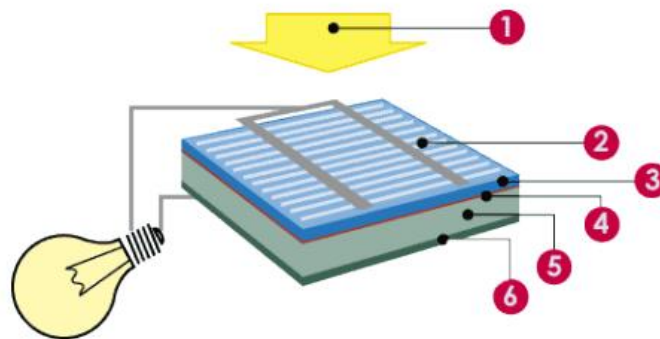
# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Характеристика монокристалічних сонячних батарей

Коли на сонячний елемент падає сонячне світло, матеріал сонячного елемента поглинає частину сонячного світла (фотони). Кожен фотон має малу кількість енергії. Коли фотон поглинається, він ініціює процес звільнення електрона в сонячному елементі. Внаслідок того, що обидві сторони фотоелектричного елемента мають струмовідводи, в ланцюзі виникає струм коли фотон поглинається. Сонячний елемент генерує електрику, яка може бути використана відразу або збережена в акумуляторної батареї.

Поки сонячний елемент освітлюється, процес утворення вільних електронів триває і генерується електрику. Матеріали, з яких робиться елемент – це напівпровідники з особливими властивостями.

Найпростіша конструкція сонячного елемента (СЕ) – приладу для перетворення енергії сонячного випромінювання на основі монокристалічного кремнію показана на (рисунок 1.1) [4].



1 – світло (фотони); 2 – фронтальний контакт; 3 – негативний шар; 4 – шар р-п переходу;

5 – позитивний шар; 6 – задній контакт

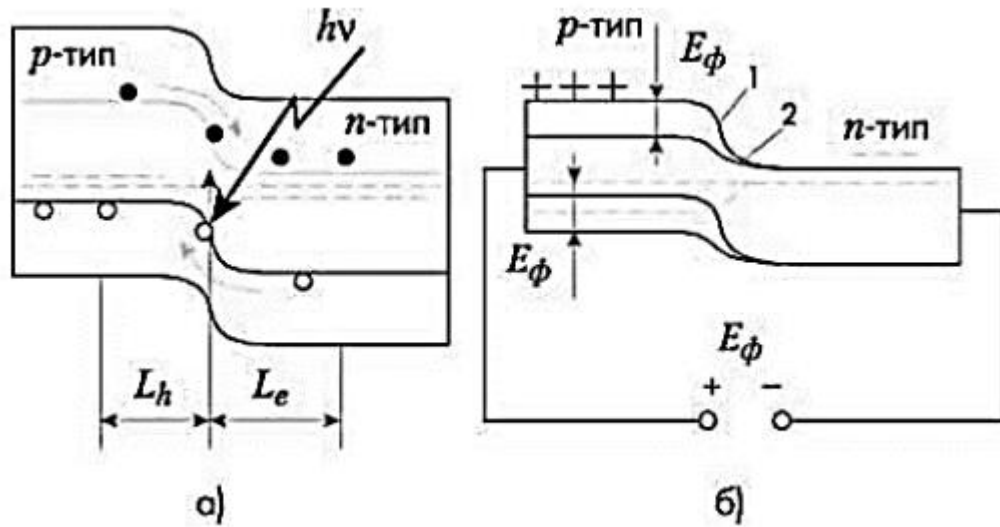
Рисунок 1.1 – Конструкція сонячного елемента

Сонячні елементи (фотоелементи) можуть бути наступних типів: монокристалічні, полікристалічні і аморфні (тонкоплівкові). Різниця між цими типами в тому, як організовані атоми кремнію в кристалі. Різні сонячні елементи мають різний ККД перетворення енергії світла. Моно і полікристалічні елементи мають майже однаковий ККД, який вище, ніж у сонячних елементів, виготовлених з аморфного кремнію.

В останні роки розроблені нові типи матеріалів для сонячних елементів. Наприклад, тонкоплівкові фотоелектричні елементи з мідь-індій-діселеніда і з CdTe (телурид кадмію). Ці сонячні елементи останнім часом також комерційно використовуються. Технології їх виробництва постійно розвиваються, за останнє десятиліття ККД тонкоплівкових елементів виріс приблизно в 2 рази. Однією з останніх технологій сонячних модулів з аморфного кремнію є тандемні сонячні модулі, які мають підвищених ККД.

На малій глибині від поверхні кремнієвої пластини р-типу сформований р-n-перехід з тонким металевим контактом. На тильну сторону пластини нанесений суцільний металевий контакт.

Коли СЕ освітлюється, поглинені фотони генерують нерівноважні електрон-діркові пари. Електрони, які генеруються в р-шарі поблизу р-n-переходу, підходять до р-n-переходу і існуючим в ньому електричним полем виносяться в n-область. Аналогічно і надлишкові дірки, створені в n-шарі, частково переносяться в р-шар (рисунок 1.2,а). В результаті n-шар набуває додатковий негативний заряд, а р-шар – позитивний. Знижується первісна контактна різниця потенціалів між р і n-шарами напівпровідника, і зовнішньому ланцюзі з'являється напруга (рисунок 1.2,б).



а) – в початковий момент освітлення; б) – зміна зонної моделі під дією постійного освітлення і виникнення фотоЕДС

Рисунок 1.2 – Зонна модель розімкнутого р-п-переходу

Величина усталеної фотоЕДС при освітленні переходу випромінюванням постійної інтенсивності описується рівнянням вольт-амперної характеристики сонячного елемента (ВАХ СЕ) (рисунок 1.3) [5].

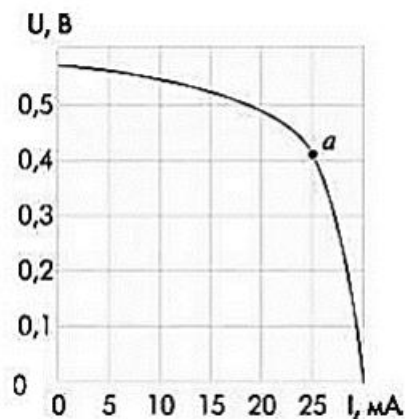


Рисунок 1.3 – Вольт-амперна характеристика сонячного елемента

Рівняння вольт-амперної характеристики (рисунок 1.3) сонячного елемента:

$$U = \left(\frac{kT}{q}\right) * \ln\left(\frac{I_{ph}-I}{I_s}\right) \quad (1.1)$$

де  $I_s$  – струм насичення;

$I_{ph}$  – фотострум.

ВАХ пояснює еквівалентна схема фотоелемента (рисунок 1.5), що включає джерело струму  $I_{ph} = SqN_0Q$ , де  $S$  – площа фотоелемента, а коефіцієнт збирання  $Q$  – безрозмірний множник ( $<1$ ), що показує, яка частка всіх створених світлом електронно-дірочних пар ( $SN_0$ ) збирається рп-переходом. Паралельно джерелу струму включений р-п-перехід, струм через який дорівнює  $I_s [e^{U/kT} - 1]$ . р-п-перехід шунтує навантаження, і при збільшенні напруги струм через нього швидко зростає. У навантаження (опір  $R$ ) відбирається струм  $I$  показано на (рисунок 1.4).

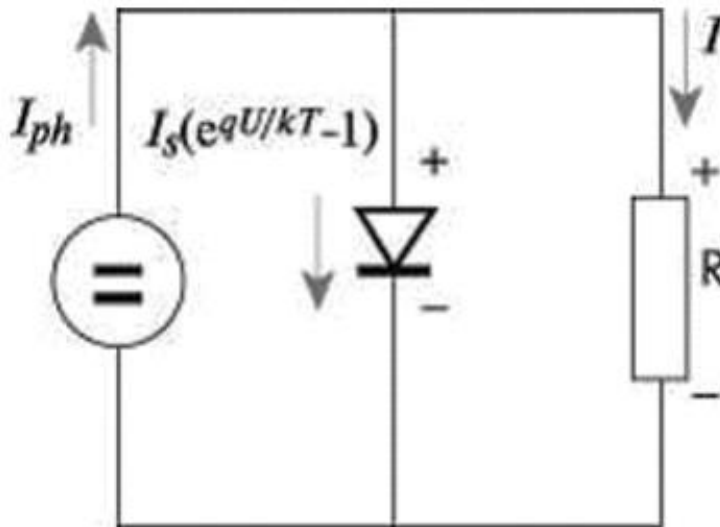


Рисунок 1.4 – Еквівалентна схема фотоелемента

Рівняння ВАХ справедливо і при освітленні фотоелемента світлом довільного спектрального складу, змінюється лише значення фотоструму  $I_{ph}$ . Максимальна потужність відбирається в тому випадку, коли фотоелемент знаходиться в режимі, зазначеному точкою а (рисунок 1.3).

Максимальна потужність, що знімається з одиниці площі, дорівнює:

$$P = I_{ph} * U = I_{кз} * U_{хх} \quad (1.2)$$

де  $x$  – коефіцієнт форми або коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики;

$I_{кз}$  – струм короткого замикання;

$U_{хх}$  – напруга холостого ходу.

Коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики сонячного елемента.

Коефіцієнт заповнення ВАХ сонячного елемента (fill factor FF) – це відношення реальної потужності ( $V_{рmax} \times I_{рmax}$ ) до гіпотетичної потужності ( $V_{oc} \times I_{sc}$ ). Цей коефіцієнт є одним з найголовніших параметрів, за яким можна судити про якість фотоелектричного перетворювача. Типові якісно серійно випускаємі сонячні елементи мають коефіцієнт заповнення ВАХ  $>0.70$ . У аморфних елементів і інших тонкоплівкових фотоелектричних перетворювачів коефіцієнт заповнення ВАХ знаходиться в діапазоні 0.4-0.7.

Коефіцієнт заповнення ВАХ може також використовуватися для визначення опору сонячного елемента показано на (рисунок 1.5).

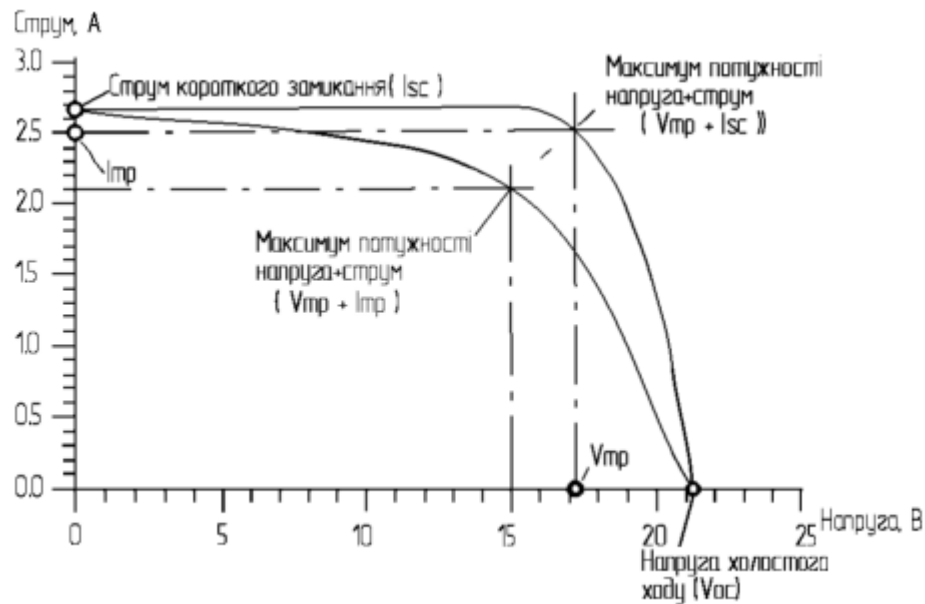


Рисунок 1.5 – Коефіцієнт заповнення ВАХ сонячного модуля

$$\text{Коефіцієнт заповнення ВАХ (FF)} = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

де  $V_{mp}$  = напруга в точці максимальної потужності;

$I_{mp}$  = струм в ТМП;

$V_{oc}$  = напруга холостого ходу;

$I_{sc}$  = струм короткого замикання.

Сонячний модуль може працювати при будь-якій комбінації напруги і струму, розташованим на його вольт-амперної характеристики (ВАХ). Однак, в реальності модуль працює в одній точці в даний час. Ця точка вибирається не модулем, а електричними характеристиками ланцюга, до якої даний модуль (або сонячна батарея) підключений показано на (рисунок 1.6).

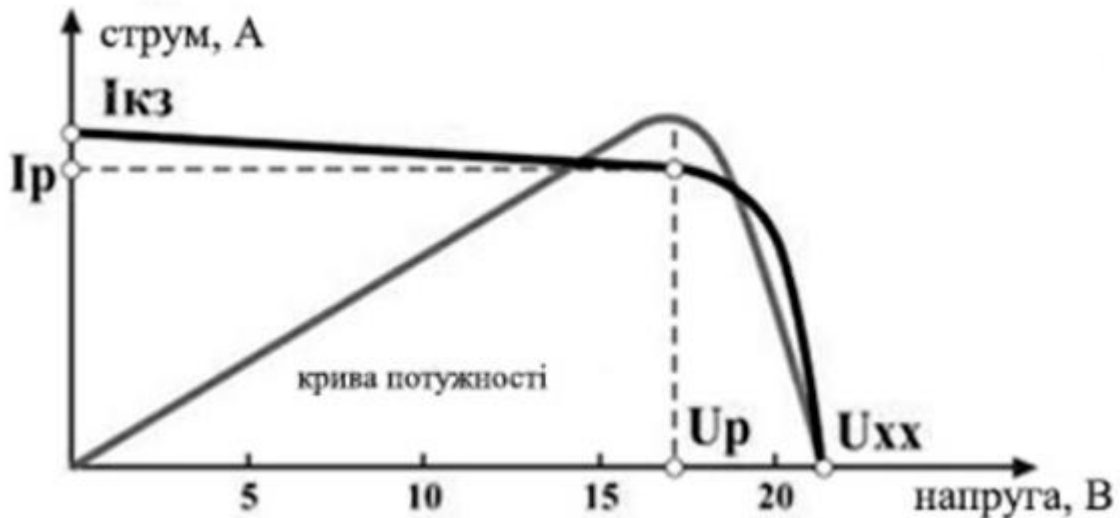


Рисунок 1.6 – Важливі точки вольт-амперно характеристики, які характеризують сонячний модуль

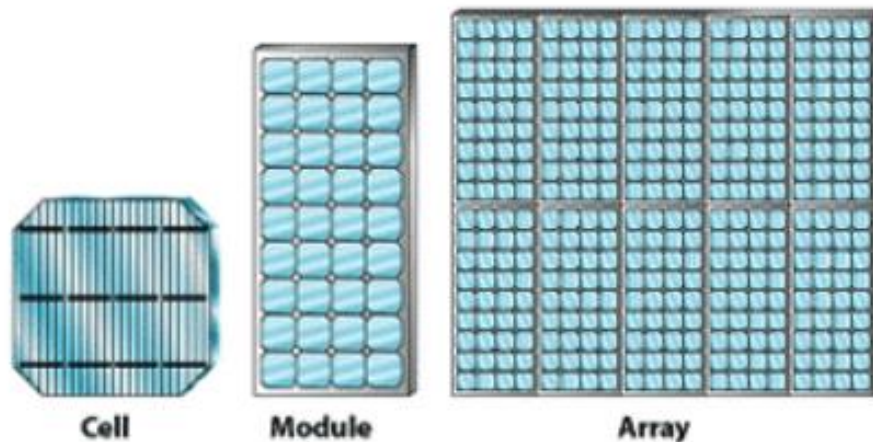
В крайніх точках ( $U_{хх}$ ,  $I_{кз}$ ) ВАХ потужність модуля дорівнює 0. На практиці, система працює при комбінації струму і напруги, коли виробляється достатня потужність. Краще поєднання називається точкою максимальної потужності (ТМП). Відповідні напруга і струм позначаються як  $V_p$  (номінальна напруга) і  $I_p$  (номінальний струм). Саме для цієї точки визначаються номінальна потужність і ККД сонячного модуля. При прямому підключенні сонячного модуля до акумуляторної батареї, модуль працює при напрузі, рівній напрузі акумуляторної батареї в даний момент. У міру заряду АБ її напруга зростає, тому модуль може працювати в діапазоні напруги від 10 до 14,5В для модуля номінальною напругою 12В. Для модулів з номінальною напругою 24В значення напруги потрібно помножити на 2.

Як видно з ВАХ сонячного модуля (рисунок 1.6), виробники намагаються зробити номінальну напругу в максимальній точці рівній 17В. Це зроблено для того, щоб компенсувати втрати напруги в фотоелектричній системі і зберегти можливість повного заряду акумуляторної батареї.

Для того щоб зарядити АБ напругою 12В потрібно довести її напругу до

14,5В, а в реальних умовах напруга сонячних панелей виявиться нижче 17В, по-перше, через нагрів модуля, при нагріванні напруга може знижуватися приблизно на 0,5В, по-друге, існують втрати в з'єднувальних проводах, також, рідко коли рівень освітленості дорівнює  $1000 \text{ Вт/м}^2$ . Все це призводить до зниження напруги на модулі і в дійсності ця напруга виявиться близькою до 14,5В.

Найбільш типові сонячні панелі – це кремнієві фотоелектричні модулі потужністю 15-360 Вт<sub>p</sub> (піковий ват, тобто потужністю максимум в 15-360 Вт при яскравому сонці). Такий сонячний модуль має розмір до 2 м<sup>2</sup>. Сонячні панелі (PV modules) можуть з'єднуватися між собою у сонячні батареї (arrays) для того, щоб отримати більшу потужність (наприклад, 2 модуля по 50 Вт<sub>p</sub>, з'єднаних разом, еквівалентні модулю потужністю 100 Вт<sub>p</sub>) показано на (рисунку 1.7) [6].



Cell – фотоелектричний елемент; Module – сонячна панель (модуль); Array – сонячна батарея (сбірка з декількох сонячних панелей (модулів))

Рисунок 1.7 – Елементи сонячної батареї

Таблиця 1.1 – Зрівняння різних типів сонячних елементів по їх електричним властивостям

Тип елемента	Розмір елемента, мм	Ефективність, %	Потужність, $P_{max}$ , Вт	Напруга холостого ходу, $V_{oc}$ , В	Струм короткого замикання $I_{sc}$ , А
Полікристалічні	156x156	16,40	3,99	0,618	8,27
		16,20	3,94	0,616	8,21
		⋮	⋮	⋮	⋮
		15,00	3,65	0,607	7,77
Монокристалічні	156x156	17,60	4,21	0,624	8,63
		17,40	4,16	0,623	8,57
		⋮	⋮	⋮	⋮
		16,00	3,82	0,613	8,08
Монокристалічні	125x125	17,40	2,59	0,621	5,35
		17,20	2,56	0,619	5,31
		⋮	⋮	⋮	⋮
		16,00	2,38	0,609	5,08

Порівняння тонкоплівкових і кристалічних сонячних фотоелектричних модулів:

– тонкоплівкові модулі з аморфного кремнію. На відміну від кристалічного матеріалу, тут немає структурованого положення атомів. Тому у аморфного кремнію гірше напівпровідникові властивості і, отже, менше ККД перетворення

світла. Однак для виробництва елементів необхідно набагато менше кремнію і він може бути нанесений практично на будь-яку поверхню: скло, метал або інший матеріал. ККД елементів з аморфного кремнію з одним шаром близько 6%. Частка модулів з аморфного кремнію на ринку незначна [7];

– CSG (Crystalline Silicon on Glass) виглядають як модулі з аморфного кремнію, але насправді є кристалічними. Спеціальний технологічний процес дозволяє наносити тонкий шар кристалічного кремнію (близько 2мкм) прямо на скло (тоді як товщина звичайного ФЕП становить 200-300мкм). Контакти впроваджують з використанням лазера і трафаретного друку. Перші фотоелектричні модулі, вироблені за такою технологією, мали ККД близько 7%;

– CdTe модулі (кадмій-телурової). Ця спеціальна тонкоплівкова технологія має великий потенціал для зниження вартості фотоелектричних модулів. ККД модулів досягає 18%. Зміст кадмію в модулі менше, ніж у звичайній пальчикової батарейці, і виробники обіцяють приймати на переробку всі вироблені ними відпрацьовані модулі;

– CIS модулі. Основні інгредієнти CIS модулів: мідь, індій, селен, і іноді галій (тоді елементи позначаються як CIGS). CIS мають найбільший ККД в групі тонкоплівкових ФЕП (до 16-18% в модулі) [8].

У Південній Кореї була розроблена принципово нова технологія тонкоплівкових модулів, що може значно сприяти масовому їх поширенню за рахунок здешевлення і збільшення енергоємності. У нових сонячних елементах присутні 3 кольорових шару на базі наногранул з діоксиду титану. Завдяки кількості шарів нові сонячні елементи можуть збирати видиме світло в трьох найбільш активних довжинах червоної, синій і зеленої. В результаті, сонячний елемент виробляє електроенергії майже в 3 рази більше, ніж звичайні фотоелектричні панелі.

Для створення цих елементів використовувався метод хроматографії і зовсім не використовувався кремній, що робить виробництво недорогим і не

залежних від вичерпних природних ресурсів. Товщина готової плівки складає всього 20 нанометрів, вона здатна виробляти до 30 міліампер електрики з кожного квадратного сантиметра. Її ККД становить близько 17-18%.

Таблиця 1.2 – Порівняння кристалічних та тонкоплівкових сонячних модулів

Технологія	Кристалічний кремній	Тонкоплівкові модулі
1	2	3
Різновиди технології	Монокристалічний кремній (с-Si) Полікристалічний кремній (pc-Si / mc-Si)	Аморфний кремній (a-Si) Телурид кадмію (CdTe) Copper Indium Gallium Selenide (CIG/CIGS) Органічні фотоелементи (OPV/DSC/DYSC)
Відношення напруги в робочій точці до напруги холостого ходу ( $V_{mp} / V_{oc}$ )	80% -85%	72% -78%
Температурні коефіцієнти (низький температурний коефіцієнт краще при роботі з високими температурами навколишнього середовища)	Вище (-0,4-0,5%/градус)	Нижче (-0,1-0,2%/градус)

Продовження таблиці 1.2

Заповнення вольт- амперної характеристики	73% -82%	60% -68%
Конструкція модуля	В рамі з анодованого алюмінію	Без рами, між 2 склами ціна нижче, вага більше на гнучкій основі - легше, дешевше
ККД модуля	13%-20,2%	4%-12%
Сумісність з інверторами	Чим менше температурний коефіцієнт, тим краще. Можна використовувати безтрансформаторні інвертори	Повинні враховуватися такі фактори, як температурний коефіцієнт, відношення $V_{oc}/V_{mp}$ , опір ізоляції і т.п. Зазвичай для тонкоплівкових модулів потрібно використову- вати інвертор з гальванічною розв'язкою
З'єднання постійного струму	Типові	Типові, іноді може знадобитися більше разгалужувачів і запобіжників
Необхідна площа	Приблизно 150 Вт/м <sup>2</sup>	Може знадобитися до 50% більше площі для тієї ж потужності

## 1.2 Етапи розвитку сонячної електроенергетики

На початку 40-х років 19 століття., французьким фізиком, був відкритий ефект перетворення світла в електричний струм. Перші прототипи сонячних панелей із селену були створені італійським фотохіміком, кінець 19 початок 20 століття. Саме тоді, почались більш поглиблена розробка та дослідження в області альтернативної відновлюваної електроенергії з використанням енергії світла від Сонця. Згодом, кінець 40-х років 20 століття, були створені перші робочі сонячні панелі на основі кремнію для отримання електричного струму, а вже наприкінці 50-х, запущені перші супутники з сонячними панелями в якості джерела електричної енергії.

Сонячна панель – це об'єднання фотоелектричних перетворювачів показано на (рисунок 1.8) (фотоелементів) напівпровідникових пристроїв, прямо перетворюючих сонячну енергію в постійний електричний струм [9].

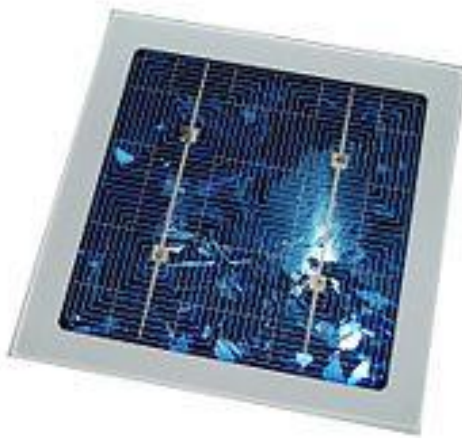


Рисунок 1.8 – Фотоелемент на основі мультикристалу кремнію

Отже, як було зазначено вище, сонячні панелі складаються з напівпровідникових фотоелементів, в свою чергу ці фотоелементи за останні 10 річчя зазнали багато вдосконалень з боку їх дослідження та розробки. За цей

час було винайдено нові хімічні з'єднання напівпровідників, які використовуються у фотоелементах. Ці з'єднання дозволяють підвищити ККД перетворення сонячного світлу в електричний струм, або, якщо достатнього підвищення ККД не спостерігається, то здешевіти процес створення напівпровідникового фотоелементу. Все це відображається у ККД та ціні вже самої сонячної панелі.

Потужність потоку сонячного випромінювання на вході в атмосферу Землі, становить близько  $1\,366\text{ Вт/м}^2$ . У той же час, питома потужність сонячного випромінювання в Україні в дуже хмарну погоду навіть удень може бути менше  $100\text{ Вт/м}^2$ . За допомогою сонячних панелей показаних на (рисунку 1.9) можна перетворити цю енергію в електрику з ефективністю  $9\text{...}38\%$ . При цьому ціна панелі складе близько 1-3 доларів США за Ватт номінальної потужності. Фотоелементи і модулі діляться залежно від типу і бувають: монокристалічні, полікристалічні, аморфні (гнучкі, плівкові), багатошарові.

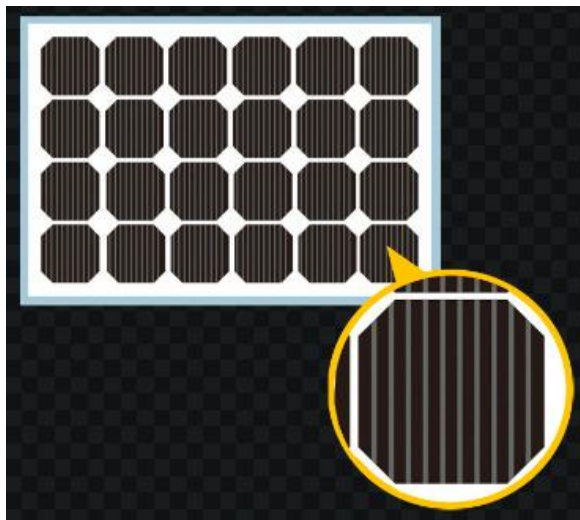


Рисунок 1.9 – Кремнієва монокристалічна сонячна панель

У 2009 році компанія Spectrolab (дочірня фірма Boeing) продемонструвала сонячний елемент з ефективністю  $41,6\%$  у лабораторних умовах, а у реальних до  $39\%$ . У 2011 році каліфорнійська компанія Solar Junction домоглася ККД

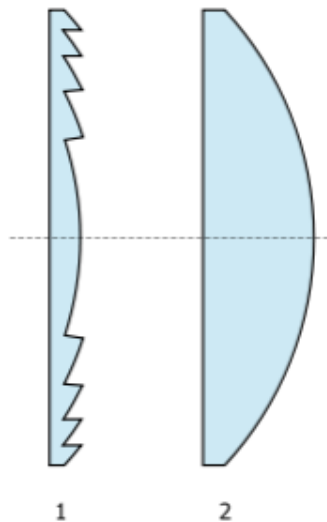
фотоелемента розміром  $5,5 \times 5,5$  мм в 43,5%.

У 2012 році компанія Morgan Solar створила систему Sun Simba з поліметилметакрилату (оргскла), германію та арсеніду галію, об'єднавши концентратор з панеллю, на якій встановлено фотоелемент. ККД системи при нерухомому положенні панелі склав 26-30% (в залежності від пори року і кута, під яким знаходиться Сонце), в два рази перевищивши практичний ККД фотоелементів на основі кристалічного кремнію.

У 2013 році компанія Sharp створила тришаровий фотоелемент розміром  $4 \times 4$  мм на індієвий-галій-арсенідній основі з ККД 44,4%, а група фахівців з Інституту систем сонячної енергії суспільства Фраунгофера, компаній Soitec, CEA-Leti і Берлінського центру імені Гельмгольца створила використовували лінзи Френеля фотоелемент з ККД 44,7%.

Лінза Френеля являє собою оптичну деталь зі складною ступінчастою поверхнею. Лінза Френеля може замінити як сферичну, так і циліндричну лінзи. При цьому ступені такої лінзи можуть бути розмежовані концентричними, спіральними або лінійними канавками. Лінза Френеля, що замінює сферичну лінзу, складається з концентричних кілець, кожне з яких представляє собою ділянку конічної поверхні з криволінійним профілем і є елементом поверхні суцільної лінзи.

Завдяки такій конструкції лінза Френеля показана на (рисунку 1.10) має малу товщину і вагу навіть при великій кутовій апертурі. Перетини кілець у лінзи будуються таким чином, щоб знижувалася її сферична аберація, і промені точкового джерела, поміщеного в фокусі лінзи, після заломлення в кільцях виходять практично паралельним пучком [10].



1 – лінза Френеля; 2 – звичайна лінзи

Рисунок 1.10 – Поперечний перетин

У 2014 році Інститут сонячних енергосистем Фраунгофер створили сонячні батареї, в яких завдяки фокусуванню лінзою світла на дуже маленькому фотоелементі ККД склав 46%.

Перспективним напрямком є створення фотоелементів на основі наноантен, що працюють на безпосередньому випрямленні струмів, що наводяться в антені малих розмірів (близько 200-300 нм) світлом (тобто електромагнітним випромінюванням частоти близько 500 ТГц). Наноантени не вимагають дорогої сировини для виробництва і мають потенційний ККД до 85%.

Особливості будови фотоелементів викликають зниження продуктивності панелей з ростом температури. Зі збільшенням температури фотоелемента на  $1^{\circ}\text{C}$ , його ефективність падає на 0,3...0,5%. Ця залежність нелінійна і підвищення температури елемента на  $10^{\circ}\text{C}$  призводить до зниження ефективності майже в два рази.

Часткове затемнення панелі викликає падіння вихідного напруги за рахунок втрат в неосвітленому елементі, який починає виступати в ролі

паразитного навантаження. Від даного недоліку можна позбутися шляхом установки байпаса на кожен фотоелемент панелі. У хмарну погоду при відсутності прямих сонячних променів вкрай неефективними стають панелі, в яких використовуються лінзи для концентрування випромінювання, так як зникає ефект лінзи.

З робочої характеристики (рисунок 1.6) фотоелектричної панелі видно, що для досягнення найбільшої ефективності потрібно правильно підбирати опір навантаження. Для цього фотоелектричні панелі не підключають безпосередньо до навантаження, а використовують контролер управління фотоелектричними системами, що забезпечує оптимальний режим роботи панелей.

Контролери управління фотоелектричними системами показан на (рисунок 1.11) потрібні для правильного заряду акумуляторних батарей, для захисту від перезаряду та контролю заряд/розряд акумуляторів, також для підключення навантаження [10].

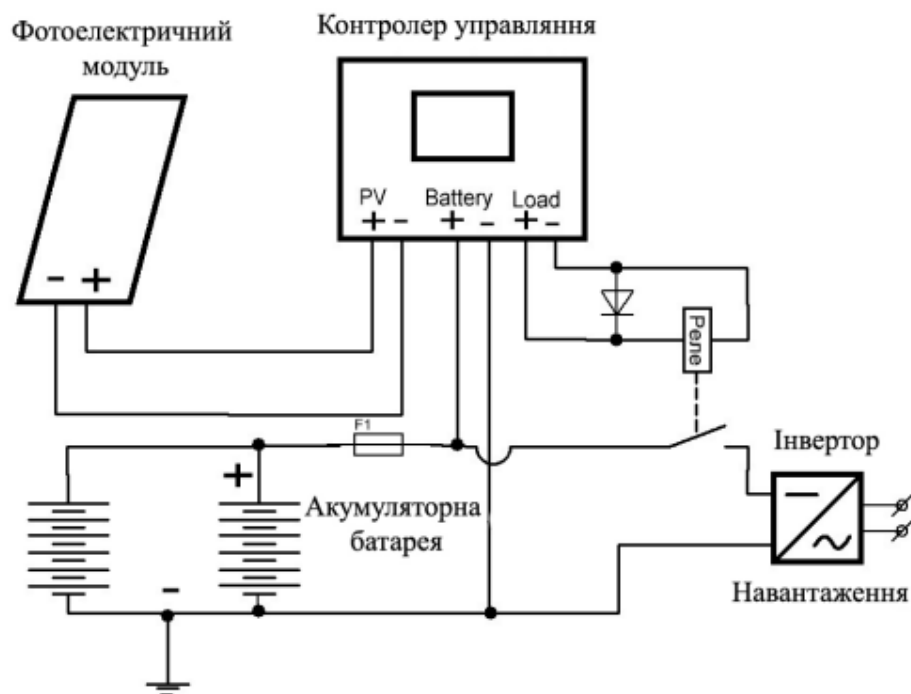


Рисунок 1.11 – Типова схема підключення контролера управління

Сучасні контролери заряду акумуляторів від сонячних батарей поділяються на 2 великі групи PWM (ШИМ) і MPPT (зі стеженням за ТМП). ШИМ контролер найпоширеніший, він забезпечує заряд батареї на 100%, MPPT контролери більш сучасні і тому в них порівняно зі звичайними контролерами більша ціна, це обумовлено більш складною технологією, вони також застосовують ШИМ для регулювання, це такі контролери які мають змогу відстежувати точку максимальної потужності, що дозволяє не тільки заряджати батареї на 100% але і використовувати сонячні панелі з максимальною ефективністю потужності, відповідно і менші строки окупності системи за рахунок використання повної потужності.

### 1.3 Система монокристалічних сонячних батарей для електротранспорту

Конструктивно сонячні панелі транспортних засобів не відрізняються від своїх стаціонарних варіантів. Вироблена енергія використовується як забезпечення роботи двигуна, так електроживлення бортових систем транспорту.

У процесі вироблення енергія принагідно може накопичуватися в акумуляторних батареях з метою подальшого використання. Застосування сонячних елементів дозволяє наростити запас ходу транспортних засобів і при цьому обійтися без підзарядки тягових акумуляторів від традиційної електромережі.

Сонячна панель 60v300w для електротранспорту показана на (рисунок 1.12). Фотоелементи захищені ударостійким гартованим склом з покриттям, що відбиває. Задня сторона панелі виготовлена з полімерів EVA (етиленвінілацетат) та ТРТ (тедлар-поліестер-тедлар). На ній встановлена вологозахисна розподільна коробка [11].

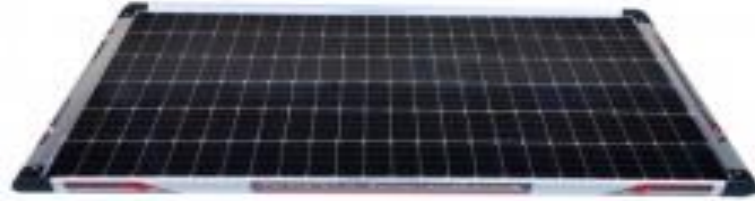


Рисунок 1.12 – Сонячна панель 60v300w для електротранспорту

Комутація фотоелементів виконана таким чином, щоб сонячна батарея видавала напругу 73-74 вольт, яка є оптимальною для заряджання акумуляторних батарей з номінальною напругою 60v. Від сонячної батареї можна безпосередньо заряджати свинцево-кислотні та літій іонні АКБ.

Потужність батареї залежить від рівня її освітлення сонячним світлом. У сонячний день, максимальний рівень вироблення електроенергії становить 300 ват на годину. У хмарну та похмуру погоду вироблення електроенергії зменшується.

У разі встановлення сонячної батареї на дах транспортного засобу, її потрібно надійно закріпити. Для встановлення сонячної батареї замість даху, необхідно виготовити каркас із металевих куточків, або труб і на ньому закріпити сонячну батарею.

Сонячна панель водонепроникна. Доповнивши сонячну батарею пластиковими шторами або панелями з боків та ззаду, відкритий транспорт можна перетворити на закритий фургончик. Сонячну панель можна встановлювати на різний вантажний та пасажирський електротранспорт.

Сонячного дня, від цієї сонячної панелі, повністю розряджена акумуляторна батарея 60v40Ah зарядиться приблизно за 8 годин. Таким чином, при поїздках із зупинками (наприклад на поле, на дачу, на рибалку, а через кілька годин назад), сонячна батарея, може повністю або значною мірою підзарядити акумулятори. З сонячною панеллю, зарядка від мережі, може не знадобитися взагалі. Все залежить від кількості поїздок, віддалених відстаней, потужності електроприводу та акумуляторної батареї.

#### 1.4 Автономний хід у троллейбуса

Під системою автономного ходу розуміється установка в троллейбус певного типу накопичувачів енергії (акумуляторів або суперконденсаторів), за допомогою яких певну відстань може проїжджати без підключення до контактної мережі, тобто автономно.

Обладнання троллейбусів автономним ходом дозволяє здійснювати об'їзд знеструмлених ділянок маршруту, а також продовження маршрутів у місцевості де відсутня контактна мережа, що наближає троллейбус до характеристик електробуса. Крім того, основним перевагою троллейбусів з автономним ходом над електробусами є можливість здійснювати зарядження батареї під час руху під контактною мережею, що дозволяє уникнути простоїв рухомого складу.

ТОВ ПОЛІТЕХНОСЕРВІС у 2019 році розроблено та освоєно виробництво батарейних блоків з елементів Li-ion батареї (хімія NMC) нового покоління високої щільності з вагою менше 8 кг на 1 кВт/год.

Дана розробка передбачає можливість виробляти блоки батарей автономного ходу різної потужності з можливістю адаптувати їх розміри під можливість розміщення в троллейбусі або електробусі.

На троллейбус встановлюються батарейні блоки, з елементами життєвого циклу розряду-заряду яких понад 8 000, загальною потужністю 46-66 kW/h.

Батарейні блоки оснащуються сучасною автоматикою керування зарядом та розрядом батарей, аналізуючи струми споживання, напругу, температуру та інші показники стану батарей з можливістю виведення інформації на ПК або планшет.

Використання зарядного пристрою батареї автономного ходу дає можливість здійснювати заряджання блоків батарей у динаміці під час руху троллейбуса від контактної мережі (напруга від 600 V) та від мережі змінного напруження 380 V AC [12].

Громадський транспорт Європи зараз активно переходить на електричну тягу. Такий процес відбувається вже не вперше у 1920-40-ті роки у Європі також був значний інтерес до електротранспорту, і в першу чергу до троллейбусного транспорту. Проте переживши значне піднесення, троллейбусний транспорт, починаючи з 1950-х років, почав переживати різкий спад. Тролейбусне сполучення продовжувало розвиватися лише в СРСР та ще кількох країнах соціалістичного табору, наприклад у Чехословаччині, Румунії, Болгарії. Навіть частина країн соціалістичного табору вважала троллейбус неактуальним видом транспорту та закривало вже збудовані системи, як-от Польща та Східна Німеччина.

Щодо країн старої Європи, то тут троллейбус зберіг свої позиції лише в деяких країнах, наприклад, у Швейцарії. Щодо цієї країни, то скринька відкривається просто: у цій країні були значні енергоресурси за рахунок ГЕС в епоху Другої Світової тут переобладнали з установкою електронагрівачів паровози у своєрідні електропаровози.

Отже, починаючи з 1950-х років одним із основних видів міського транспорту в Європі стали автобуси. Вони були дешевшими за троллейбуси, та й бензин і дизельне паливо спочатку було не дуже вже й дорогим. На шкідливі викиди тривалий час не звертали уваги.

Інтерес до електричного транспорту знову виник у зв'язку з підвищенням ціни бензину і дизельного палива, і у зв'язку з екологічними проблемами, особливо у великих містах. У старій Європі переважно говорять про перехід до класичних електробусів, тобто. транспорту, що живиться виключно від заряду акумуляторів. У інших країнах, де збереглися лінії класичного тролейбуса, як варіант розглядають часткові тролейбуси, тобто. тролейбуси з автономним ходом акумуляторів. Частковими їх називають оскільки вони лише частини траси харчуються від контактної мережі.

Щодо нашої країни, то, як кажуть дані Міністерства інфраструктури України, кількість тролейбусів у нашій країні порівняно з 1991 роком зменшилася більш ніж удвічі. Приклад таких міст як Вінниця чи Житомир, де збереглася велика кількість рогатих одиничний. Наприклад, у Львові кількість тролейбусів з 1991 по 2019 роки скоротилася вчетверо.

Насамперед, це нульові шкідливі викиди в атмосферу. По друге значно більша надійність приводу транспортного засобу, а також вища ремонтпридатність. Є й економічний чинник, при гальмуванні автобусу втрачає накопичену кінетичну енергію марно, вона витрачається на нагрівання гальмівних колодок. Тролейбус може при гальмуванні повертати електричну енергію в мережу за рахунок рекуперації, коли його двигун переходить в генераторний режим і перетворює накопичену кінетичну енергію в електричну.

Програє тролейбус автобусу через те, що він прив'язаний до контактної мережі. Ця контактна мережа разом з кабельними лініями і тяговими підстанціями вимагає дуже значних інвестицій як у будівництво так і обслуговування. Саме тому будівництво тролейбусної інфраструктури за низького пасажиропотоку та малої кількості рейсів економічно не вигідне. Саме тому радянські економісти зараховували тролейбус до масових видів транспорту, що створюється за наявності великих пасажиропотоків.

Отже, фактично єдиною перевагою автобуса перед троллейбусом є його мобільність, крім самої дороги йому і не потрібно ніякої іншої інфраструктури.

Розберемо детальніше переваги троллейбуса показаного на (рисунок 1.13) перед автобусом за надійністю та ремонтпридатністю. Згадаймо, що двигун внутрішнього згоряння, як дизельний, так і бензиновий, це дуже складна механічна система з поршневою групою, шатунами, колінчастим валом і тощо. У регулюванні швидкості руху автобуса бере участь також механічна система коробки передач. Усі ці механізми з часом зношуються. Зокрема, знос циліндрів і поршнів та поява значних зазорів веде до падіння тяги та збільшення споживання палива.



Рисунок 1.13 – Вінницький троллейбус з автономним ходом

Що ж до троллейбуса, то електродвигун у сенсі механіки є відносно простим, особливо сучасним асинхронним двигуном. Фактично, з погляду механіки, зношуються лише підшипники кочення. Швидкість руху троллейбуса регулюється лише за рахунок електричної системи керування тяговим

електродвигуном. Трансмісія також дуже проста, карданний вал, основний та колісні редуктори. Ось, власне і вся механіка приводу.

Двигун внутрішнього згоряння, а також сучасна автоматична коробка передач потребує свого ремонту спеціалізованого високоточного обладнання. Встановлення такого обладнання в умовах підприємства, що експлуатує, економічно не вигідне.

Щодо тягових електродвигунів тролейбусів, то фактично всі тролейбусні депо України освоїли їхній капітальний ремонт власними силами. Також не становить великих труднощів та ремонт тролейбусних редукторів. Хоча сучасні системи керування тяговим електроприводом досить складні, проте вони мають високий рівень надійності та, як правило, мають систему внутрішньої самодіагностики. Більш того, більшість несправностей виявляється за допомогою універсального обладнання тестерів та осцилографів. Як правило, кількох кваліфікованих електроніків достатньо для того, щоб обслуговувати десятки тролейбусів.

Підбивши підсумки можемо сказати наступне, життя автобуса фактично визначається терміном життя його двигуна внутрішнього згоряння та автоматичної коробки передач – це дуже дорогі компоненти автобуса, остаточний вихід з ладу яких роблять відновлення автобуса нерентабельним. Термін життя тролейбуса визначається швидше терміном життя кузова, всі елементи електроприводу, як правило, не так проблематично замінити, а їх одночасний вихід з ладу малоймовірний. Саме тому термін життя тролейбусів і в Україні, і за кордоном значно вищий, ніж у автобусів.

Якщо говорити про класичний електробус із статичною зарядкою вночі в депо, то він одночасно поєднує у собі всі переваги автобуса та тролейбуса. Він, як і тролейбус, може за рахунок рекуперації використати накопичену кінетичну енергію – у цьому випадку вона піде на заряд акумуляторів.

Врахуємо ще той факт, що електрика в нічний час дешевша, ніж удень, і побачимо, що незважаючи на ціну, значно вищу, ніж у автобуса, електробус зі статичною зарядкою може бути рентабельним.

Однак, поширення такого виду транспорту стримує один фактор – це поєднання маси та заряду акумуляторів. Величина заряду на одиницю маси акумуляторів є фізичною константою, яка залежить від матеріалів акумулятора. Виходить, що більший заряд, то більша і маса акумуляторів. Збільшення маси рухомого складу небажане, тому пробіг класичних електробусів обмежений, більшість сучасних моделей не перевищує 200 кілометрів. А такої величини, як правило, недостатньо для роботи на маршрутах упродовж дня.

Вирішити цю проблему дозволяють електробуси з динамічним зарядженням акумуляторів. Динамічна зарядка займає значно менше часу, хоча вимагає значно більших струмів зарядження та спеціальної зарядної інфраструктури. Як така інфраструктура в містах, де вже працює класичний тролейбус, може служити його контактна мережа.

Отже, при високій мобільності електробус з динамічною підзарядкою або тролейбус із значним автономним ходом показан на (рисунку 1.14) стає вельми економічно та екологічно виграним варіантом для міст з існуючою тролейбусною інфраструктурою. Такий вид транспорту ефективний і в містах, де є інша інфраструктура електротранспорту, наприклад трамвайна, з тяговими електропідстанціями. Таким чином, наприклад, організували експериментальну тролейбусну лінію в Празі на частині маршруту влаштували контактну мережу для зарядження акумуляторів тролейбуса, на решті маршруту тролейбус здатний їхати від заряду цих акумуляторів. Саму контактну мережу тролейбуса запитали від тягової електропідстанції трамваю [13].



Рисунок 1.14 – Тролейбуси з автономним ходом Богдан Т70117 [14]

Тепер трохи про вартість самої техніки та витрати на її володіння. Як правило, звичайний тролейбус приблизно в півтора раза дорожчий за автобус. Цей фактор пов'язаний швидше не з їхньою конструктивною складністю, а з тим, що виробництво автобусів є більш серійним, ніж тролейбусів. Тут накладається той чинник, що технологія надійної системи управління тяговим електроприводом – досить витратний процес. І справа тут швидше не в силовій схемотехніці та вартості потужних транзисторів, а в розробці спеціального програмного забезпечення для мікроконтролерів, які керують роботою системи. Розробка софту для таких систем вимагає як знань електричних процесів у системі приводу, так і глибоких специфічних знань у програмуванні. Оскільки є значна конкуренція на ринку виробництва систем керування тяговим електроприводом, саме інтелектуальна складова значно підвищує вартість таких

систем. Якщо виробництво троллейбусів і електробусів стане більш масовим, то знизиться і собівартість системи управління [14].

Якщо говорити про троллейбуси з акумуляторами, то аналізуючи ціни на вітчизняні та зарубіжні моделі, вони приблизно в півтора рази дорожчі за звичайні, тобто. приблизно два рази дорожче за звичайні дизельні автобуси їх вартість збільшується пропорційно величині автономного ходу.

Якщо говорити про класичні електробуси зі статичною зарядкою, то в Україні поки що виготовлено єдиний екземпляр такої техніки – це львівський електробус Електрон Е191, який місто купило майже за 10 млн. гривень, тобто воно більш ніж у два з половиною рази дорожче за звичайний дизельний автобус.

З погляду володіння та експлуатації відзначити і ще один важливий фактор – тягові акумулятори здатні витримати лише певну кількість циклів заряду та розряду. Це дуже значно підвищує вартість володіння такою технікою в порівнянні зі звичайними троллейбусами, оскільки сучасні акумулятори великої ємності, як і раніше, дуже дорогі. Зі збільшенням числа електротранспорту, обладнаного такими акумуляторними батареями, виникне проблема з утилізацією. Троллейбуси з автономним ходом з'явилися відносно нещодавно, тому ще немає можливості точно оцінити економічні фактори, пов'язані зі зносом акумуляторів та їхньою утилізацією. Однак, не забуватимемо, що у автобусів з двигунами внутрішнього згорання витрата палива зростає зі зносом поршневої групи та циліндрів. Ремонт ДВЗ із розточуванням циліндрів – це теж дуже недешевий процес.

Завдяки застосуванню літій-іонної батареї троллейбус може долати до 70 км без контактної мережі. Потім при русі троллейбуса під контактною мережею протягом одного, двох годин батарея повністю заряджається і транспортний засіб може подолати ще таке ж відстань.

Застосування тягової літій-іонної батареї, дозволяє розширити можливості вже існуючих троллейбусних ліній у містах, оскільки, до маршрутів троллейбусів

можна включати заїзди до нових житлових мікрорайонів, передмістя та при цьому не тягти туди нову контактну мережу з усією інфраструктурою, а це суттєво економити міські бюджети.

Тягові акумуляторні батареї для електробусів.

Електробус – відносно новий вид міського транспорту для нашої країни. Електробус – це автономне безрейкове механічне транспортне засіб, призначене для перевезення пасажирів, рухоме за допомогою тягового електроприводу, електрична енергія для якого запасується і зберігається на борту в накопичувачі. Як накопичувач і одночасно джерела електроенергії для роботи електробуса, використовують тягову літій-іонну акумуляторну батарею великої місткості, яку мають у своєму розпорядженні на крыші, під кузовом, у задньому відсіку, і тощо.

За принципом конструювання і застосовується обладнання, електробус багато в чому схожий на троллейбус, а в загальній концепції на електромобіль (якщо не брати до уваги розмір, і потужність електроприводу).

З точки зору застосування АКБ, для електробуса потрібна тягова батарея з набагато більшим запасом енергії, ніж для забезпечення автономного ходу троллейбуса. Це пов'язано з необхідністю забезпечити рух електробуса за маршрутом протяжністю 250-300 км на одному заряді АКБ. Так само, як і для батарей автономного ходу троллейбуса, в електробусах використовують літій-іонні акумуляторні батареї з катодом на основі фосфату заліза ( $\text{LiFePO}_4$  або літій-залізо фосфатні АКБ). Саме цей тип АКБ вважається найбільш безпечним, екологічним, довговічним та менш токсичним при утилізації.

Переваги застосування тягових літій-іонних акумуляторних батарей для електротранспорту.

На загальну думку фахівців, застосування на міському транспорті тягових літій-іонних акумуляторних батарей має такі переваги:

– мінімальний рівень шуму та вібрації при русі;

- підвищена маневреність (за рахунок відсутності контактної мережі);
- екологічна чистота;
- зниження витрат на енергоносії;
- істотне зниження експлуатаційних витрат на ТО та ремонт.

Досвід нашої країни, досвід європейських країн, країн ближнього зарубіжжя та Китаю показує, що такі транспортні засоби можуть успішно використовуватись як підвоз транспорту від міст-спутників до станцій метро мегаполісів, а також у режимах внутрішньоміських перевезень пасажирів [15].

Перший іоністор, тобто. конденсатор із подвійним шаром на вугільних електродах був розроблений та запатентований у 1957 році в США компанією General Electric. На той момент ще не була до кінця зрозуміла фізична суть процесу накопичення значної енергії в іоністорах, було зроблено припущення, що енергія накопичується за рахунок пір на електродах, що призводить до утворення виключно високої здатності накопичення заряду.

Дослідження іоністорів продовжили компанії Standard Oil of Ohio, Cleveland (SOHIO), а також корпорації NEC і Panasonic. Остання назвала свій продукт Золотий конденсатор. Такі конденсатори мали відносно високий внутрішній опір, що обмежує віддачу енергії, та застосовувалися в ланцюгах живлення енергозалежної пам'яті (SRAM).

У СРСР були розроблені іоністори КІ1-1 і вони мали ємність від 0,1 до 50 Ф залежно від типорозміру.

Перші іоністори з малим внутрішнім опором для застосування у потужних схемах були розроблені фірмою PRI у 1982 році. На ринку ці іоністори з'явилися під назвою PRI Ultracapacitor.

Незважаючи на високу ціну, суперконденсатори на відміну від акумуляторів, навіть найсучасніших, не погіршують своїх електричних властивостей навіть після величезної кількості циклів зарядки та розрядки

(експерименти проводилися зі 100 тисячами циклів зарядки та розрядки, які не призводили до погіршення електричних властивостей із накопичення енергії).

Іоністори або суперконденсатори всерйоз розглядаються як джерело енергії для живлення тролейбусів з автономним ходом з кінця 1990-х років. Ряд компаній проводили дослідження та побудували транспортні засоби-прототипи, які запасують електричну енергію в іоністорах. В Україні дослідженнями цього питання (на жаль, теоретичними) займаються у Харківському національному автомобіледорожному університеті.

Електробус із харчуванням від іоністорів на початку 2010-х років проходив випробування у Болгарії. Спільно з китайцями над створенням та запуском у серійне виробництво електробуса на іоністорах займаються у Білорусі. З травня 2017 року у Мінську працюють перші білоруські електробуси Білкомунмаш Е433 Vitovt Max Electro на іоністорах. Електробуси заряджаються на трьох зарядних станціях, які розташовані в кінцевих точках маршрутів. Заряджання струмом 500 ампер триває 5-8 хвилин. Порожній електробус на одному заряді проїжджає 20 км. Іоністори виробляє ТОВ Ченду Сіньджу Шовковий Шлях Розвиток у китайсько-білоруському промисловому парку Великий камінь. Цей досвід підказує, що накопичення енергії в іоністор замість акумуляторів можливе і для тролейбусів з автономним ходом.

Отже, зробимо невеликі висновки. Використання тролейбусів з автономним ходом у містах, які вже мають тролейбусні системи з контактними мережами, дає можливість значно розширити мережу маршрутів, оскільки курсування тролейбусів з автономним ходом буде економічно вигідним там, де будувати контактну мережу з тяговими підстанціями буде недоцільним. Тролейбуси зі значним автономним ходом (понад 20 кілометрів), зможуть охопити електротранспортом приміські селища та села: такий транспорт уже впроваджується в околицях столиці Молдови Кишинєва і це при тому, що Молдова навіть бідніша за Україну.

На користь тролейбусів з автономним ходом грає їхня висока економічність, висока надійність і ремонтпридатність, порівняно з традиційними автобусами з двигунами внутрішнього згоряння. Нові технології, наприклад впровадження іоністорів замість акумуляторів, може значно підвищити термін служби джерела живлення для автономного ходу.

Однак, на жаль, влада міст України все ще віддає перевагу закупівлі міських дизельних автобусів. Так вчинили, наприклад, Львів та Івано-Франківськ, які мають досить розвинені тролейбусні системи, які могли б зробити ставку на тролейбуси з автономним ходом. Сподіватимемося, що ставлення до електричного транспорту в містах України таки зміниться і ми найближчим часом побачимо значне збільшення виробництва тролейбусів з автономним ходом в Україні. Виробництво такого транспорту, до речі, вже освоєне всіма українськими виробниками тролейбусів.

### 1.5 Варіанти встановлення систем сонячних батарей на електротранспорті

На даху тролейбуса встановлено два постаменти з електроустаткуванням (рисунок 1.15).

На передньому постаменті, що знаходиться в районі середніх дверей, змонтовані струмоприймачі та вузли гідравлічного штангоуловлювача (при встановленні на тролейбусі гідравлічного штангоуловлювача).

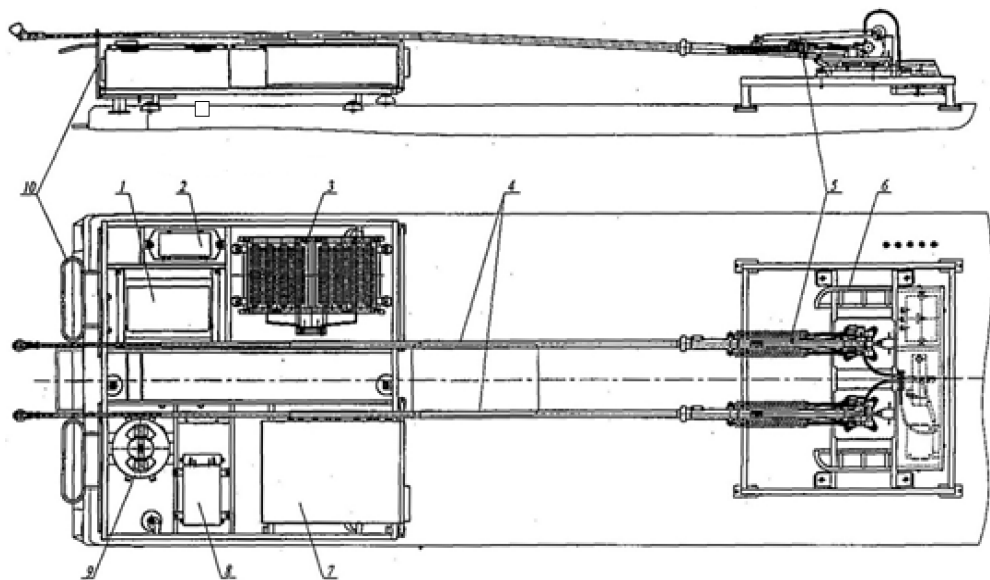
На задньому постаменті змонтовані блоки гальмівних резисторів БТР-51, транзисторний тяговий перетворювач ПТАД-202М-180, автоматичний вимикач швидкодіючий ВБ-7-250/6, реактори перешкодо-тиску ПЧ-22А, комплект статичного перетворювача. Електричні апарати захищені від атмосферних опадів кожухами. Вентиляція резисторів природна, потоком зустрічного повітря через жалюзі у кожусі.

На даху також розміщені вводи проводів, обмежувач ходу штанг та

обмежувач струмоприймачів.

На малюнку зображено статичний перетворювач ППТ820/28-160 та його демпфер, але на їхньому місці можуть встановлюватись інші статичні перетворювачі, передбачені договором на постачання тролейбусів.

Найчастіше на електротранспорті зустрічаються сонячні панелі, встановлені на дах. Чому вибрано саме це місце встановлення? Та тут все просто виходить: ефективна віддача і швидка зарядка автомобільного накопичувача. Додатково, для цього дійства потрібен модуль сонячних елементів, площа якого дорівнює приблизно одному м<sup>2</sup>. За підсумками, у розпорядженні водія виявляється ціла мобільна електростанція, завдання якої не дати вашій акумуляторній батареї зачахнути.



1 – статичний перетворювач; 2 – демпфер статичного перетворювача; 3 – гальмівні резистори; 4 – струмоприймачі; 5 – гідравлічний штангоуловлювач; 6 – обмежувач струмоприймачів; 7 – тяговий перетворювач; 8 – швидкодіючий вимикач; 9 – реактор перешкододавлення; 10 – обмежувач ходу штанг.

Рисунок 1.15 – Електрообладнання на даху

Подібні установки користуються підвищеним попитом у місцях, що знаходяться на великій відстані від цивілізації. Є навіть випадки, коли після встановлення сонячних батарей з'являлася можливість демонтувати генератор. Його повноцінно замінював належним чином підібраний фотомодуль. Тут не можна не відзначити і зниження навантаження на силовий агрегат і скорочення паливної витрати. Однак такі рішення не є повсюдно поширеними, адже для цього потрібне дороге обладнання та постійна сонячна погода.

Вертикальна установка сонячних панелей потребує унікального обладнання через круті схили бортових сонячних панелей. Їх складніше встановити, ніж сонячні батареї, які розташовані на даху які лежать рівно. Міцне кріплення має важливе значення для мінімізації зміщення, пошкодження та нещасних випадків, які загрожують життю, оскільки бортові системи борються із силою тяжіння, щоб залишатися у вертикальному положенні.

Багато кремнієвих пластин складають сучасні сонячні панелі. Ці пластини збирають сонячні промені та використовують їх для виробництва електроенергії. Енергія, яку виробляють сонячні панелі, називається постійним струмом (DC), і вона накопичується в батареях. Щоб перетворити (інвертувати) живлення постійного струму на змінний (змінний), це живлення постійного струму має проходити через інвертор. Акумулятор працює від струму змінного струму.

Як правило, вони невибагливі в обслуговуванні, що дає змогу насолоджуватися перевагами принаймні два десятиліття, перш ніж потребуватиме заміни. Однак, вдавшись до кількох простих заходів, ви зможете переконатися, що вони продовжуватимуть працювати так само безперебійно, як і тоді, коли ви їх придбали.

З точки зору прибирання, бортові сонячні панелі легше обслуговувати, ніж сонячні панелі, встановлені на даху. Сміття, сніг та інші форми скупчення майже ніколи не є проблемою, оскільки дощ змиває будь-який бруд, а сила тяжіння не

дає листю та іншому сміття накопичуватися. Завдяки цьому прибирання стає менш клопітним.

Крім того, вертикальні пристрої легше виявити, і для перевірки їх стану не потрібно підніматися на високі дахи. Бортові панелі забезпечують кращий візуальний доступ до будь-яких робіт з чищення або технічного обслуговування, які необхідно виконати.

Однак, якщо трапиться поломка або несправність, бортові панелі важче замінити або усунути несправності, ніж на даху.

Залежно від того, де ви проживаєте, бортові сонячні панелі виробляють менше електроенергії, ніж сонячні панелі, встановлені на даху та на землі. Сонячні панелі, встановлені на борту, виробляють більше електроенергії взимку, ніж влітку. Це пов'язано з нижчим розташуванням сонця на небі, що дозволяє більшій кількості прямих сонячних променів потрапляти на стінні панелі під кутом.

Оскільки влітку сонце вище в небі, сонячні панелі, встановлені на даху, виробляють більше енергії, ніж сонячні панелі, встановлені на борту. В результаті цього протягом дня більше прямого сонячного світла потрапляє на злегка нахилені сонячні панелі. Чим далі ви від екватора, тим більшу користь принесуть бортові системи. У холодні зимові місяці сонце знаходиться нижче на небі.

На ринку можна знайти і сонячні панелі скромних габаритів, призначені для встановлення в салоні транспортного засобу. Вони не підходять для забезпечення енергією штатного акумулятора, тут сенс в іншому, знімати з нього надлишок навантаження. На таких компактних пристроях лежить відповідальність за запит телевізора, приймача тощо.

Сонячні панелі, що складаються показана на (рисунку 1.16). Панелі, що складаються, можна возити з собою в багажному відділенні і розкласти їх при необхідності для підключення до АКБ. Цілком реально встановити варіацію з

декількома компактними геліомодулями, які для досягнення потрібної вихідної потужності потрібно поєднати між собою.



Рисунок 1.16 – Складні сонячні панелі

Майже всі сучасні сонячні батареї, що пропонуються на ринку, можуть запропонувати пару варіантів підключення:

- безпосередньо до накопичувача;
- за допомогою прикурювача.

Варіанти підключення сонячних батарей.

Підключення 12 вольтових сонячних батарей показано на (рисунок 1.17):

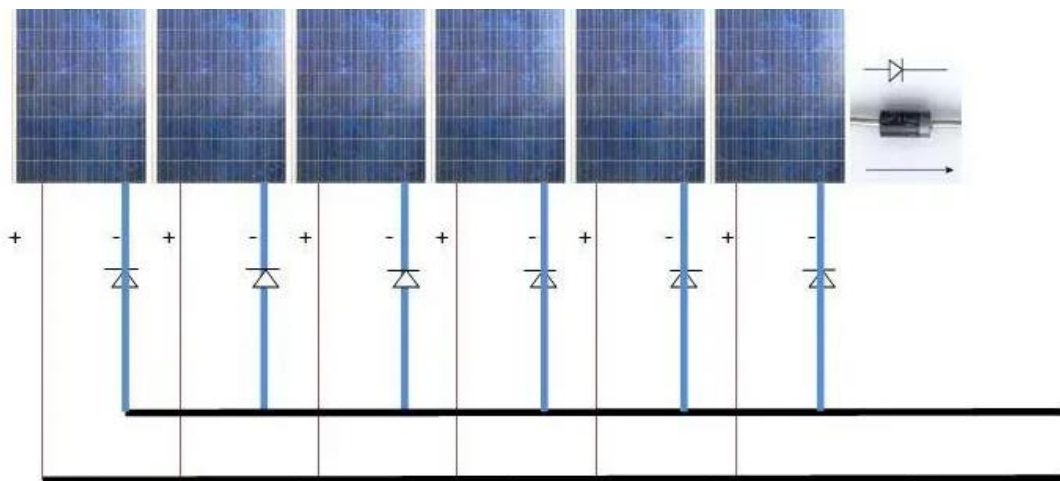


Рисунок 1.17 – Схема підключення 12 вольтових сонячних батарей

Дріт від сонячних батарей краще використовувати 2 кв/мм до 100 Ватт, 2.5 Кв/мм до 150 Ватт, 3 кв/мм 200 Ватт і тощо.

Дріти до яких підключаємо сонячні батареї вибираємо з розрахунку довжини дроту від усіх СБ до контролера.

На шість сонячних батарей по 4 А \*6 = 24 А, перетин дроту має бути мінімум 6 кв/мм, найкращим варіантом 12 кв/мм.

Плюси такої системи: максимальний струм, дешевше виконання н, широка застосованість такого підключення, безліч приладів розраховане на живлення саме 12 Вольт.

Мінус: дорогі інвертори з чистим синусом.

Підключення 24 вольтових сонячних батарей показано на (рисунок 1.18):

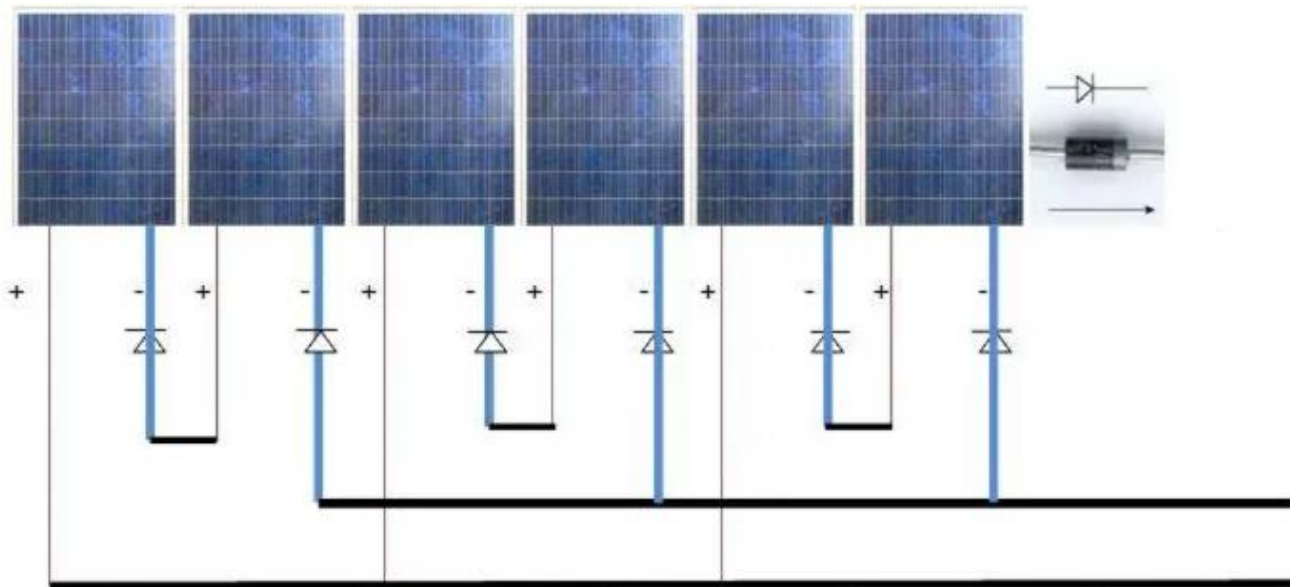


Рисунок 1.18 – Схема підключення 24 вольтових сонячних батарей

На виході з'єднавши 2 послідовно ми отримуємо підвищену напругу струм буде дорівнює найслабшій з двох СБ.

Дріт від сонячних батарей краще використовувати 2 кв/мм до 150 Ватт, 2.5 Кв/мм до 250 Ватт, 3 кв/мм 350 Ватт і тощо.

Дріти до яких підключаємо сонячні батареї вибираємо з розрахунку довжини дроту від усіх СБ до контролера.

На три пари сонячних батарей по  $4 \text{ А} * 3 = 12 \text{ А}$ , перетин дроту має бути мінімум  $4 \text{ кв/мм}$ , найкращим варіантом  $8 \text{ кв/мм}$ .

Плюси: дешеві інвертори, дешевше обходяться дроти для сполучення СБ та контролера.

Мінус: не можна підключати різні панелі в парі, щоб не було просадки по струму. Панелі розраховані саме на цю напругу, надто громіздкі, для нормальної зарядки двох АКБ послідовно підключених на  $180 - 200 \text{ А}$ . Складнощі у правильному підключенні.

Підключення 48 вольтових сонячних батарей показано на (рисунок 1.19):

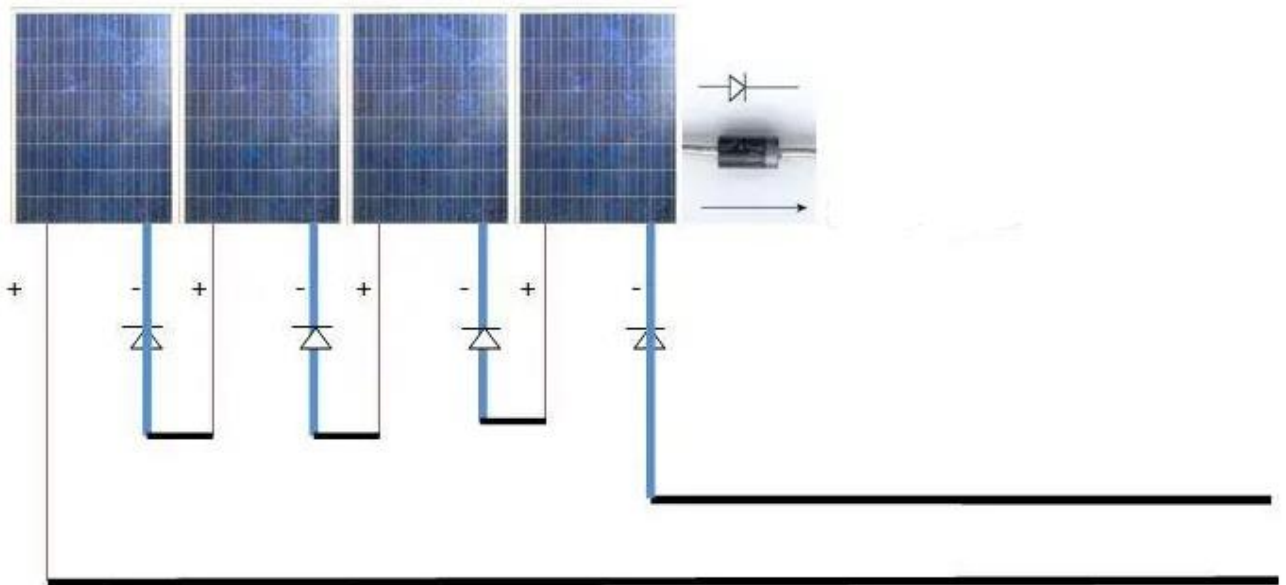


Рисунок 1.19 – Схема підключення 48 вольтових сонячних батарей

На виході з'єднавши 4 послідовно ми отримуємо підвищену напругу струм буде дорівнює найслабшій СБ.

Дріт від сонячних батарей краще використовувати  $3 \text{ кв/мм}$  до  $400 \text{ Ватт}$ .

Дріти до яких підключаємо сонячні батареї вибираємо з розрахунку довжини дроту від усіх СБ до контролера.

На чотири сонячні батареї по  $4\text{А} \cdot 1 = 4\text{А}$  , перетин дроту має бути мінімум 3 кв/мм, найкращим варіантом 6 кв/мм.

Плюси: товщина дротів.

Мінуси: дорогий контролер заряду, дорогі СБ, дорогі АКБ. Складнощі в монтажі якщо збирати систему одному, потрібно підвищений контроль напруги, встановлення систем захисту.

## 1.6 Висновки аналізу предметної області

В даному розділі був проведений аналіз характеристик сонячних систем, варіанти встановлення систем сонячних батарей на електротранспорті поняття автономний хід.

## 2 ДОСЛІДНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Обґрунтування необхідності адаптації системи монокристалічних сонячних батарей на міський електротранспорт

Тролейбуси – це дорожні електричні транспортні засоби, що живляться від підвісної двополюсної тягової мережі постійного струму. Тягова мережа поділена на ділянки електропостачання. Живлення окремих ділянок здійснюється силовими проводами (так званими фідерами) від тягової підстанції (МС). Перетворення змінного струму на постійний відбувається на тяговій підстанції. Напруга знижена, підстанції зазвичай живляться від електричних мереж з напругою лише на рівні від 6 до 35 кВ. Номінальна напруга постійного струму становить 600 або 725 В. Через падіння напруги номінальна вихідна напруга на 10% перевищує вхідну напругу автомобіля, тобто 660 або 825 В.

Особливістю системи тягового електропостачання є змінність навантаження, як у тривалому, і у короткочасному масштабі. У довгостроковому плані це пов'язано з різною частотою транспортних маршрутів у різний час доби, а також у певний час тижня чи року. Протягом дня буває два піки трафіку: ранковий та денний. Щотижня завантаженість доріг, як правило, вища у робочі дні і нижча у вихідні дні. Щорічно протягом навчального року можна більше користуватися громадським транспортом, аніж під час канікул. Однак із цих правил можуть бути винятки. Тенденція до різниці між годинами пік та рештою дня тепер помітна. Крім того, у туристичних містах (тобто прибережних містах) попит на громадський транспорт може бути високим і у святкові дні. Вплив погодних умов на споживання енергії є значним, і при низьких температурах споживання енергії на опалення може навіть перевищувати потребу в тязі. Саме тому взимку спостерігається помітне збільшення енергоспоживання. В даний час зростання енергоспоживання також спостерігається влітку через все ширше

використання обладнання для кондиціонування повітря. У короткостроковому масштабі мінливість навантаження пов'язані з виникненням заторів на дорогах. Особливо це помітно на тролейбусному транспорті, який чутливий до збоїв у русі. Короткочасні затори та інші перешкоди можуть, наприклад, викликати моменти повної відсутності енергії (всі автомобілі стоять одночасно) та підвищене споживання енергії, спричинене запуском груп транспортних засобів. В результаті навантаження на систему електропостачання має випадковий характер. Це створює особливі умови для взаємодії з фотоелектричною системою електропостачання, генерація енергії якої також має випадковий характер.

За останні роки вартість сонячних фотоелектричних панелей зменшилась у кілька разів показано на (рисунку 2.1). Знижується вартість комплектуючих для сонячної енергосистеми. Низька вартість сонячних батарей, а також збільшується вартість на енергоносії (в т.ч. і на електроенергію від мережі) робить покупку та встановлення сонячних фотоелектричних батарей стає все більш привабливою.

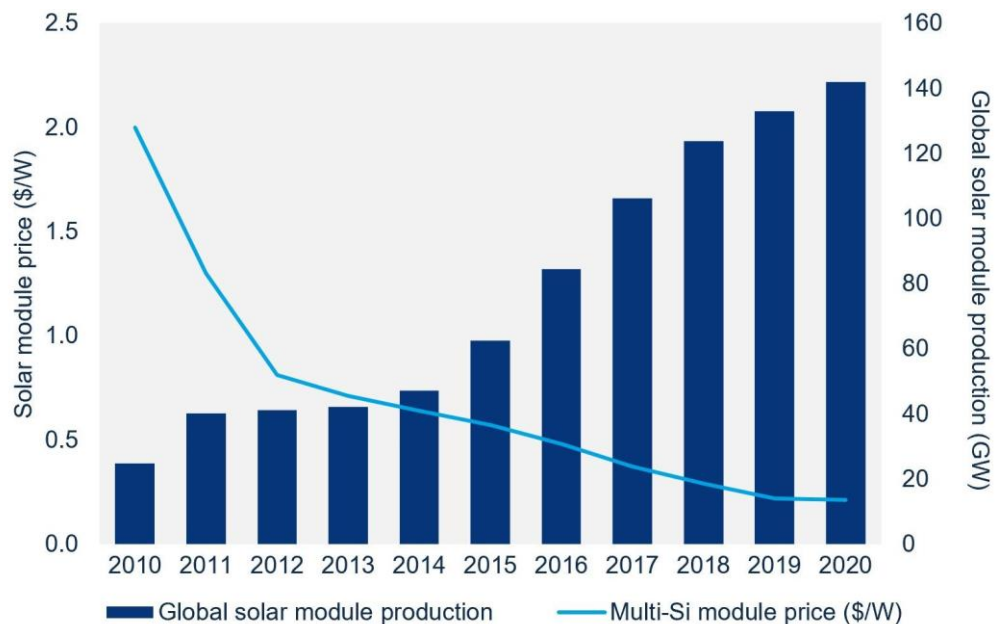


Рисунок 2.1 – Вартість сонячних модулів [16]

Вартість сонячних батарей, що знижується показано на (рисунок 2.2), робить їх не тільки способом використовуватися екологічно чистою електроенергією, але і хорошим вкладенням грошей. Ця електроенергія замінює енергію, яку інакше транспорт спожив би від мережі. Тобто. сонячна батарея постійно виробляє позитивний потік грошей, який забезпечує повернення (повний чи частковий) вкладень для її купівлі.

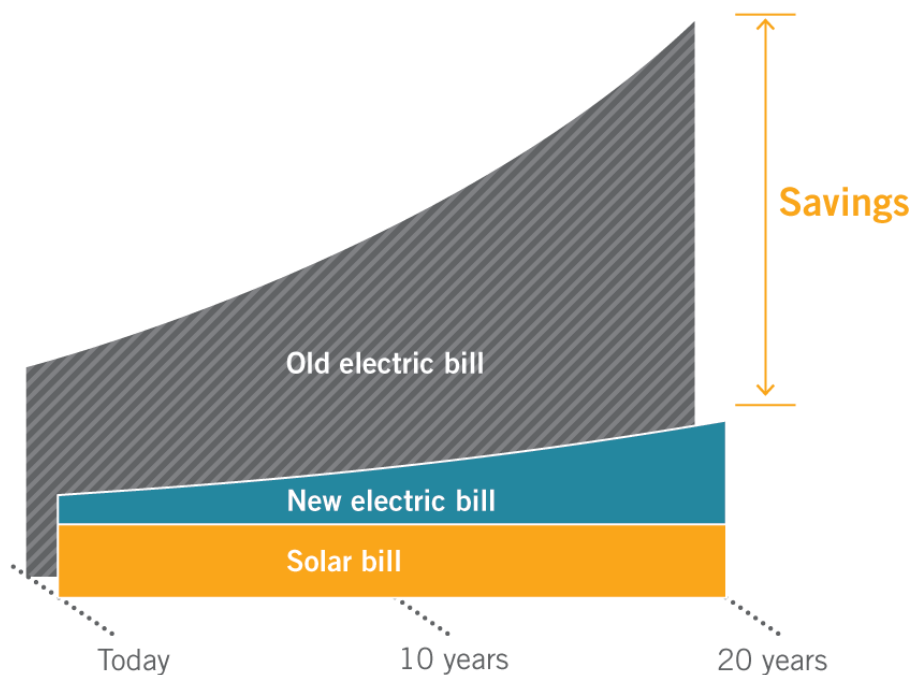


Рисунок 2.2 – Графік збереженої електроенергії [17]

Коли ми розглядаємо реальну вартість електроенергії, ми маємо дивитися ширше, ніж просто на ціну кВт\*год. від центральних мереж. Традиційне паливо має реальний вплив на довкілля, здоров'я нашого суспільства та економіку. Існує ціна забруднення навколишнього середовища від спалювання палива, а також при видобуванні, переробці та транспортуванні палива. Це забруднення впливає на здоров'я нашого суспільства та екологію. Електрична енергія, отримана при спалюванні вугілля або природного газу, ніколи не зможе перевищити кількість

енергії, витрачену на видобуток, транспортування та переробку вугілля або природного газу. На відміну від традиційних джерел, фотоелектричні сонячні батареї виробляють чисту енергію протягом десятків років, при цьому енергетична окупність настає через 3 і менше років показано на (рисунок 2.3) і це справжнє диво фотоелектричної технології.

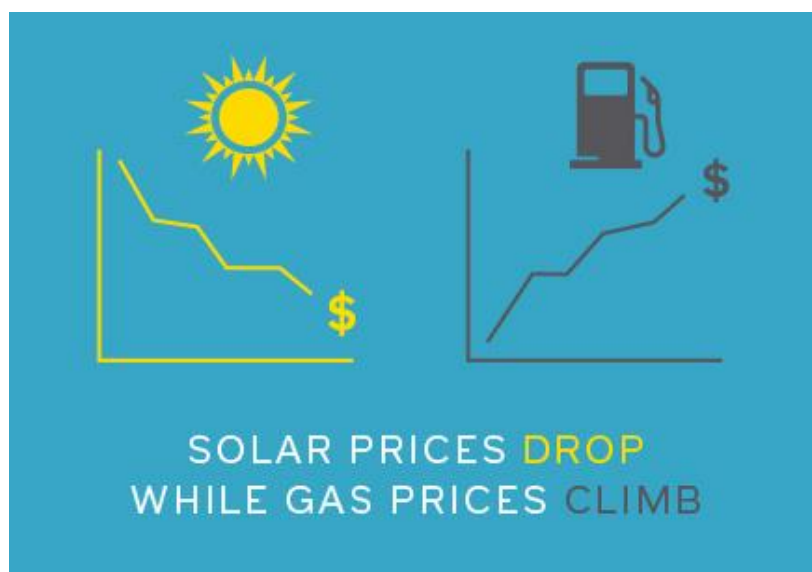


Рисунок 2.3 – Ціна на сонячну енергію падає, тоді як нафти зростає [18]

## 2.2 Інженерно-конструктивні особливості монокристалічних сонячних батарей

Для виробництва монокристалічних кремнієвих сонячних елементів використовують очищений кремній. Після того як очищений монокристал твердне, його поділяють на супер тонкі пластини, товщиною до 300 мкм.

Готові пластини з'єднують тонкою сіткою з електродів у батареї. Сонячні панелі з таких елементів мають вигляд силіконових стільників, або осередків, з'єднаних в одну структуру. Такі батареї мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД) – до 20 %. Процес їхнього виготовлення технологічно складний і дорогий.

Середня площа, що її займає система у 1 кВт на базі монокристалічних

панелей, становить 7 м<sup>2</sup>. Сфери застосування найрізноманітніші, від міні котеджів і туристичних комплектів до мегаватних станцій. Найчастіше застосовується в проектах зі встановленою потужністю до 10 кВт.

Традиційно монокристалічні модулі вставлені в алюмінієву рамку і закриті протиударним склом. Колір монокристалічних фото-елементів темно-синій або чорний. Вигляд такої панелі показано на (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Панель із монокристалічних кремнієвих сонячних елементів

Основною особливістю монокристалічних батарей є те, що вони мають набагато більшу ефективність порівняно з полікристалічними. Монокристалічне обладнання потрібно розміщувати на обмеженій площі. Однак вартість монокристалічних батарей показано на (рисунок 2.5) є набагато вищою за вартість полікристалічних – це відомо практично кожному.



Рисунок 2.5 – Сонячна батарея з монокристалічного кремнію [19]

Якщо звертати увагу на зовнішній вигляд сонячних батарей, то ви одразу зауважите, що монокристалічні батареї мають більш однорідний колір, оскільки кристал базується на одному зерні. Також у них заокруглені кути. Полікристалічні зазвичай мають квадратну форму та досить неоднорідну структуру, оскільки використовують кристали різних розмірів та форм з додатковими домішками. Для тонкоплівкових батарей є характерним використання тонких куль кремнію, який напилюють на скло або фольгу у вакуумних умовах.

Основним показником, на який обов'язково необхідно звернути увагу, є ефективність їхньої роботи. У монокристалічних батареях цей показник становить 23 %, його досягнуто саме завдяки високому рівню очищення кремнію. КПД полікристалічних батарей – 18 %, оскільки вони мають різні домішки, тому зменшується робоча площа батареї. Найнижчий показник мають тонкоплівкові моделі: це пов'язано із розміром панелей.

### 2.3 Вибір та обґрунтування місця встановлення системи монокристалічних сонячних батарей на тролейбусі

Кількість енергії, що виробляється, значною мірою залежить від місця встановлення та дотримання технології монтажу.

Необхідно врахувати ступінь освітленості, особливості об'єкта та низку інших факторів. Розглянемо кожен із них:

– затіненість. Якщо основну частину часу сонячні батареї будуть у тіні, їхня продуктивність буде мінімальною. У цьому випадку так і не вдасться виправдати вкладені в їхню покупку кошти;

– орієнтація фотоелементів. При виборі спрямованості важливо зважити на географічне розташування – так, якщо об'єкт розташований у північній півкулі, лицьову (робочу) частину батареї орієнтують на південь;

– нахил, формули розрахунку складні, спрощено можна сказати так: кут нахилу дорівнює географічній широті. Для підвищення продуктивності сонячних батарей необхідна сезонна корекція кута нахилу:  $+12^\circ$  влітку,  $-12^\circ$  – взимку.

Таблиця 2.1 – Втрати вироблення сонячних панелей в залежності від кута нахилу сонця до панелі

Кут падіння сонячних променів	Втрати (%)
Мертва зона – більш ніж $50^\circ$	100
Зона від $45^\circ$ до $50^\circ$	38,5
Зона від $40^\circ$ до $45^\circ$	23,5
Зона від $35^\circ$ до $40^\circ$	16,5
Зона від $30^\circ$ до $35^\circ$	12,5
Зона від $25^\circ$ до $30^\circ$	9,5
Зона від $20^\circ$ до $25^\circ$	6,8
Зона від $15^\circ$ до $20^\circ$	4,7
Зона від $10^\circ$ до $15^\circ$	2,5
Зона від $5^\circ$ до $10^\circ$	0,9
Зона від $0^\circ$ до $5^\circ$	0,2

Доступність регламентного обслуговування. Хоча сонячні батареї не містять рухомих елементів, поверхня панелей з часом забруднюється і потребує очищення від пилу, листя, що впало, снігу – взимку. Слід заздалегідь подбати про доступність цієї процедури.

Навантажувальна спроможність покрівлі. Маса сонячних батарей, залежно від площі, може перевищувати 100 кг. Таким чином, щоб унеможливити її руйнування через підвищене навантаження, треба точно розрахувати міцність.

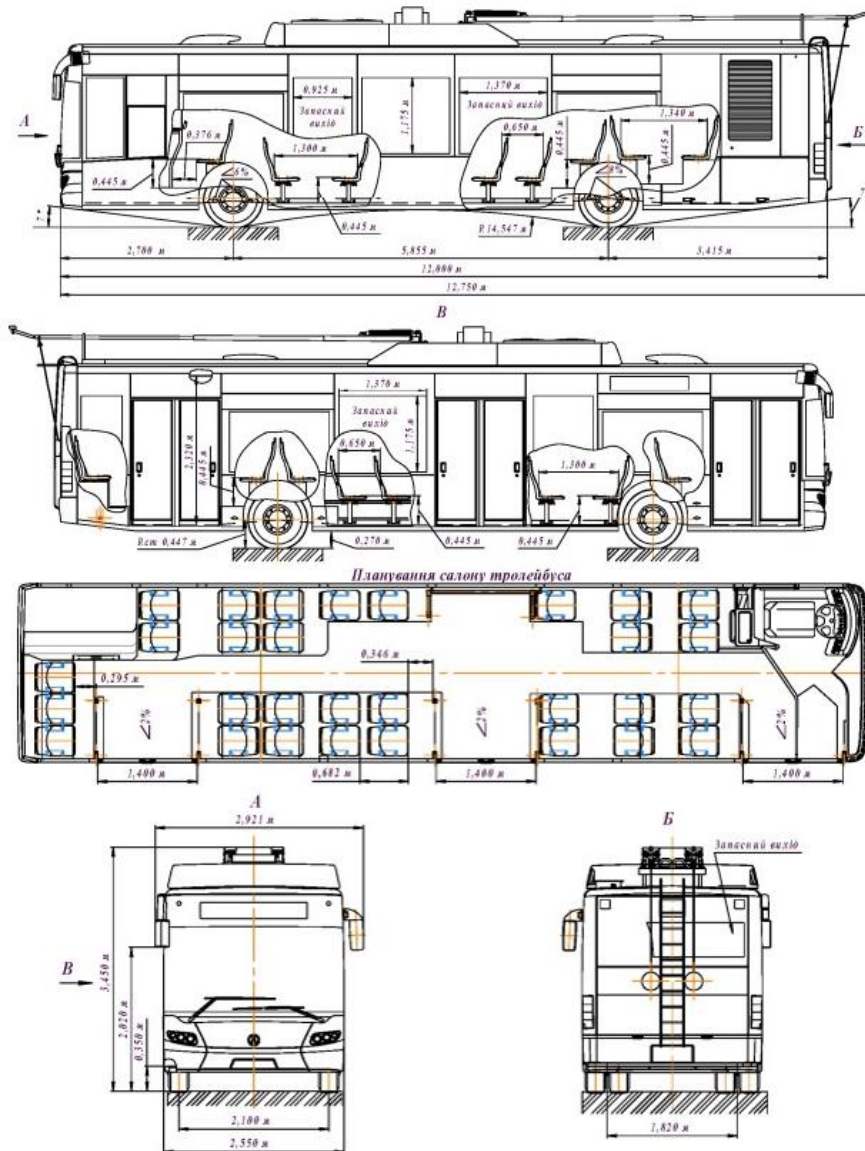


Рисунок 2.6 – Планування салону й габаритні розміри тролейбуса [20]

Місце під монтаж сонячних батарей рекомендуємо підбирати ще на етапі вибору конкретного рішення. У цьому випадку вдасться досягти максимальної ефективності, а отже, суттєво скоротиться термін окупності системи.

Розглянемо декілько варіантів установки сонячних систем.

Зазвичай сонячні панелі монтуються на дахах.

Існує кілька факторів, які визначають позиціонування та орієнтацію. Це напрям, в якому звернено дах або споруду, кут нахилу даху, стійкість даху,

погодні умови, такі як дощ, град і сніг, що випадають у певній області протягом року, і, звичайно, будь-які перешкоди, які можуть спричинити затінення (високі дерева, інші будівлі на ділянці, сусідні будинки, тінь яких падає на ваші сонячні панелі).

Причина, через яку дахи популярні з погляду позиціонування, полягає в тому, що вони, як правило, отримують найбільшу кількість сонячного світла і найменш схильні до затінення. Крім того, установка на покрівлі приваблива вартістю конструкції кріплення. Іноді може здаватися, що у вас багато сонячного світла, але несподіване затінення протягом дня може вплинути на те, скільки енергії ви дійсно отримаєте.

Встановлення сонячних батарей можливо також встановити на борту тролейбуса. Бортові сонячні панелі виробляють менше енергії, ніж сонячні панелі, встановлені на даху. Загалом, бортові сонячні панелі виробляють більше електроенергії взимку, ніж влітку. Це пояснюється тим, що сонце знаходиться нижче в небі, що дозволяє більше прямого сонячного світла потрапляти на бортові панелі.

Влітку сонячні панелі, встановлені на даху, виробляють більше енергії, ніж кріплення на борту, оскільки сонце вище в небі. Це призводить до того, що протягом дня більше прямого сонячного світла потрапляє на сонячні батареї з невеликим нахилом (а не на вертикальні).

Бортові системи сонячних панелей легше обслуговувати, ніж сонячні панелі, встановлені на даху, з точки зору очищення. Накопичення сміття, снігу тощо майже ніколи не є проблемою, оскільки дощ змиває будь-який бруд, а сила тяжіння утримує листя та інше від накопичення. Це спрощує процедуру очищення.

Крім того, вертикальні системи легше побачити, і вам не потрібно підніматися на дах тролейбуса, щоб оцінити їх стан. Бортові панелі забезпечують

легкий візуальний доступ, щоб бути в курсі будь-яких необхідних робіт з чищення чи технічного обслуговування.

Безпечність розташування сонячних систем на борту тролейбуса нижче, через те, що вони розташовані ближче до салону тролейбуса.

В результаті порівняння було обрано розміщення сонячних систем на даху, через те, що ефективність перетворення сонячних променів в електроенергію та безпека розмішування сонячних систем на даху вище.

Встановлення сонячних батарей.

Отже, кілька порад, як визначити оптимальне місце для встановлення сонячних панелей:

– потрібно визначитися з місцем встановлення. Визначаємо необхідну площу із розрахунку. Якщо це плоска поверхня, розраховувати необхідну площу потрібно індивідуально, залежно від геометрії цієї поверхні;

– далі потрібно поспостерігати чи не потрапляє на обране вами місце протягом дня тінь від чогось: гілки, дроти, будівлі тощо;

– також при виборі поверхні, кута нахилу та орієнтації потрібно враховувати можливості інвертора. Якщо ви вибираєте станцію з оптимізаторами, кожен пару панелей можна встановлювати індивідуально. А зі звичайним інвертором кількість різноспрямованих полів має дорівнювати (кратно) кількості МРРТ трекерів в інверторі.

#### 2.4 Конструктивні особливості встановлення системи монокристалічних сонячних батарей на тролейбусі

Перед монтажем сонячних панелей потрібно вирішити безліч питань: підібрати найбільш вдалий напрямок освітленості, вирішити, під яким кутом розташувати панель, щоб досягти максимальної ефективності. Найбільш важливі параметри: кут нахилу поверхні моно або полікристалічної системи щодо

горизонту, широта установки (щодо екватора, у градусах – 0-90°), годинний кут, а також сонячного відмінювання та азимут.

Отже, основні питання вирішено: визначилися з місцем, з позиціонуванням – настав час переходити до встановлення. Етапи монтажу:

- фіксація кріплень відповідно до креслень та розрахунків;
- встановлення фотоелементів;
- підключення кабелю, супутнього обладнання (акумулятора, інвертора, системи керування, захисних пристроїв, заземлення);
- налаштування, вибір оптимального позиціонування (у регульованих системах);
- пробний запуск;
- здача в експлуатацію.

Існує своя специфіка монтажу сонячних батарей на різні типи покриттів. Принципове значення має тип покриття: якщо воно тверде, каркас встановлюють прямо на покрівлю. Якщо м'яке – конструкцію закріплюють на лагах перекриття, а для захисту від протікання місце фіксації герметизують.

Можливі варіанти встановлення: на скати з кутом до 40 градусів, на плоску покрівлю із застосуванням спеціальних систем, на навіси, у тому числі автомобільний. Коротко послідовність робіт можна описати так: підключення акумулятора, підключення сонячних панелей і ланцюга, що заряджається. Як правило, в комплект постачання обладнання входять не тільки компоненти системи, а й кріплення з аксесуарами.

Особливості монтажу сонячних батарей на даху

Ось деякі з них:

- не можна використовувати скручування, замість цього слід використовувати спеціальні аксесуари, у тому числі розподільні щити, прохідні коробки;

- обов'язкове розбиття споживачів на групи одного типу: освітлювальні прилади, силове обладнання, побутова техніка;
- заборонено прокладання кабелю в мобільних конструкціях;
- граничну довжину провідників визначають з урахуванням перерізу кабелю, виду сонячних батарей, потужності приладів/обладнання, що підключаються;
- обов'язково використання плавких запобіжників при підключенні акумуляторів – це допоможе уникнути пошкодження обладнання при аварійних ситуаціях;
- використовуючи трекерні системи/поворотні механізми, можна досягти максимальної продуктивності сонячних батарей, у цьому випадку мінімальна відстань між батареями повинна перевищувати висоту робочої площини не менше ніж у 1,7 рази;
- не можна допускати хоча б часткове затінення панелей – це призведе до зниження їх ефективності та підвищеної деградації;
- щоб уникнути перегріву нижньої частини фотоелементів необхідно забезпечити вентиляційний зазор;
- з метою зниження втрат у дротах краще доповнити систему контролером заряду.

## 2.5 Висновки дослідження предметної області

В даному розділі було обґрунтовано встановлення сонячних систем, досліджено місця встановлення систем сонячних батарей на електротранспорті та їх інженерно-конструктивні особливості.

## 3 ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка сонячних монокристалічних систем для адаптації застосування її на тролейбусі

Матеріалом для виготовлення монокристалічних сонячних панелей є надчистий кремній, що використовується також для напівпровідникових приладів у радіоелектроніці. Стрижні кремнієвого монокристалу повільно ростуть і витягуються з кремнієвого розплаву, а далі розрізаються на частини завтовшки 0,2-0,4 мм і використовуються для виготовлення фотоелектричних елементів, що входять до складу сонячних панелей.

Системи на основі монокристалічного кремнію показана на (рисунок 3.1) мають КПД близько 22% показана на (рисунок 3.2) при терміні експлуатації близько 25 років [21].



Рисунок 3.1 – Сонячна комірка 5 Вт монокристал [21]

## Mono-Crystalline Silicon Solar Cell

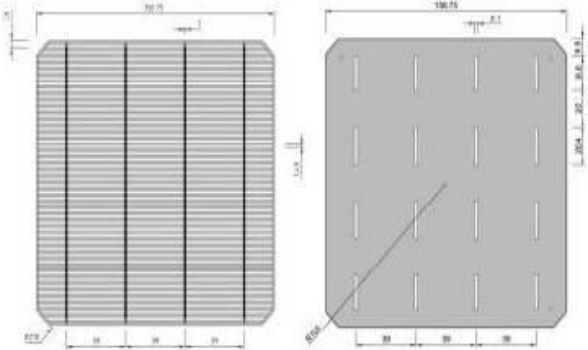
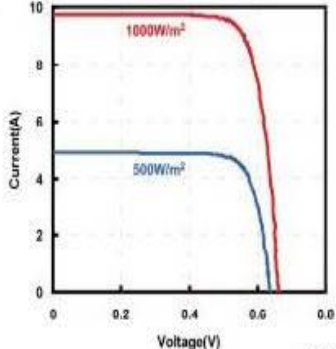
<b>PHYSICAL CHARACTERISTICS</b>	Dimension	156.75 mm x 156.75 mm $\pm$ 0.25 mm								
	Wafer Thickness	N56QL : 200 $\mu$ m $\pm$ 30 $\mu$ m								
	Front(-) Back(+)	Four 1 mm wide bus bars (silver) with distance 39 mm, alkaline texturized surface with dark blue silicon nitride AR coating. 2.1 mm wide silver/aluminum soldering pads, aluminum local back surface field.								
<b>TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>	Efficiency code	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120	2130	2140
	Efficiency (%)	20.6	20.7	20.8	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.4
	Pmax (W)	5.033	5.057	5.082	5.106	5.131	5.155	5.180	5.204	5.228
	Voc (V)	0.661	0.662	0.664	0.665	0.666	0.667	0.667	0.668	0.668
	Isc (A)	9.646	9.671	9.697	9.722	9.748	9.773	9.798	9.824	9.849
	Vmp (V)	0.549	0.550	0.551	0.552	0.553	0.554	0.555	0.556	0.557
	Imp (A)	9.162	9.189	9.217	9.244	9.272	9.299	9.326	9.354	9.381
		*Data under standard testing conditions (STC): 1,000W/m <sup>2</sup> , AM1.5, 25°C, Pmax tolerance: average +0.3%/-0.1% absolute. *Model name = Product code + Efficiency code, example : N56QL-2080.								
<b>TYPICAL TEMPERATURE COEFFICIENTS</b>	Voltage	-2.00 mV/K								
	Current	+3.70 mA/K								
	Power	-0.10 %/K								
<b>CONDUCTOR PATTERNS</b>	 <p>(unit: mm)</p>									
	<b>TYPICAL I-V CURVE</b>	<p>(Cell Efficiency 20.8%)</p>  <p>ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001 certified.</p>								
<b>PACKAGE</b>	Typical package for one carton contains 1,200 cells. The cells are sealed in cell box every 100 pcs. Gross weight per unit carton shall be around 16.6kg									

Рисунок 3.2 – Характеристика сонячного монокристалічного елемента

Таблиця 3.1 – Характеристики сонячної комірки

Тип кристалу	Сонячна комірка 5 Вт монокристал
1	2
Розміри, мм	
-висота, а	156,75
-ширина, b	156,75
Площа, м <sup>2</sup>	0,025
Потужність, Вт	5
Напруга холостого ходу, $V_{oc}$ В	0,66
Максимальна напруга, $V_{mp}$ В	0,54
Максимальний струм, $I_{mp}$ А	9,16
Струм короткого замикання, $I_{sc}$ А	9,64
ККД модуля, %	20,4
Ціна, С грн/шт	91

Визначимо потужність однієї сонячної системи протягом року. Для цього потрібно знати рівень сонячної інсоляції в регіоні. Значення сонячної інсоляції (радіації) у регіоні міста Харків наведені у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Рівень інсоляції в Харкові, кВт·год/м<sup>2</sup> в день (за даними НАСА)

Місяць	Інсоляція $E_{\text{інсол.сон}}$ , кВт·год/м <sup>2</sup> в день	Середня $E_{\text{інсол.сон}}$ за рік, кВт·год/м <sup>2</sup> в день
1	2	3
Січень	1,19	3,26
Лютий	2,02	
Березень	3,05	
Квітень	3,92	
Травень	5,38	
Червень	5,46	
Липень	5,56	
Серпень	4,88	
Вересень	3,49	
Жовтень	2,10	
Листопад	1,19	
Грудень	0,9	

Розрахуємо значення виробленої енергії за день однією сонячної комірки в залежності від сонячної інсоляції за формулою:

$$E_{\text{вир.ск}} = \frac{E_{\text{інсол.сон}} \cdot P_{\text{сп}}}{P_{\text{інсол}} \cdot k}, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.1)$$

де  $E_{\text{інсол}}$  – значення інсоляції із таблиці 3.2, у кВт·год/м<sup>2</sup> в день;

$P_{\text{інсол}}$  – потужність інсоляції на земній поверхні на одному метру квадратному,

$$P_{\text{інсол}} = 1 \text{ кВт/м}^2;$$

$P_{\text{скн}}$  – номінальна потужність сонячної комірки (при  $t^{\circ}=25^{\circ}\text{C}$   $P_{\text{інсол}}=1\text{кВт/м}^2$ ) у кВт;

$k$  – коефіцієнт втрат на заряд/розряд акумуляторів, перетворення постійної напруги у змінну  $k = 1,2 \dots 1,4$ . Для розрахунків приймаємо  $k = 1,2$ .

Для прикладу, розрахую значення енергії яка буде виробляти одна сонячна комірка у січні. Сонячну комірку для розрахунку обираю із таблиці 3.1, це комірка із монокристалу, другий стовпчик. Підставляю значення у формулу 3.1:

$$E_{\text{вир.ск.січень}} = \frac{1,19 \cdot 0,005}{1 \cdot 1,2} = 0,00495 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

У січні, ця панель буде виробляти енергію  $E_{\text{вир.сп.січень}} = 0,00495 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Подальші розрахунки для останніх місяців робляться аналогічно, результати розрахунків виробленої енергії по місяцям заносяться до таблиці 3.2

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків формули (3.1)

Місяць	Сонячна комірка 5 Вт монокристал
1	Вироблена енергія $E_{\text{вир.ск}}$ , кВт·год
	2
Січень	0,00495
Лютий	0,00841
Березень	0,0127
Квітень	0,0163
Травень	0,0224
Червень	0,0227

Продовження таблиці 3.3

Липень	0,0231
Серпень	0,0203
Вересень	0,0145
Жовтень	0,00875
Листопад	0,00495
Грудень	0,00375
Протягом року	8.182

Як видно із таблиці 3.3, протягом року, одна сонячна монокристалічна комірка потужністю 5 Вт, зможе виробити 8.182 кВт·год енергії.

### 3.2 Розрахунок елементів системи для збільшення автономного ходу

Тягова акумуляторна батарея (ТБ ЕТЗ) призначена для забезпечення руху транспортного засобу з електричною тяговою установкою та живлення допоміжних електричних кіл, тролейбусів, які експлуатуються на ділянках маршрутів, що не мають контактної мережі [22].

У разі застосування ТАБ на тролейбусі вона забезпечує живлення електричних апаратів та систем, які керуються тяговим контейнером типу СТТ, зокрема:

- тягового двигуна;
- двигуна компресора;
- двигуна гідроелектричної станції;
- системи опалення салону та відділення водія;
- кондиціонерів салону та відділення водія;
- апаратів та приладів низьковольтних кіл, зокрема зовнішніх та внутрішніх приладів освітлення та сигналізації.

В залежності від умов руху, ТАБ забезпечує рух транспортного засобу з максимальною навантагою на відстань до 20км.

ТАБ має такі технічні характеристики:

- енергоемність — 65 кВт\* год;
- номінальна потужність — 65 кВт;
- максимальна потужність — 195кВт;
- номінальна напруга — 588 В;
- мінімальна напруга — 469В.

Наступним етапом розрахунку, буде розрахунок площини, яку займають сонячні монокристалічні комірки в нашому випадку 140 комірок. Площа розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг.пл.ск}} = S_{\text{скл}} * N_{\text{ск}}, \text{ м}^2 \quad (3.2)$$

де  $S_{\text{ск}}$  – площа однієї сонячної комірки,  $\text{м}^2$ :

$$S_{\text{ск}} = a * b, \text{ м}^2$$

де  $a$  – висота, мм;

$b$  – ширина, мм.

$$S_{\text{ск}} = 156,75 * 156,75 = 24570 \text{ мм} = 0,025 \text{ м}^2$$

Розрахуємо загальну площу, яку займають сонячні комірки за формулою (3.2):

$$S_{\text{заг.пл.ск}} = 0,025 * 140 = 3.5 \text{ м}^2$$

Розрахуємо загальне вироблення енергії, яку займають сонячні комірки за формулою:

$$E_{\text{заг.вир.ск}} = E_{\text{вир.ск}} * N_{\text{ск}}, \text{ кВт}\cdot\text{год} \quad (3.3)$$

де  $E_{\text{вир.ск}}$  – вироблення електроенергії сонячної комірки протягом року.

$$E_{\text{заг.вир.ск}} = 8.182 * 140 = 1144,21, \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Отже, враховуючи загальну площину та ціну однієї комірки, можна визначити буде визначити доцільність для використання.

Приблизний розрахунок потрібної кількості грошей проводиться за формулою:

$$C_{\text{сс}} = C_{\text{скп}} * N_{\text{ск}}, \text{ грн} \quad (3.4)$$

де  $C_{\text{ск}}$  – ціна сонячної комірки (див. таблицю 3.1), грн;

$C_{\text{сс}}$  – приблизна ціна сонячної системи, грн.

$$C_{\text{сс}} = 91 * 140 = 12831, \text{ грн.}$$

### 3.3 Інтерфейс тестової програми для перевірки працездатності системи

Данна програма діагностики тролейбуса може проводити тестування всіх вузлів тролейбуса, для цього в парі з програмою в тролейбус встановлюють спеціальний діагностичний пристрій, який зв'язується з електронним блоком керування систем тролейбуса. Завдяки цьому можливо виконувати контроль параметрів в дистанційному режимі під час ТО або експлуатації. Зв'язок між

діагностичним пристроєм та програмою відбувається через Wi-Fi мережу. Головний екран програми зображено на рисунку 3.3.



```
12:40 ...0,3 КБ/с [signal] [wifi] [battery]
* Upgrade packages: pkg upgrade
Subscribing to additional repositories:
* Root: pkg install root-repo
* Unstable: pkg install unstable-repo
* X11: pkg install x11-repo
Report issues at https://termux.com/issues
$ telnet 192.168.16.254 8080
Trying 192.168.16.254...
Connected to 192.168.16.254.
Escape character is '^]'.
?
dir:
    levels
    config
    diag
>diag
diag>?
dir:
    bms
    usb
    out
    pwm
    inp
    opto
    temp
    cell
    current
    err
    state
    losts
    cansniff
    transmit
    curtis
    ver
    gauge
    newcycle
    reboot
diag>
```

Рисунок 3.3 – Головний екран програми

Після активації програми вона відразу починає пошук діагностичного приладу. Після підключення виводиться меню програми в ньому 3 пункти: levels показники, config налаштування, diag діагностика. В меню diag проводиться діагностика вузлів тролейбуса. Данні програма отримує через датчики або в випадку акумуляторної батареї тролейбуса через плату керування. На рисунку 3.4 зображена діагностика параметрів комірок акумуляторної батареї, в нашому

випадку 140 комірок. Діагностується температура, вольтаж та працездатність комірок.

```

12:41 ...0,7 KB/c 12:41 ...0,2 KB/c
Cell 47: 4069, 16.7, 21.2, 3, 26
Cell 46: 4065, 18.3, 24.8, 3, 26
Cell 45: 4081, 21.7, 24.8, 3, 26
Cell 44: 4074, 23.9, 24.8, 3, 26
Cell 43: 4077, 25.0, 24.8, 3, 26
Cell 42: 4079, 25.7, 24.8, 3, 26
Cell 41: 4076, 26.0, 24.8, 3, 26
Cell 40: 4060, 17.5, 18.8, 3, 26
Cell 39: 4070, 19.1, 18.8, 3, 26
Cell 38: 4069, 20.7, 18.8, 3, 26
Cell 37: 4062, 20.8, 18.8, 3, 26
Cell 36: 4060, 21.4, 21.0, 3, 26
Cell 35: 4065, 21.7, 21.0, 3, 26
Cell 34: 4062, 22.0, 21.0, 3, 26
Cell 33: 4061, 21.2, 21.0, 3, 26
Cell 32: 4053, 25.0, 22.7, 3, 26
Cell 31: 4062, 25.2, 22.7, 3, 26
Cell 30: 4064, 24.9, 22.7, 3, 26
Cell 29: 4056, 24.1, 22.7, 3, 26
Cell 28: 4065, 20.4, 20.1, 3, 26
Cell 27: 4062, 22.5, 20.1, 3, 26
Cell 26: 4064, 23.8, 20.1, 3, 26
Cell 25: 4066, 24.4, 20.1, 3, 26
Cell 24: 4059, 18.4, 19.9, 3, 26
Cell 23: 4065, 20.2, 19.9, 3, 26
Cell 22: 4060, 21.4, 19.9, 3, 26
Cell 21: 4068, 21.9, 19.9, 3, 26
Cell 20: 4069, 22.3, 20.2, 3, 26
Cell 19: 4063, 22.5, 20.2, 3, 26
Cell 18: 4059, 22.4, 20.2, 3, 26
Cell 17: 4059, 21.7, 20.2, 3, 26
Cell 16: 4059, 18.2, 19.0, 3, 26
Cell 15: 4057, 19.8, 19.0, 3, 26
Cell 14: 4061, 21.1, 19.0, 3, 26
Cell 13: 4070, 21.1, 19.0, 3, 26
Cell 12: 4070, 20.7, 20.1, 3, 26
Cell 11: 4074, 20.6, 20.1, 3, 26
Cell 10: 4070, 20.7, 20.1, 3, 26
Cell 9: 4062, 19.6, 20.1, 3, 26
Cell 8: 4069, 18.3, 20.1, 3, 26
Cell 7: 4066, 15.8, 20.1, 3, 26
Cell 6: 4067, 19.0, 22.6, 3, 26

t 0

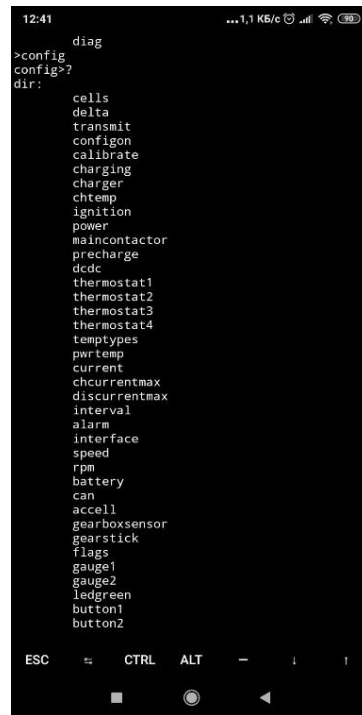
Cell 9: 4064, 19.6, 20.1, 3, 26
Cell 8: 4066, 18.3, 20.1, 3, 26
Cell 7: 4070, 15.8, 20.1, 3, 26
Cell 6: 4064, 19.0, 22.6, 3, 26
Cell 5: 4078, 20.2, 22.6, 3, 26
Cell 4: 4064, 21.2, 22.6, 3, 26
Cell 3: 4079, 21.7, 22.6, 3, 26
Cell 2: 4067, 20.9, 22.6, 3, 26
Cell 1: 4066, 20.3, 22.6, 3, 26

Cell 140: 4052, 20.4, 24.1, 3, 26
Cell 139: 4075, 21.8, 24.1, 3, 26
Cell 138: 4070, 22.2, 24.1, 3, 26
Cell 137: 4071, 21.9, 24.1, 3, 26
Cell 136: 4071, 20.9, 24.1, 3, 26
Cell 135: 4073, 19.5, 24.1, 3, 26
Cell 134: 4060, 18.7, 22.5, 3, 26
Cell 133: 4077, 20.5, 22.5, 3, 26
Cell 132: 4064, 21.3, 22.5, 3, 26
Cell 131: 4071, 22.4, 22.5, 3, 26
Cell 130: 4071, 22.7, 22.5, 3, 26
Cell 129: 4064, 22.2, 22.5, 3, 26
Cell 128: 4068, 20.3, 24.3, 3, 26
Cell 127: 4076, 22.3, 24.3, 3, 26
Cell 126: 4070, 23.6, 24.3, 3, 26
Cell 125: 4071, 23.8, 24.3, 3, 26
Cell 124: 4071, 23.6, 24.3, 3, 26
Cell 123: 4062, 23.2, 24.3, 3, 26
Cell 122: 4074, 13.9, 20.4, 3, 26
Cell 121: 4069, 16.0, 20.4, 3, 26
Cell 120: 4071, 17.7, 20.4, 3, 26
Cell 119: 4060, 19.2, 20.4, 3, 26
Cell 118: 4067, 20.9, 20.4, 3, 26
Cell 117: 4067, 21.2, 20.4, 3, 26
Cell 116: 4068, 20.6, 20.5, 3, 26
Cell 115: 4071, 20.6, 20.5, 3, 26
Cell 114: 4077, 20.3, 20.5, 3, 26
Cell 113: 4069, 20.0, 20.5, 3, 26
Cell 112: 4065, 19.0, 20.5, 3, 26
Cell 111: 4064, 17.2, 20.5, 3, 26
Cell 110: 4058, 20.9, 19.9, 3, 26
Cell 109: 4067, 21.3, 19.9, 3, 26
Cell 108: 4061, 20.0, 19.9, 3, 26
  
```

Рисунок 3.4 – Діагностика комірок акумуляторної батареї

В меню levels, зображено на рисунку 3.5, знаходяться основні показники систем тролейбуса.





```

12:41 ... 1.1 KB/s
diag
>config
config?
dir:
  cells
  delta
  transmit
  configon
  calibrate
  charging
  charger
  chtemp
  ignition
  power
  maincontactor
  precharge
  dcdc
  thermostat1
  thermostat2
  thermostat3
  thermostat4
  temtypes
  pwrtemp
  current
  chcurrentmax
  discurrentmax
  interval
  alarm
  interface
  speed
  rpm
  battery
  can
  accel
  gearboxsensor
  gearstick
  flags
  gauge1
  gauge2
  ledgreen
  button1
  button2
ESC  CTRL  ALT

```

Рисунок 3.6 – Функції меню config

### 3.4 Проведення експерименту для перевірки працездатності системи

Проведення експерименту було проведено на КП Тролейбусне депо №2.

9 січня 1966 року у районі вул. Одеській було введено в експлуатацію тролейбусне депо №2. Цього дня у лінію на 5 та 6 маршрути вийшли 27 тролейбусів МТБ-82Д.

На кінець 1966 року на балансі депо вважалося 109 тролейбусів, з них 87 машин МТБ-82Д, 3 машини МТБЕС та 19 машин типу Київ-2 та Київ-4. Випуск до лінії становив 62 одиниці. З 1967 по 1972 р. депо отримувало і освоювало новий тип рухомого складу тролейбуси ЗІУ-5. Загалом до депо надійшло 198 таких машин.

У 1980 році до депо надійшли перші тролейбуси типу ЗІУ-682. Машини цього типу надходили до депо до 1992 року. Після довгої перерви остання найновіша машина такого типу прийшла в грудні 2002 року. Усього надійшло

207 одиниць. З 1992 р. по 1996 р. депо отримало 25 тролейбусів типу ЮМЗ-Т1 виробництва дніпропетровського заводу Південмаш. У 2002 році з 1-го депо було передано ще 3 тролейбуси цього типу.

На 01.10.2003 на балансі депо вважалось 110 одиниць рухомого складу, з них 82 ЗІУ-682 (81 пасажирський та 1 спеціальний) та 28 ЮМЗ-Т1. Випуск до лінії становить 82 одиниці. За 37 років роботи тролейбусне депо №2 опанувало експлуатацію 7 видів рухомого складу.

У 1975 році був зданий в експлуатацію адміністративно-господарський корпус, що дало змогу розширити площі душових та роздягальню для робочих депо. Ремонтну базу тролейбусного депо №2 за проектом розраховано на експлуатацію 100 одиниць тролейбусів. За 37 років роботи депо обслуговувало 200 та більше одиниць (211 од.) з випуском на лінію 167 одиниць рухомого складу. Це створювало певні труднощі у роботі. З метою розширення виробничих площ у 1995 році було закінчено будівництво прибудови до виробничого корпусу на 8 машино-місць.

У перші роки після введення в експлуатацію колектив тролейбусного депо №2 будувався здебільшого на кадрах депо №1. В даний час чисельність працюючих у депо становить понад 600 осіб, з них близько 350 водіїв та кондукторів.

Суть експерименту полягає в виборі місця установки (дах, борти).

На дах або борти тролейбуса за допомогою підйомного пристрою з підтримкою підняття вантажу до 200 кг будуть встановлені сонячні монокристалічні осередки сумою 140 одиниць у відповідності з кількістю комірок в акумуляторній батареї.

Встановлення сонячних батарей можливо також встановити на борта тролейбуса. Бортові сонячні системи виробляють менше енергії, ніж сонячні системи, встановлені на даху. Загалом, бортові сонячні системи виробляють більше електроенергії взимку, ніж влітку. Це пояснюється тим, що сонце

знаходиться нижче в небі, що дозволяє більше прямого сонячного світла потрапляти на бортові системи.

Влітку сонячні системи, встановлені на даху, виробляють більше енергії, ніж кріплення на борту, оскільки сонце вище в небі. Це призводить до того, що протягом дня більше прямого сонячного світла потрапляє на сонячні батареї з невеликим нахилом (а не на вертикальні).

Ботові системи сонячних панелей легше обслуговувати, ніж сонячні системи, встановлені на даху, з точки зору очищення. Накопичення сміття, снігу тощо майже ніколи не є проблемою, оскільки дощ змиває будь-який бруд, а сила тяжіння утримує листя та інше від накопичення. Це спрощує процедуру очищення.

Крім того, вертикальні системи легше побачити, і вам не потрібно підніматися на дах тролейбуса, щоб оцінити їх стан. Бортові системи забезпечують легкий візуальний доступ, щоб бути в курсі будь-яких необхідних робіт з чищення чи технічного обслуговування.

Безпечність розташування сонячних систем на борту тролейбуса нижче, через те, що вони розташовані ближче до салону тролейбуса.

З погляду безпеки та ефективності було обрано спосіб розміщення сонячних систем на даху тролейбуса.

### 3.5 Безпека та охорона праці працівників при роботі та обслуговуванні сонячних монокристалічних системи для тролейбуса

До робіт, пов'язаних з рухом електричного транспорту, ексклюзивом та ремонтом електроустановок, перебуванвям на висоті. на проїзній частині вулиць та трамвайних колій, та інших робіт з підвищеною небезпекою допускаються віком не молодше 18 років (водії трамвая і тролейбуса віком відповідно до вимог Правил дорожнього руху, затверджених постановою Кабінету Міністрів України

від 10 жовтня 2001 року № 1306, (далі – ПДР), які пройшли спеціальні навчання та перевірку відповідності нормативно-правових актів з охорони праці відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання та перевірку знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 р. року за № 15. зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15 лютого 2005 року за № 231/10511 (далі НПАОП 0.00-4.12-05) мають відповідні посвідчення. експлуатування троллейбусів ПТС 12 (НЕ).а також пройшли відповідні медичні огляди та не мають протигвпоказань за станом здоров'я.

Технічне обслуговування та ремонт виконуються підприємствами міського електричного транспорту з врахуванням вимог цієї установи, встановлених на окремих комплектуючих виробках, що входять до складу троллейбуса, а також Правил експлуатації трамвая та троллейбуса (2020).

В період обкатки троллейбуса зроблені вказівки. приведеї в НЕ (розділ Обкатка троллейбуса).

Обмеження при експлуатації:

– не допускати до експлуатації троллейбусів без виконання відповідного технічного обслуговування з оформленням прийнятих на підприємствах документів;

– не допускати порушення порядку (послідовності) увімкнення троллейбуса: перевіркою встановлення, що троллейбус і органи керування не мають пошкоджень, троллейбус загальмований стоянковим гальмом, струмоприймачі, заведені під ліри, перемикач режимів роботи (напрямку руху) – у положенні N (нейтраль), автономний вхід виділено (при включеній клавіші автономний вхід блокується можливість підключення струмоприймачів); ключ замка низьковольтного живлення (замка запалення) — у позиції 0. Перевірити стаї струмоприймачів. при необхідній заміні коітактяї вставки, увімкнути перемикач мінус АКБ у відсіку акумуляторних батарей (по лівому борту третього люка),

увімкнути живлення іпізьковольтних ланцюгів тролейбуса натиснути клавiшу 8 увімкнення АКБ. перевести ключ у замку запалення в положення 1, дочекатися увімкнення моїтора бортового комп'ютера. установити струмоприймачі на контактну мережу. натиснути кнопку увімкнення АВДУ, ковтролювати сигнали контрольних індикаторів приладової панелі та монїтора бортового комп'ютера;

– не допускати до експлуатації тролейбуса при наявності струмів витоку більше ніж 3 мА, або різниці потенціалів між кузовом тролейбуса та дорожнім покриттям більше ніж 42 В. Контроль хоча б одного з цих параметрів необхідний для здійснення щодня в депо спеціально призначеним персоналом.

– не продовжувати експлуатацію тролейбуса, якщо показання контрольно-вимірювальних приладів та сигналів контрольних індикаторів (ламп. світлодіодів чи недостатньо-кристаллических табло і монїторів) не відповідає нормативним параметрам або живлення приладів аварійної сигналізації вимкнене;

– не допускати експлуатацію тролейбуса з вимкненим блокуванням руху при відчинених дверях;

– не починати рух тролейбуса при тиску повітря в контурі пневматичного приводу гальмівних механізмів прже 550 кПа (5,5 кгс/см<sup>2</sup>), тобто доки не згаснуть контрольні індикатори, що сигналізують про недостатній тиск повітря в гальмівних контурах пневматичної системи;

– при живленні від контактної мережі не допускати відхилення тролейбуса від точки контактної мережі більше ніж на 4 метри (при висоті контактної мережі (5,8-6,0 м);

– не залишати тролейбус на ухилах, якщо він не загальмований стоянковим гальмом і під одне з коліс не встановлена противідкотна опора;

– не залишати тролейбус на тривалий час з підключеними до контактної мережі струмоприймачами;

– не допускати рух тролейбуса, якщо дорога покрита водою або мокрим

снігом на висоті більше 100 мм, а також із спущеним колесом;

- опалювачі салону вимикати після їх продуву вентиляторами не менше 5 хв;

- не розряджати тягову акумуляторну батарею нижче 25%;

- світлофорне гальмо можна використовувати тільки в обмежених випадках, при умові, що тролейбус є нерухомим та знаходиться на незначному ухилі (або підйомі) не більше 3 %;

- при вимушеній зупинці тролейбуса на проїзній частині дороги у випадках, що не можуть продовжити рух або усунути тролейбус з проїзної частини, негайно увімкнути аварійну сигналізацію та підкласти противідкотні упори під колесом [22].

При обслуговуванні сонячних систем необхідно дотримуватися таких правил:

- кріплення. Час від часу необхідно перевіряти кріпильні конструкції на предмет механічних пошкоджень стійок, ослаблення болтів або виникнення слідів корозії. Особливо уважно слід проводити такі перевірки в період зтяжних дощів, снігопадів або після сильних бур і вітрів;

- інвертори. При розміщенні поза будівлями ці найважливіші пристрої системи сонячних батарей надійно захищаються спеціальними високоміцними корпусами. Порушити їх цілісність практично неможливо, але фільтри вимагають частого очищення. Тривала відсутність даної процедури призводить до постійного перегріву інвертора, що в підсумку закінчується поломкою приладу;

- сонячні модулі. Герметична конструкція модуля і висока міцність захисного каленого скла мінімізує ймовірність механічного пошкодження робочих поверхонь. Особливості установки під кутом до горизонту і низький рівень адгезії в більшості випадків забезпечують самоочищення модулів природним шляхом. Але іноді конструкційних переваг виявляється недостатньо,

і з панелей потрібно знімати застрягші гілки і сміття, змивати бруд або пісок. При цьому необхідно використовувати відповідний інструмент і засоби для чищення;

- заземлення. Для збереження його працездатності потрібно періодично оглядати контакти і цілісність ізоляції. Відсутність робочого виведення на землю призводить до падіння продуктивності, застою СЕС, а в гірших випадках – до повного виходу з ладу фотовольтаїки;

- ізоляція кабелів. Електрична ізоляція забезпечує захист металевих контактних проводів від вологи. Навіть незначне її пошкодження здатне викликати коротке замикання, яке потребує тривалого і надзвичайно витратного ремонту. Тому уважна перевірка цілісності ізоляції обов'язкове.

Електричне обладнання даху:

- дефекти струмоприймачів, що спричиняють сходження контактних головок з проводів контактної мережі;

- наявність тріщин, вм'ятин, прогарів і згинів штанг;

- заїдання струмоприймачів при переміщенні в горизонтальній і вертикальній площині;

- несправні контактні головки струмоприймачів, не затягнуті гайки їх кріплення, пошкоджений шунт;

- несправна або неправильно відрегульована система обмеження підйому та опускання штанг;

- не відрегульовані натяжні пружини струмоприймача (тиск струмоприймача на контактний дріт при висоті підвіски дроту 5,5 м не відповідає зусиллю від 70 до 170 Н в залежності від стану контактної мережі та типу штанг струмоприймачів;

- дефекти канатів струмоприймачів та ізоляторів;

- пошкодження або відсутність на даху доріжки з електроізоляційного матеріалу.

Технічне обслуговування (дані ТО) тяговій батареї виконується в періоди регламентовані відповідно до настанови з експлуатації транспортного засобу.

ТО проводиться на спеціалізованих робочих станційних постах які обладнані необхідними засобами вимірювання та спеціальним інструментом з ізольованими ручками.

До виконання ТО допускається персонал, який пройшов навчання та інструктаж з охорони праці на робочому місці.

ТО необхідно виконувати безпосередньо двома спеціалістами, один з яких повинен мати 3(третю) кваліфікаційну групу допуску до електроустановок до 1000В.

Під час виконання ТО у тому числі проведення електричних вимірювань; опори ізоляції, струму витоку на корпус тролейбуса та інших допоміжних вимірювань необхідно вивішувати попереджувальні, заборонні знаки та плакати.

Під час вимірювання опори ізоляції методом двох вольтметрів необхідно застосувати діелектричні рукавиці.

Роботи в середині корпусу тягової батареї під час перевірки обтягування деталізованих з'єднань обов'язково виконувати в діелектричних рукавицях та одностороннім інструментом з ізольованими рукоятками [22].

### 3.6 Висновки проекту предметної області

В даному розділі було розроблено сонячні монокристалічних систем, розраховано елементи системи для збільшення автономного ходу, підібрано програму для тесування параметрів акумуляторної батареї, проведено перевірку працездатності системи, проведена безпека та охорона праці працівників при роботі та обслуговуванні сонячних монокристалічних системи для тролейбуса.

## ВИСНОВКИ

За результатом аналізу сонячних монокристалічних систем було розроблено адаптацію сонячних монокристалічних систем для збільшення автономного ходу тролейбуса. За данню кваліфікаційну роботу було виконанно:

- проаналізувано предметну область;
- проаналізувано сучасні види сонячних монокристалічних систем;
- розглянуто методи адаптації;
- розглянуто характеристики сонячних систем;
- розглянуто методи встановлення сонячних монокристалічних систем;
- було вибрано рішення поставленої задачі;
- розроблено загальний порядок проведення адаптації сонячних монокристалічних систем для збільшення автономного руху тролейбуса;
- підібрано програму для тестування параметрів акумуляторної батареї;
- проведені експерименти.

Завдяки проведеним експериментальним дослідженням та статистичним розрахункам вдалося збільшити автономний хід тролейбуса протягом року на 1144,21, кВт·год. Даний результат можна вважати задовільним.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ефективність використання сонячних батарей для тролейбусу [Текст] / Упоряд. Л. С. Іванов, Б. Ю. Мальцев – Харків, ХНУРЕ, 2022. – 6с
2. ДСТУ 3008:2015. Документація. звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.
3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка освітньо-професійної програми Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки [Текст] / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, Ю. М. Олександров, Р. В. Артюх, Є.А. Разумов-Фризюк, О. О. Чала – Харків, ХНУРЕ, 2021. – 51 с.
4. Solar Energy and Battery Development for Unmanned Aerial Vehicles: Leading to Increased Proliferation?: Salus Journal, № 2, 2018. [Електронний ресурс]; режим доступу: ([http://www.salusjournal.com/wp\\_2018\\_pp\\_59-77.pdf](http://www.salusjournal.com/wp_2018_pp_59-77.pdf)); дата використання [12.10.2022].
5. Фізика напівпровідникових приладів у 2 книгах [Текст] – С. Зі –, переклад з англійської 1981р. – 579 с
6. Кремній – матеріал наноелектроніки [Текст] – Н.Герасименко, Ю.Пархоменко – 2007р. – 351 с.
7. Тонкоплівкові сонячні елементи [Текст] – К.Чопра. С.Дас Переклад з англійської зі скороченнями 1986р. – 435 с.
8. Кремнієві сонячні батареї [Текст] – А.Я. Гліberman, А.К. Зайцева – 1961р. – 72 с.
9. Конструкція та технологія напівпровідникових фотоелектричних приладів [Текст] – А.Амброзьяк переклад з польської. Варшава 1970р. – 389 с.

10. Довідник із проектування сонячних батарей [Текст] – Г.Раушенбах переклад з англійської 1983р. – 360 с.

11. Сонячна панель 60v300w для електротранспорту [Електронний ресурс]; режим доступу: ([https://e-bike.com.ua/index.php?route=product/product&product\\_id=290](https://e-bike.com.ua/index.php?route=product/product&product_id=290)); дата використання [8.11.2022].

12. Виготовлення систем автономного ходу тролейбуса [Електронний ресурс]; режим доступу: (<https://ptsukraine.com/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0-%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%85%D0%BE%D0%B4%D1%83/>); дата використання [12.11.2022].

13. Тягові акумуляторні батареї для автономного ходу тролейбуса [Електронний ресурс]; режим доступу: (<https://ads.ua/ua/tyagovye-akb-dlya-trolleybusov/>); дата використання [12.11.2022].

14. Чому Україні потрібні тролейбуси з автономним ходом [Електронний ресурс]; режим доступу: (<https://traffic.od.ua/blogs/1541/1213685/>); дата використання [12.11.2022].

15. Тролейбус з автономним ходом [Електронний ресурс]; режим доступу: ([https://tvoemisto.tv/exclusive/u\\_lvovi\\_rozrobyly\\_pershyy\\_troleybus\\_z\\_avtonomnym\\_hodom\\_navishcho\\_vin\\_mistu\\_ta\\_kudy\\_poide\\_125910.html](https://tvoemisto.tv/exclusive/u_lvovi_rozrobyly_pershyy_troleybus_z_avtonomnym_hodom_navishcho_vin_mistu_ta_kudy_poide_125910.html)); дата використання [12.11.2022].

16. Вартість сонячних модулів [Електронний ресурс]; режим доступу: (<https://www.quest.sk/blog/ako-padli-ceny-fotovoltickych-panelov/>); дата використання [12.11.2022].

17. Графік збереженої електроенергії [Електронний ресурс]; режим доступу: (<https://www.positiveenergysolar.com/blog/2018/october/go-solar-save-the-planet-its-easy-with-no-out-of/>); дата використання [12.11.2022].

18. Ціна на сонячну енергію падає, тоді як нафти зростає [Електронний ресурс]; режим доступу: (<https://www.cnbc.com/2022/03/06/oil-and-gas-prices-are-surging-heres-what-that-means-for-renewable-energy-stocks.html>); дата використання [12.11.2022].

19. Сонячна батарея з монокристалічного кремнію [Електронний ресурс]; режим доступу: (<https://king-pv.en.made-in-china.com/product/JqsxXnElYoRZ/China-Monocrystalline-Solar-Cell-156x156-8-Inch-Efficiency-17-75-18-0-.html>); дата використання [12.11.2022].

20. Рухомий склад міського електричного транспорту механічна частина навчальний посібник [Текст] – Д.В. Хомич, Х.М. Васильович, С.В. Ігорович, С. Д. Ігорович – 2018р.

21. Сонячний монокристалічний елемент 5 Вт [Електронний ресурс]; режим доступу: (<https://greenchip.com.ua/31-0-133-1.html>); дата використання [5.11.2022].

22. Тролейбус типу PTS-12. Настанова щодо експлуатування. PTS-12. 000.000.00 МЕ [Текст] – видавництво ТОВ Політехсервіс, м.Бровари, 2021 р. – 157 с.