

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет

«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра електроенергетики  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню** магістра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

**студента** Матірка Максима Сергійовича  
(ПІБ)

**Академічної групи** 141М-21-1  
(шифр)

**спеціальності** 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

**спеціалізації** \_\_\_\_\_

**за освітньо-професійною програмою** Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(офіційна назва)

**на тему** Обґрунтування параметрів гібридної системи електропостачання будівлі закладу середньої освіти  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційно і роботи	Лисенко О.Г.			
розділів:	Лисенко О.Г.			
Вступний	Лисенко О.Г.			
Основний	Лисенко О.Г.			
Економічний	Тимошенко Л.В.			

<b>Рецензент</b>				
------------------	--	--	--	--

<b>Нормоконтролер</b>	Олішевський Г.С.			
-----------------------	------------------	--	--	--

Дніпро  
2022

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
електроенергетики  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Папаїка Ю.А. \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня** \_\_\_\_\_ магістра \_\_\_\_\_  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту \_\_\_\_\_ Матірку М.С. \_\_\_\_\_ академічної групи \_\_\_\_\_ 141М-21-1 \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності \_\_\_\_\_ 141 Електроенергетика, електротехніка та \_\_\_\_\_  
електромеханіка \_\_\_\_\_

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_ Електроенергетика, електротехніка та \_\_\_\_\_  
електромеханіка \_\_\_\_\_

(офіційна назва)

на тему \_\_\_\_\_ Обґрунтування параметрів гібридної системи електропостачання будівлі  
закладу середньої освіти \_\_\_\_\_,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ 13.09.22 \_\_\_\_\_ №918-с \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Вступний		23.10.22
Основний		27.11.22
Економічний		11.12.22

Завдання видано \_\_\_\_\_ (підпис керівника) \_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

Дата видачі \_\_\_\_\_ 26.09.22 \_\_\_\_\_

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 14.12.22 \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ (підпис студента) \_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 94 с, 26 рис., 24 табл., 1 додаток, 50 джерел.

СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ, ГІБРИДНА СИСТЕМА, ФЕС, АКБ, НАКОПИЧУВАЧІ, АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА, ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИЙ ВИД ЕНЕРГІЇ, ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ.

Об'єкт розроблення – Заклад середньої освіти Петропавлівська ЗОШ №2.

Мета роботи – Аналіз та обґрунтування параметрів гібридної системи.

Результати та їх новизна – розроблена гібридна система для закладу середньої освіти. Новизна технічного рішення полягає в забезпеченні споруди закладу середньої освіти, безперебійним живленням з використанням акумулюючих пристроїв.

Безперебійне децентралізоване живлення надасть закладу, електропостачання для критично важливих електроспоживачів під час аварійних відключень.

Взаємозв'язок з іншими роботами – продовження інноваційної діяльності кафедри електроенергетики НТУ «Дніпровська політехніка» в сфері децентралізованого електропостачання.

Сфера застосування розробки – забезпечення електропостачання закладам освіти.

Практична значимість кваліфікаційної розробки – децентралізація та безперебійне живлення енергосистеми закладу освіти.

## Зміст

ВСТУП.....	6
1 ВСТУПНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Обґрунтування заходів забезпечення енергонезалежності    шкільного комплексу.....	8
1.2 Аналіз типів і конструкцій ФЕС та систем накопичення    енергії.....	11
1.3 Оцінка раціональних енергоносіїв в залежності від територіального розташування закладу.....	16
1.4 Висновки та постановка задачі обґрунтування параметрів гібридної системи електропостачання будівлі закладу середньої освіти.....	16
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Визначення початкових даних для проектування системи    електропостачання шкільного комплексу.....	18
2.2 Моделювання графіка електричного навантаження школи.....	23
2.3 Розрахунок технічних характеристик та вибір обладнання сонячної станції.....	27

2.4	Моделювання графіка генерації фотоелектричної станції.....	57
2.5	Вибір раціональних параметрів системи накопичення електричної енергії.....	58
2.6	Обґрунтування способу монтажу та схемної реалізації гібридної системи електропостачання шкільного комплексу.....	65
2.7	Розробка заходів безпечного обслуговування та експлуатації гібридної системи електропостачання будівлі закладу середньої освіти.....	68
3	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	70
3.1	Розрахунок капітальних інвестицій.....	70
3.2	Розрахунок експлуатаційних витрат.....	75
3.3	Розрахунок річної економії від впровадження науково технічного рішення.....	83
3.4	Визначення та аналіз показників економічної ефективності.....	84
	ВИСНОВОК.....	88
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89

## ВСТУП

Початок 21 століття ознаменований в енергетиці двома факторами: стрімке зростання споживання енергії, і забруднення навколишнього середовища енергетичними підприємствами, внаслідок чого виникають незворотні зміни клімату.

Подальше кількісне нарощування виробничих потужностей і передавальних мереж призводять до все меншого і дорожчого результату, а несприятливі природні та техногенні наслідки, навпаки, зростають.

При розподіленій генерації, негативний вплив на навколишнє середовище зменшується, мінімізуються також втрати при передачі електроенергії на великі відстані, оптимізується диспетчерське управління. Мається на увазі розосередження значної кількості дрібних електростанцій на відновлюваних джерелах енергії – води, вітру, енергії сонця, біогазів тощо поблизу споживачів – невеликих підприємств, населених пунктів, домогосподарств, і за наявності надлишків виробленої цими "генераторами-споживачам" енергії, віддачі її в мережу, для загального вжитку, - з одночасним переформатуванням локальних мереж у "розумні мережі" (smart grids), які самі керуватимуть процесами виробництва, споживання і збалансування системи не з центру, а на рівні місцевої самоорганізації.

Децентралізована або розподілена генерація (англ. distributed power generation) — це система виробництва та передачі енергії, яка передбачає велику кількість споживачів, що водночас є виробниками електрики та тепла для власних потреб, і мають можливість передавати надлишки виробленої енергії до загальної мережі.

Поки що електростанції ВДЕ пристосовуються до вимог традиційно побудованих національних енергетичних систем (у тому числі ОЕС України), намагаються вписатися в систему енергозабезпечення, яка досі будувалася на

принципах багато масштабного централізованого виробництва електроенергії з викопного палива на великих ТЕС та АЕС. Але загальносвітова тенденція виявляє парадоксальну ситуацію - дрібне виробництво на місцевому рівні (в безпосередній близькості до споживача) може забезпечувати економічно вигідніші і технологічно досконаліші, менш ресурсозатратні умови функціонування енергосистеми, в порівнянні з традиційно укрупненим.

В умовах України, впровадження децентралізованої системи має ряд особливостей, до них відносять: фінансове заохочення для розвитку малих виробників електроенергії з ВДЕ (“зелений тариф” або інші механізми); створення законодавчої бази та сприятливих умов для розвитку енергокооперативів; гарантування простого підключення до мережі для різних неприбуткових форм об’єднань громадян (кооперативів, ОСББ) і отримання ними «зеленого тарифу» за спрощеною процедурою; доступ до пільгового фінансування проєктів зі встановлення систем розподіленої генерації для приватних домогосподарств, малого та середнього бізнесу; запровадження додаткових стимулюючих програм для фізичних і юридичних осіб, які купують дахові СЕС та інші розподілені потужності відновлюваної енергетики; розробка та впровадження державних програм, які б забезпечили системне ефективне інтегрування об’єктів розподіленої генерації до об’єднаної енергомережі країни; створення державних програм підтримки для встановлення дахових СЕС та інших розподілених потужностей відновлюваної енергетики на державних установах; прозорість процедури під’єднання та низька вартість підключення для домогосподарств, малого та середнього бізнесу.

## 1 ВСТУПНА ЧАСТИНА

### 1.1 Обґрунтування заходів забезпечення енергонезалежності шкільного комплексу

Кожен з альтернативних джерел енергії (як відновлюваної, так і невідновлюваної) має не тільки переваги, але й недоліки. У сонячних – висока вартість установки, у вітряних – мінливість вітру, у рідкопаливних генераторах – вартість експлуатації. Тому для найбільшої надійності електрозабезпечення рекомендується використовувати гібридну систему, що об'єднує два, а то й усі три види систем, що дозволяє використовувати переваги всіх компонентів, повністю нівелюючи недоліки.

Надійність електропостачання забезпечується, в основному на етапі проектування і залежить від обраного місця розташування установки, використовуваного обладнання й кваліфікації обслуговуючого персоналу. Основні типи гібридної системи:

- Автономна система з використанням акумуляторних батарей. Часто включає в себе сонячні панелі і резервний генератор.
- Фотоелектрична (вітроелектрична) система з подачею електроенергії в мережу.
- Автономна система з використанням акумуляторних батарей з підключенням до зовнішньої мережі для продажу надлишкової енергії.

Сонячні панелі в автономних системах електропостачання зазвичай застосовуються для забезпечення порівняно невеликих потреб в електроенергії (до 20 кВт), а також у віддалених місцях, де відсутня можливість установки вітрогенераторів. Сонячні панелі є найбільш переважним варіантом у тих випадках, якщо електроенергії потрібно небагато, тому що вони більш надійні в забезпеченні енергією, у порівнянні з вітроустановками, не потребують



установки щогли, та й місця займають менше і при розміщенні на даху практично не видно зовні, не псують загальний вигляд будівлі.

Щоб збільшити загальну ефективність автономної системи електропостачання все частіше використовують гібридні системи електропостачання (рис.1). Гібридні системи – це автономні електричні системи, які складаються з більш ніж одного джерела енергії. Вони застосовуються для надійного електропостачання віддалених споживачів електроенергії і можуть задовольнити підвищені енергетичні запити. Зв'язок всіх виробників і споживачів електроенергії по ланцюгах постійного струму дозволяє реалізувати універсальну модульну конструкцію або доповнювати систему уніфікованими компонентами. Найбільш поширені конфігурації, що складаються з фотоелектричних сонячних панелей і дизель- генератора або з вітрогенератора з дизель-генератором. В якості опції дизельне паливо може бути замінене біодизелем. У систему також може бути інтегрована гідроелектростанція. При високій потребі в енергії особливо цікаві в економічному плані великі гібридні системи зі звичайним дизель-генератором. Вони дешевші в експлуатації, ніж станції тільки з дизель-генератором. Мобільний варіант гібридних систем – так звані енергоконтейнери. У цьому випадку в звичайному вантажному контейнері розміщені сонячний модуль, вітрогенератор, акумуляторна батарея і дизель генератор. Гібридна система швидко приводиться в дію після перевезення в будь-яке місце.

Сонячні панелі мають високий ресурс, не менше 40 років, за умови правильної експлуатації. Навіть великий град, сніг та інші несприятливі погодні дії не впливають на роботоздатність батарей.

Мінімально необхідне обслуговування – це очищення поверхні панелей від снігу та пилу, що збільшує ефективність уловлювання сонячних променів. Вироблення електроенергії сонячними батареями можна збільшити майже в два

рази, якщо використовувати систему стеження за сонцем, тобто систему, яка повертає батарею слідом за сонцем протягом усього світлового дня.



Рисунок 1.1 – Автономна гібридна система енергопостачання

Обґрунтувавши заходи забезпечення енергонезалежності за допомогою гібридної системи, можна зробити висновок, що для будівлі школи, оптимальним варіантом буде використання сонячної електростанції розміщеної на покрівлі закладу, а як додатковий вид енергозабезпечення буде вибрано систему акумуляторних батарей, це дасть змогу накопичувати вироблену енергію та реалізувати її на енергопотреби школи.

## **1.2 Аналіз типів і конструкцій ФЕС та систем накопичення енергії**

### **1.2.1 Класифікація типів і конструкцій СЕС**

Технології сонячної енергетики безперервно розвиваються і удосконалюються [37]. Рішення, які впроваджуються і працюють для генерації чистої «сонячної» електроенергії мають безліч різноманітних конфігурацій і відмінностей. У даному розділі буде коротко проаналізовано найбільш популярні типи сонячних електростанцій (фотоелектричних систем) і їх класифікації. Буде задіто лише ті сонячні електростанції, в основі роботи яких лежить принцип безпосереднього фотоелектричного перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію, а такі технології як концентраторні сонячні електростанції (баштові, тарільчасті, параболічні, на базі двигуна Стірлінга), теплові геліоколектори та інші розглядатися не буде.

За способом розміщення сонячних модулів всі фотоелектричні системи діляться на наступні типи:

- Наземні сонячні електростанції;
- Дахові сонячні електростанції (розташовуються на плоских, скатних і інших типах дахів);
- Фасадні сонячні електростанції;
- BIPV сонячні електростанції;
- Сонячні навіси і парковки;
- Плавучі сонячні електростанції;
- Мобільні (переносні) сонячні електростанції;

До кінця 2020 року в Україні переважно будувалися промислові наземні сонячні електростанції з розміщенням фотоелектричних модулів під фіксованим кутом, який забезпечував максимальну генерацію електроенергії за рік.



Рисунок 1.2 - Приклад плавучої СЕС у Швейцарських Альпах

В останній рік через зміну нормативного та законодавчого поля в нашій країні дахові сонячні електростанції поступово стають більш популярними. Особливо перспективним є сегмент комерційних дахових сонячних електростанцій для заміщення частини власного споживання електроенергії підприємствами з різних сфер бізнесу.

По можливості стеження за сонцем фотоелектричні системи діляться на:

- Стаціонарні сонячні електростанції з розташуванням сонячних батарей на фіксованих опорних конструкціях;
- Рухомі сонячні електростанції, що змонтовані на одноосьових сонячних трекерах зі змінним кутом нахилу по відношенню до поверхні землі (кут нахилу сонячних фотомодулів коригується автоматично або механічно кілька разів на сезон);
- Рухомі сонячні електростанції, змонтовані на одноосьових сонячних трекерах типу «схід-захід» (кут нахилу сонячних фотомодулів коригується автоматично протягом світлового дня);

Рухомі сонячні електростанції на двовісних сонячних трекерах (кут нахилу та азимут сонячних фотомодулів коригується автоматично протягом світлового дня).

По можливостях роботи спільно (паралельно) з існуючими силовими електричними мережами фотоелектричні системи діляться на такі типи:

- Мережеві сонячні електростанції (можуть будуватися на базі як стрінгових, так і центральних сонячних інверторів);
- Автономні сонячні електростанції змінного струму (АС);
- Автономні сонячні електростанції постійного струму (DC);
- Гібридні і резервні сонячні електростанції;
- Сонячно-дизельні гібридні електростанції.

Залежно від конструкції сонячних батарей розрізняють наступні системи:

- Односторонні сонячні електростанції (дахові та наземні);
- Двосторонні сонячні електростанції (bifacial solar panels);
- Світлопрозорі сонячні електростанції (найчастіше використовуються у вигляді ВІРV рішень).

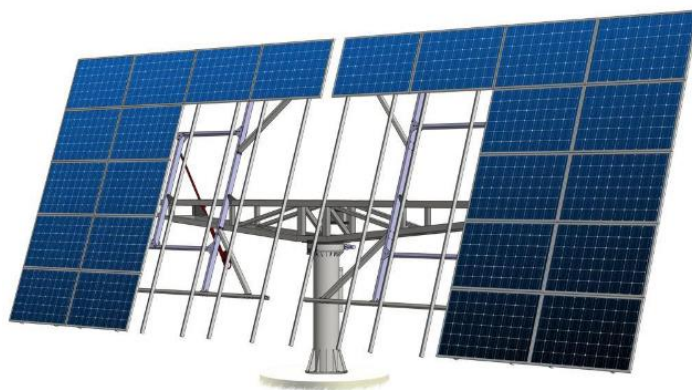


Рисунок 1.3 - Приклад розміщення фотомодулів на двохосьовому сонячному трекері

### 1.2.2 Аналіз типів і конструкцій систем накопичення енергії

Акумулятори – найважливіший елемент системи резервного живлення [38], тому що саме вони забезпечують функціонування техніки при виникненні несправностей в централізованій мережі енергоспоживання. Акумуляторна батарея є джерелом постійного току. Переважна кількість типів АКБ засновано на циклічному перетворенню хімічної енергії в електричну, що дозволяє багаторазово накопичувати та в подальшому віддавати електроенергію з батареї.

Типи акумуляторних батарей:

- Свинцево-кислотні акумулятори
- Літій-іонні акумуляторні батареї
- Нікелево-кадмієві (Ni-Cd) акумулятори

Літій-іонні пристрої – одні з найбільш прийнятних і довговічних варіантів. Термін служби досить високий і не залежить від зовнішніх чинників, які могли б вплинути на працездатність і призвести до більш швидкого зносу гелевих й інших батарей. Якісні АКБ Li-ion можуть пропрацювати до 20 років, при цьому їх кількість циклів заряду-розряду складе щонайменше 2500.

Літій-іонні пристрої не зношуються при сильних розрядах і тривалому зберіганні в розрядженому стані. Їх установка допускається в будь-якому положенні, це ніяк не відіб'ється на їх працездатності. Завдяки цьому літій-іонні пристрої вважаються одними з найбільш підхожих варіантів для систем безперебійного електропостачання й автономного живлення.

Акумуляторну батарею підбирають по декількох параметрах:

- **Ємність батареї, А\*год** – це величина заряду, яку акумулятор здатний з акумулювати, а потім віддати під час своєї роботи. Щоб з'ясувати, яка реальна віддача в акумулятора слід виконати простий розрахунок. Наприклад, акумулятор ємністю 200 А\*год і напругою 12В накопичують

$12 \times 200 = 2400$  Вт-г = 2,4 кВт\*год. Оскільки розряд батареї нижче рівня 50% заряду є критичним, тоді допустима потужність становить не більше 50% від номінальної, тобто орієнтовно 1-1,2 кВт\*год.

- **Вихідна напруга, В** – в більшості сучасних моделей рівна 12 В. Також є модифікації на 24В та 48В.
- **Максимальна величина пускового струму, А.** Практично всі електроприлади в момент старту потребують більше енергії, ніж в робочому режимі.

При розрахунку параметрів системи резервного живлення потрібно визначити потрібну потужність обладнання і ємність блоку акумуляторів. За загальним правилом потужність електрообладнання визначається у Ватах (Вт). Для визначення потрібних значень потужності спочатку підраховують статичну споживану потужність обладнання, що буде працювати при аварії на лінії електропередач постійно чи періодично (комп'ютер, холодильник, циркуляційний насос котла, лампи освітлення), з врахуванням середнього часу роботи в період доби. До результату додають короточасні запити додаткових споживачів (насос водопостачання, привід воріт). Нарешті, обов'язково слід врахувати динамічну пускову потужність обладнання. Вона виникає в момент запуску приладів і може перевищувати статичні значення в 3-4 рази. Обов'язково слід розрахувати бажаний час резервної роботи обладнання.

Особливості конструкції монтажу:

1. На першому етапі слід виділити критичну групу електричних приладів, що потребують 100 % енергозабезпечення при аварійних відключеннях е.е.
1. Систему резервного живлення краще розмістити в сухому місці, де підтримується постійна температура приблизно 5-12<sup>0</sup>С і наявна хороша вентиляція. Це може бути гараж, вентильоване та утеплене підвальне або підсобне приміщення.

2. Для розташування групи акумуляторних батарей слід передбачити орієнтовну площу 0,5-1 м.кв. Найчастіше для раціонального використання площі АКБ розміщують на спеціально передбаченому стелажі.
3. Для клемних з'єднань АКБ слід передбачити захисні ковпачки для мінімізації корозійного впливу вологи. Самі клемні болтові з'єднання слід перевіряти раз на три місяці на предмет належної фіксації, а також очищувати від пилу та бруду.

### **1.3 Оцінка раціональних енергоносіїв в залежності від територіального розташування закладу**

В даній дипломній роботі було вирішено розмістити стаціонарні сонячні панелі на південному скаті даху, апарати захисту та систему накопичення електроенергії буде розміщено в підвальному вентиляваному, сухому та утепленому приміщенні школи на спеціальних обладнаних стелажах. Розрахунок параметрів та вибір електрообладнання буде приведено в спеціальній частині.

### **1.4 Висновки та постановка задачі обґрунтування параметрів гібридної системи електропостачання будівлі закладу середньої освіти**

В сучасних реаліях система безперервного живлення вкрай необхідна особливо при частих відключеннях електромережі. Енергосистема школи потребує цього не менше. Гібридна система електропостачання у складі відновлювальних джерел енергії та системи накопичувачів, зможуть забезпечити критичні електроспоживачі закладу безперебійним живленням. Задача даного дипломного проєкту - це обґрунтування параметрів гібридної системи електропостачання закладу середньої освіти, тому буде проведено розрахунок і вибір елементів гібридної системи, проаналізовано та обґрунтовано



її параметри та забезпечення критично важливих електроносіїв закладу безперебійним живленням на основі відновлювального джерела енергії.

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Визначення початкових даних для проєктування системи електропостачання шкільного комплексу

Темою дипломного проєкту є – «Обґрунтування параметрів гібридної системи електропостачання будівлі закладу середньої освіти». За об'єкт проєктування буде взято заклад середньої освіти - Петропавлівська ЗОШ №2, який знаходиться в с.м.т. Петропавліка, Синельниківського району, Дніпровської області.

Будівля зазнала значних позитивних змін після реконструкції програми президента України «Велике будівництво».



Рисунок 2.1 – Фото головного входу до школи



Рисунок 2.2 – Фото внутрішнього двору школи



Рисунок 2.3,2.4 – Фото оновлених класів для початківців

Станом на 1 вересня 2022 року, в школі навчається понад 600 учнів [4] частина яких займають учні-переселенці евакуйовані із зони бойових дій. Школа займає особливе місце в освітній системі селища, адже на її базі у 2004 було створено територіальний освітній округ для здійснення технологічного напрямку профілізації основної школи. Завдяки міцній матеріально-технічній базі, навчальний заклад став опорним для здійснення профільного навчання на рівні державних стандартів. Школа є творчою лабораторією зі створення єдиного освітнього простору, використання інформаційно-комунікаційних технологій в освітньому процесі та визначення їх впливу на становлення особистості учня.



Рисунок 2.5 – Фото школи з висоти

### 2.1.1 Мережа живлення

Споруда отримує живлення від ЗТП-440 – 10/0,4 кВ, а ЗТП в свою чергу отримує живлення від ПС «Мічуріна» 35/10 кВ.

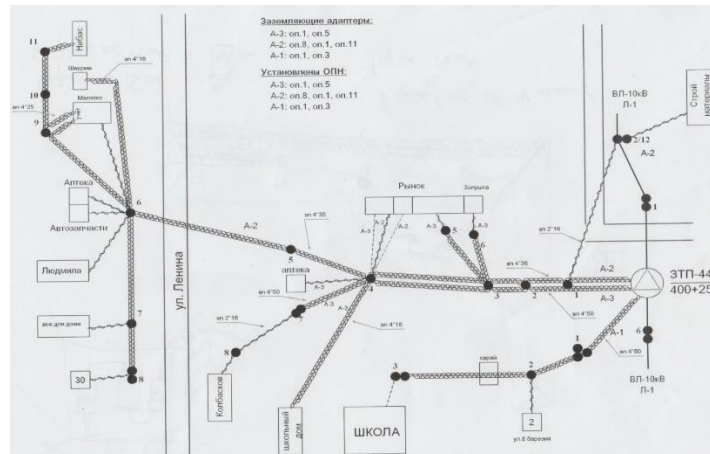


Рисунок 2.6 – Поопорна схема ВЛ-0,4кВ ЗТП-440

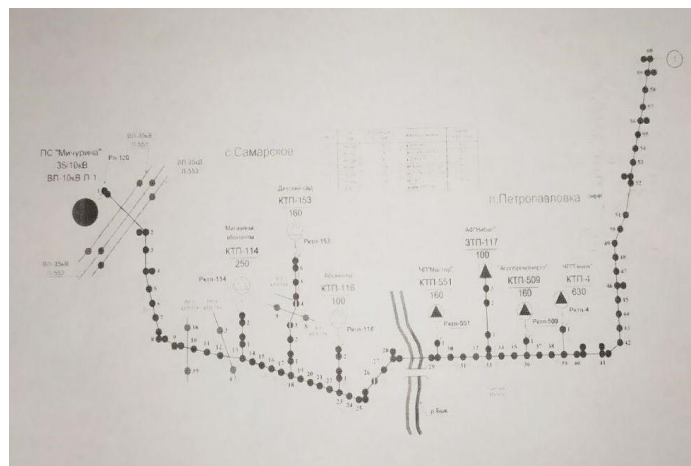


Рисунок 2.7 – Поопорна схема ВЛ-10кВ, ПС Мічуріна 35/10кВ

### 2.1.2 Споживання електроенергії

Річне споживання електричної енергії школи станом на 2020-2021 рік становить 65144 кВт·год. Помісячне споживання приведені в таблиці 1.

Таблиця 2.1 – Кількість спожитої електроенергії закладу

Місяць	Кількість ел.ен., кВт·год	Всього, кВт·год
Січень	8381	65144
Лютий	8311	
Березень	6296	
Квітень	5453	
Травень	4671	
Червень	4686	
Липень	1942	
Серпень	1871	
Вересень	2559	
Жовтень	5193	
Листопад	7355	
Грудень	8426	

## 2.2 Моделювання графіків електричного навантаження школи

Для моделювання графіків електричного навантаження школи, згідно методичним вказівкам із [50], необхідно розрахувати розрахункову електричну потужність, добову кількість споживаної енергії, середньодобове електричне навантаження, коефіцієнт заповнення графіка за дискретними значеннями. Потужність електрообладнання споруди приведено в таблиці 2.

Таблиця 2.2 - Потужність електрообладнання закладу середньої освіти

№ п/п	Електрообладнання по групам	Загальна кількість, шт	Загальна потужність, кВт	Кількість споживаної ел.ен, кВт·год/міс
1	Освітлення	120	1,2	1200
2	Електроустаткування кухні	8	2,4	1300
3	Електроустаткування класів	50	6	4426
4	Електроустаткування технологічних кабінетів	10	0,8	500
5	Електроустаткування котельні	1	1,5	1000
6	Всього		11,7	8426

Дані навантаження електроприймачів будівлі занесено до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Дані навантаження електроприймачів будівлі

Час	Р, кВт
0	0,585
1	0,585
2	0,585
3	0,585
4	0,585
5	1,17
6	1,755
7	5,85
8	7,02
9	8,19
10	8,775
11	9,36
12	8,19
13	9,36
14	8,19
15	7,02
16	5,85
17	4,095
18	2,34
19	1,17
20	1,17
21	1,17
22	0,585
23	0,585
24	0,585

Знаходимо значення середньої потужності за проміжок 0-1 год:

$$P_{0-1}=(P_0+P_1)/2, \text{ кВт} \quad (2.1)$$

$$P_{0-1} = (0,585 + 0,585) / 2 = 0,585 \text{ кВт}$$

Проводимо аналогічний розрахунок середньої потужності для інших проміжків і заносимо результати в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Дані середньої добової потужності

Р, кВт	Час
0,585	0-1
0,585	1-2
0,585	2-3
0,585	3-4
0,877	4-5
1,46	5-6
3,8	6-7
6,43	7-8
7,605	8-9
8,48	9-10
9,06	10-11
8,775	11-12
8,775	12-13
8,775	13-14
7,605	14-15
6,435	15-16
4,97	16-17
3,21	17-18
3,51	18-19
1,17	19-20
1,17	20-21
0,877	21-22
0,585	22-23
0,585	23-24

Побудуємо графік електричних навантажень за даними таблиці 2.4.



Діаграма 1 - Графік електричних навантажень середньої добової потужності

Знаходимо розрахункову електричну потужність:

$$P_p = P_{\text{макс}}, \text{ кВт}, \quad (2.2)$$



де  $P_{\text{макс}}$  - максимальне значення середньої потужності,  $P_{\text{макс}} = 9,06$  кВт із табл. 2.4;

$$P_p = 9,06 \text{ кВт.}$$

Знаходимо середнє значення добової кількості споживаної енергії:

$$W_{\text{а.доб}} = P_{0-1} + P_{0-2} + \dots + P_{23-24}, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (2.3)$$

$$W_{\text{а.доб}} = 102,1 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Знаходимо середньодобове електричне навантаження:

$$P_{\text{сер.доб.}} = W_{\text{а.доб}} / 24, \text{ кВт}, \quad (2.4)$$

$$P_{\text{сер.доб.}} = 102,1 / 24 = 4,25 \text{ кВт.}$$

Знаходимо коефіцієнт заповнення графіка:

$$K_{\text{з.г.}} = W_{\text{а.доб}} / 24 \cdot P_p, \quad (2.5)$$

$$K_{\text{з.г.}} = 102,1 / 24 \cdot 9,06 = 0,4695.$$

Визначаємо середньорічне споживання електроенергії. Знаходимо значення середньої потужності за проміжок 0-1 місяців, дані беремо із таблиці 2.1:

$$W_{1-2} = (W_1 + W_2) / 2, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (2.6)$$

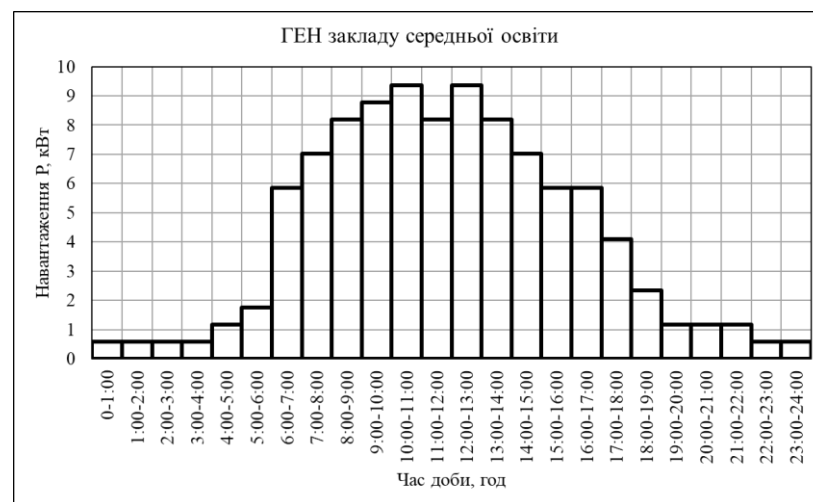
$$W_{1-2} = (8381 + 8311) / 2 = 8346 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Проводимо аналогічний розрахунок середнього споживання потужності для інших проміжків і заносимо результати в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 - Дані середнього річного споживання потужності

Місяць	$W_a$ , кВт · год
0-1	8381
1-2	8346
2-3	7503,5
3-4	5874,5
4-5	7788,5
5-6	4678,5
6-7	3314
7-8	1906,5
8-9	2215
9-10	3876
11-12	6274

Побудуємо графік електричних навантажень згідно розрахованим величинам:



Діаграма 2 - Графік електричних навантажень закладу середньої освіти

### 2.3 Розрахунок технічних характеристик та вибір обладнання сонячної станції

Розрахунок і планування фотоелектричних установок відбувається на підставі існуючого законодавства, технічних норм, поточного проєкту будівлі. Основним вимога для таких сонячних установок є наявність мережі і прямого договору з постачальником електроенергії.

На сьогоднішній день фотоелектричні установки можуть бути розташовані як на даху, так і на спеціальних наземних конструкціях. Обидва варіанти дозволені законодавством. В першу чергу використовуються скати даху орієнтовані на Південь, тобто ті, продуктивність яких на поточний рік буде максимальною. Далі вже можна використовувати південно-східні і південно-західні скати.

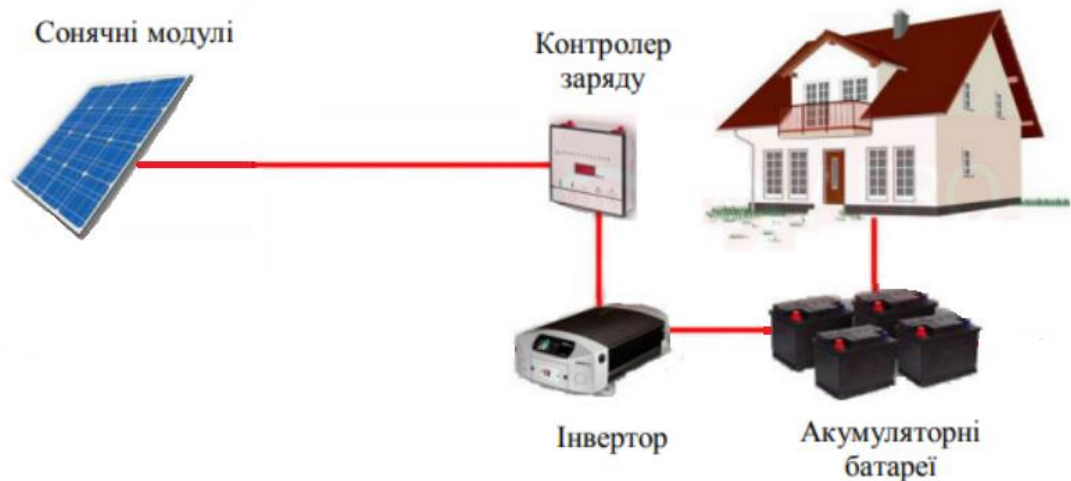


Рисунок 2.8 - Автономна гібридна система електропостачання

### 2.3.1 Розрахунок продуктивності ФЕС

Точні розрахунки та інжиніринг систем енергопостачання з відновлювальними джерелами енергії є запорукою їх продуктивної та безаварійної експлуатації, істотної економії ресурсів і мінімізації зовнішнього енергоспоживання. Для правильного розрахунку таких систем енергопостачання і обліку різних параметрів, що впливають на їх продуктивність, використовуються спеціальні програми, автокалькулятори і статистичні метеодані - сонячна інсоляція, швидкість вітру, температура та інші умови. Не існує єдиного підходу до розрахунку всіх типів систем, тому виділимо основні параметри.

#### 2.3.1.1 Кут нахилу панелей

Кут нахилу розраховується за наступною формулою:

$$\text{Кут нахилу панелі} = \text{широта} \cdot 0,76 + 3,1^\circ, \quad (2.7)$$

де *широта* – географічна координата регіону, в нашому випадку це Дніпропетровська область, отже широта  $48^\circ$ , із таблиці 1 [5].

$$\text{Кут нахилу панелі} = 48 \cdot 0,76 + 3,1 = 39,6^\circ$$

#### 2.3.1.2 Орієнтація за сторонами світу

Визначаємо поправочний коефіцієнт  $K_w$  при орієнтації панелей за сторонами світу.

Поправочний коефіцієнт визначається за: орієнтацією панелей за сторонами світу за оптимального кута нахилу і широтою місцевості. Для цього скористуємося рис.2.9.

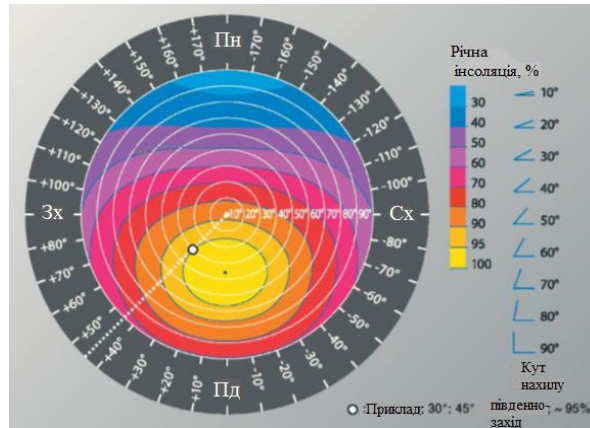


Рисунок 2.9 – Діаграма визначення поправочного коефіцієнта на розташування сонячних фотомодулів

Отже, при куті нахилу панелей  $39,6^\circ$  і розташуванням їх на південь – поправочний коефіцієнт  $K_w$  буде дорівнювати 100%.

### 2.3.1.3 Номінальні параметри ФЕС

ФЕС повинна відповідати наступним параметрам:

- STC (Standard Test Conditions), що визначає стандартні тестові умови: рівень інсоляції повинен бути  $1000 \text{ Вт на м}^2$ ; - температура сонячного модуля –  $25^\circ\text{C}$ ; - спектр випромінювання повинен відповідати відносній масі атмосфери;
- NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) - температура модуля при типових умовах експлуатації, яка стала однією з основних характеристик

панелей. Умови NOCT: - інсоляція  $800 \text{ Вт/м}^2$ ; - температура повітря  $20^\circ\text{C}$ ; - орієнтації модуля на ПД.

Очікувана температура модуля обчислюється з NOCT за формулою:

$$T_{\text{PTC}} = 20 + 1,389 \cdot (\text{NOCT} - 20) \cdot (0,9 - \eta), [^\circ\text{C}], \quad (2.8)$$

де значення  $(0,9 - \eta)$  - частка сонячної енергії, що досягає модуля і перетворюється в тепло;

Знаходимо потужність по PTC:

$$P_{\text{PTC}} = P_{\text{STC}} \cdot [1 - C_T (T_{\text{PTC}} - 25^\circ\text{C})], [\text{Вт}], \quad (2.9)$$

де  $P_{\text{STC}}$  – потужність за умов STC;

$C_T$  – температурний коефіцієнт потужності.

Оптимальним є значення співвідношення,

$$P_{\text{PTC}} / P_{\text{STC}}, \quad (2.10)$$

що перевищує 88%. Якщо при перерахунку потужності на більш реальний стандарт панель втрачає понад 12% енергії, то її виробника можна вважати недобросовісним і використовувати такі панелі не рекомендується.

Для подальшого проєктування, обирається три виробника фотоелектричних панелей, розрахунок проводиться за номінальними параметрами і обирається оптимальний варіант.

### 2.3.1.4 Розрахунок параметрів і вибір оптимального виробника фотоелектричних панелей

Для розрахунку обираємо фотоелектричні панелі наступних виробників: JA Solar, Risen Energy, Longi Solar з технічними даними наведеними в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Технічні дані фотоелектричних панелей

Параметри	Назва виробника		
	JA Solar,	Risen Energy	Longi Solar
Сертифікована потужність $P_{STC}$ , Вт	540	540	540
Максимальний струм $I_m$ , А	13,86	17,17	12,97
Напруга за STC $U_{STC}$ , В	41,7	31,46	41,65
НОСТ, °С	45	45	45
ККД, $\eta_{фем}$	20,9	20,7	21,1
температурний коефіцієнт потужності $S_t$ , %	0,35	0,35	0,35
Площа панелі	2,58	2,61	2,55

S, м <sup>2</sup>			
Ціна, грн	9563	10449	8500

Підставивши значення у формули (2.8), (2.9) і (2.10), знаходимо очікувану температуру модуля, потужність по PTC та значення  $P_{PTC}/P_{STC}$ , розрахунок проводимо на прикладі виробника Longi Solar:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 \cdot (45 - 20) \cdot (0,9 - 0,211) = 43,92 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$P_{PTC} = 540 \cdot [1 - 0,0035 \cdot (43,92 - 25)] = 504,2 \text{ Вт};$$

$$504,2/540 \cdot 100 = 93 \%$$

Значення потужності PTC до потужності STC не менше 88%, отже воно є оптимальним, але ні один із стандартів випробувань для фотомодулів не описує їх роботу в реальних умовах, навіть в зимовий сонячний день панелі можуть видавати потужність вище номіналу. Розрахунок для виробників JA Solar і Risen Energy проводимо аналогічно і заносимо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Розрахунок параметрів за PTC для інших виробників фотомодулів

Параметри	Назва виробника	
	JA Solar	Risen Energy
$T_{PTC}$ , °C	44	44,1
$P_{PTC}$ , Вт	504,1	503,91
$P_{PTC}/P_{STC}$ , %	93	93



Об'єкт проектування знаходиться в Дніпровській області, де рівень інсоляції на  $1\text{ м}^2$  досягає  $1250\text{ кВт/м}^2\cdot\text{рік}$ .

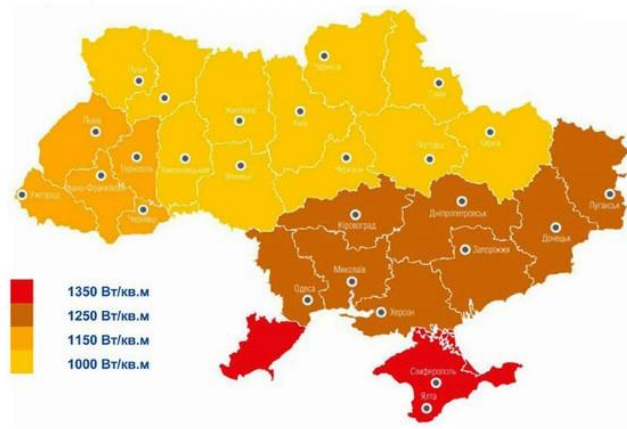


Рисунок 2.10 - Середня сумарна річна інсоляція для умов України,  $\text{кВт}/(\text{м}^2\cdot\text{рік})$

Завдяки даним із таблиці 2.8, можна розрахувати середньомісячний рівень сонячної іррадіації (інсоляції).

Таблиця 2.8 - Середньомісячний рівень сонячної іррадіації (інсоляції) в містах України (кВт·год/(м<sup>2</sup>·день)

Дані NASA за останні 20 років													
Регіони / Місяці	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Середнє
Сімферополь	1,27	2,06	3,05	4,3	5,44	5,84	6,2	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,1	0,9	3,11
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,7	5,08	3,66	2,27	1,2	0,96	3,36
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запоріжжя	1,21	2	2,91	4,2	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Івано-Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,4	3,06	2	1,2	0,94	2,94
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,1
Кропивницький	1,2	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,3
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв	1,25	2,1	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава	1,18	1,96	3,05	4	5,4	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,1	0,86	3,16
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,1	1,19	0,9	3,26
Херсон	1,3	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6	5,29	4	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,1	0,87	3,06
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,4	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігів	0,99	1,8	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,4	3,06	2	1,2	0,94	2,94

Знаходимо добовий рівень інсоляції для 30 кВт ФЕС в січні місяці, [кВт·год/доб]:

$$E_{доб} = E_0 \cdot \eta \cdot P_{PTC} / P_{STC} \cdot S \cdot N, \quad (2.11)$$

де  $E_0$  – середньомісячний рівень сонячної інсоляції за січень місяць, для Дніпровської області  $E_0 = 1,21$  із таблиці 2.8;

$\eta$  – ККД сонячної панелі, для виробника Longi Solar  $\eta = 0,211$  із таблиці 2;

S- площа панелі,  $S = 2,55 \text{ м}^2$  із таблиці 2.6;

N – кількість панелей, що складають 30 кВт ФЕС.

$$N = P_{ст} \cdot 1000 / P_{РТС}, \quad (2.12)$$

де  $P_{ст}$  – потужність станції.

$$N = 30 \cdot 1000 / 504,2 = 59,5 \approx 60 \text{ шт}$$

$$E_{доб} = 1,21 \cdot 0,211 \cdot 0,93 \cdot 2,55 \cdot 60 \approx 36,3 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{доб}$$

Знаходимо місячний рівень інсоляції для 30 кВт ФЕС за січень, [кВт·год/доб]:

$$E_{міс} = E_{доб} \cdot 31 = 36,3 \cdot 31 = 1126,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{міс} \quad (2.13)$$

Місячний рівень інсоляції для інших місяців розраховуємо аналогічно і заносимо до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Рівень інсоляції 30 кВт ФЕС з використанням сонячних панелей виробника Longi Solar

Дніпро	Дніпро $E_0$	$E_{доб}$ кВт·год/доб	$E_{міс}$ кВт·год/міс	$\sum E$ Сезон, кВт·год/сез	$\sum E$ річне, кВт·год/рік
Січень	1,21	36,3	1 089	3 654,1	
Лютий	1,99	59,7	1 671,6		
Березень	2,98	89,5	2 685	11 452,6	
Квітень	4,05	121,6	3 769,6		
Травень	5,55	166,6	4 998		
Червень	5,57	167,2	5 183,2	15 043,7	
Липень	5,7	171,1	5 133		
Серпень	5,08	152,5	4 727,5		
Вересень	3,66	110	3300	6 497,2	

Жовтень	2,27	68,2	2 114,2		
Листопад	1,2	36,1	1083		
Грудень	0,96	28,8	893,5		36 648

Просумувавши інсоляцію всіх місяців, можна отримати річну.

$$\sum E_{рік} = 36\,648 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$$

Розрахунок річної інсоляції для виробників JA Solar та Risen Energy виконуємо аналогічно, а результати заносимо до таблиці 2.10 і 2.11.

Таблиця 2.10 - Рівень інсоляції 30 кВт ФЕС з використанням сонячних панелей виробника JA Solar.

Дніпро	Дніпро $E_0$	$E_{доб}$ , кВт·год/доб	$E_{міс}$ , кВт·год/міс	$\sum E$ Сезон, кВт·год/сез	$\sum E$ річне, кВт·год/рік
Січень	1,21	36,4	1092	3671	
Лютий	1,99	60	1680		
Березень	2,98	90	2700	11492	
Квітень	4,05	122	3782		
Травень	5,55	167	5010		
Червень	5,57	167,6	5196	15084	
Липень	5,7	171,5	5145		
Серпень	5,08	153	4743		
Вересень	3,66	110	3300	7399	
Жовтень	2,27	68,3	2117		
Листопад	1,2	36,1	1083		
Грудень	0,96	29	899		37646

Таблиця 2.11 - Рівень інсоляції 30 кВт ФЕС з використанням сонячних панелей виробника Risen Energy

Дніпро	Дніпро $E_0$	$E_{доб}$ , кВт·год/доб	$E_{міс}$ , кВт·год/міс	$\sum E$ Сезон, кВт·год/сез	$\sum E$ річне, кВт·год/рік
Січень	1,21	36,5	1095	3672,2	36800
Лютий	1,99	60	1680		
Березень	2,98	90	2700	11504,1	
Квітень	4,05	122,1	3785,1		
Травень	5,55	167,3	5019		
Червень	5,57	168	5208	15108,1	
Липень	5,7	171,8	5154		
Серпень	5,08	153,1	4746,1		
Вересень	3,66	110,3	3309	6515,4	
Жовтень	2,27	68,4	2120,4		
Листопад	1,2	36,2	1086		
Грудень	0,96	29	897,2		

Як можна бачити за результатами розрахунків, більш за все енергії за рік будуть продукувати панелі виробника JA Solar, але більш доцільно буде дослідити співвідношення ціни та якості продукції даних виробників. Тому буде проведено розрахунок ціни панелей на 30 кВт ФЕС від представлених вище виробників.

Розраховуємо ціну панелей на 30 кВт ФЕС виробника Risen Energy, грн:

$$Z_{пан} = N \cdot Z_{о.п.}, \quad (2.14)$$

де  $Z_{о.п.}$  – ціна однієї панелі, із таблиці 2.6.

$$Z_{пан1} = 60 \cdot 10449 = 626\,9401 \text{ грн};$$

Розраховуємо ціну панелей на 30 кВт ФЕС виробника Longi Solar, грн:

$$Z_{пан2}=60 \cdot 8500= 510\ 000 \text{ грн};$$

Розраховуємо ціну панелей на 30 кВт ФЕС виробника JA Solar, грн:

$$Z_{пан3}=60 \cdot 9563= 573\ 780 \text{ грн};$$

Отже, порівнявши ціну панелей і вироблення енергії за даними розрахунками в подальшому проектуванні буде використано сонячні панелі марки Longi Solar типу LR5-72HPH-540M.

### 2.3.2 Вибір гібридного інвертора

Інвертор – це електротехнічний прилад, який перетворює постійний струм у змінний. Завдяки цьому приладу енергія сонця яка потрапляє на сонячні панелі, а згодом надходить як постійний струм на інвертор – перетворюється на змінний струм, який використовується для живлення всіх побутових електроспоживачів.

- Вибір інвертора обумовлюється наступним критеріями із [9].
- Бренд;
- Вид (гібрид, автономний, мережевий під зелений тариф);
- Фазність;
- Кількість MPPT;
- Потужність по постійному струму;
- Потужність по змінному струму;

Додаткові критерії вибору інвертора:

- Технологія перетворення (трансформаторна або без трансформаторна);
- Вбудований електрозахист;
- ККД перетворення;
- Можливість обмеження генерації;
- Комунікація з ПК, Інтернет;
- Максимальні та мінімальні струми по змінному та постійному струму;
- Сертифікація.

Види інверторів

В залежності від призначення виділяють три види:

- Під зелений тариф (feed-in tariff) – вся енергія що генерується сонячними панелями перетворюється та відразу передається в загальну енергомережу;
- Автономні – сонячна електрика використовується виключно для власного споживання (обов'язкове використання акумуляючого обладнання);
- Гібридні інвертори – можуть працювати і під зелений тариф, а також заряджати АКБ.

Фазність інверторів

Інвертори бувають однофазні та трифазні. Вибір залежить від технічних умов приєднання будівлі до лінії електропередач. Також треба звертати увагу, що в наших реаліях при однофазному приєднанні, максимальна потужність інвертора по змінному струму не повинна перевищувати 6 кВт.

## Кількість MPPT контролерів

MPPT (Maximum Power Point Tracking) контролер – прилад для контролю заряду та якості виробленої енергії, відображає параметри системи та аналізує отриману інформацію. Встановлюється як на стороні постійного струму (DC) так і на стороні змінного струму (AC). На сьогоднішній день більшість виробників інверторів мають влаштовану систему MPP трекерів, це надає системі ряд переваг: збалансованість, зручність в експлуатації, легкість налаштування.

Підбір інвертора за потужністю змінного та постійного струму

А). Змінний струм.

Підбір сонячного інвертора для станції під зелений тариф здійснюється за номінальною потужністю відносно встановленої потужності сонячної електростанції. Наприклад: сонячна станція розрахована на 15 кВт, це означає що вибирається інвертор на 15 кВт або менше. При встановленні потужності ФЕС та оформленні документів, для Обленерго, саме дана характеристика є визначальною.

Б). Постійний струм. Якісні інвертори мають можливість підключення сонячних панелей на 20-30% більше ніж інвертор може видати по змінному струму. Наприклад, інвертор Fronius Eco 27 видає по змінному струму 27 кВт, а по стороні сонячних панелей його можна навантажити на понад 37 кВт. Це дає можливість в похмуру погоду отримувати більше електричної енергії, а також почати генерацію раніше та закінчити пізніше інших станцій. Проте, в пікові моменти інвертор обріже генерацію до 27 кВт. Економічний розрахунок показує, що за рахунок завищення потужності фотомодулів, сонячна електростанція працює значно ефективніше, а відповідно інвестиції повертаються значно швидше. При цьому небезпеки для інверторного обладнання не завдається.



**Висновок:**

Враховуючи рекомендації вище, можна зробити певний аналіз. В дипломній роботі, було запроваджено гібридну СЕС на 30 кВт, а це означає що і вид перетворювача буде гібридним, а його потужність повинна складати 30 кВт. Споруда має трьохфазну мережу, тому обираємо трьохфазний гібридний інвертор марки NetPRO Alpha 30 кВт із [41], (рис.2.11) врахувавши ціно-якісні характеристики. Параметри інвертора занесені в таблицю 2.12.



Рисунок 2.11 - Система інверторів NetPRO Alpha 30 кВт

Таблиця 2.12 - Технічні характеристики інвертора NetPRO Alpha

$P_{\text{ном.вих}}$ , кВт	30
$U_{\text{ном.інв}}$ , В	380
Кількість фаз	3
MPPT, В	120-430
$U_{\text{ном.АКБ}}$ , В	48
$I_{\text{макс.заряду}}$ , А	160
Габаритність, мм	120x295x468
Маса, кг	12
Ціна, грн	261 252

Система інверторів NetPRO Alpha 30 кВт це система яка складається з шести підключених інверторів NetPRO Alpha 5000, яка володіє всіма характеристиками інверторів NetPRO Alpha 5000 и робочою потужністю 30 кВт на 3 фази (10 кВт на 1 фазу).

В дану систему входить шість інверторів NetPRO Alpha 5000 и шість плат для паралельного підключення. Система дуже гнучка в роботі з можливістю масштабування потужності (до 35 кВт на 1 фазу) надалі з урахуванням даних інверторів.

Інвертор призначений для безперервної передачі енергії від фотоелектричних модулів, акумулятора чи централізованої мережі. Пристрій може одночасно жити навантаження і заряджати акумулятори, якщо достатньо вироблюваної потужності від фотоелектричних модулів.

### 2.3.3 Вибір захисної апаратури

Однією з важливих складових для сонячної електростанції з гібридною системою є її захист. Адже навіть у випадках, коли сонячна електростанція ефективно та якісно спроектована, вона все одно підпадає під ризик аварій, які обумовлені різними факторами. Джерелами спричинення аварійних ситуацій можуть бути наступні фактори: вітрове навантаження, неякісний монтаж,

навмисне пошкодження, удар блискавки, домашні тварини, браковане обладнання, не правильна комутація тощо.

Всі ці зовнішні та внутрішні фактори можуть призвести до значних порушень у діяльності СЕС.

Тому для забезпечення якісного захисту сонячної електростанції треба подбати заздалегідь, адже надійний захист стане запорукою результативної діяльності всієї системи.

### 2.3.3.1 Вибір захисту на стороні постійного струму (DC)

Для збереження інвертора на стороні постійного струму використовують плавкі чи автоматичні запобіжники, обмежувач від перенапруг (ОПН), та роз'єднувач перевантаження.

#### Вибір запобіжника

Запобіжник вибирається за наступними умовами із [8]:

$$1) I_{м.п} \cdot 1,4 \leq I_{н.з}, A, \quad (2.15)$$

де  $I_{м.п}$  - максимальний струм панелі із таблиці 2.6,  $I_{м.п} = 12,97 A$ ;

$I_{н.з}$  – номінальний струм запобіжника.

$$2) U_{стс.п} \cdot 1,2 \cdot n_{п.с} \leq U_{н.з}, В \quad (2.16)$$

де  $U_{стс.п}$  – напруга холостого ходу панелі при нормальних умовах із таблиці 2.6;

$n_{п.с}$  - кількість панелей в стрінгу;

$U_{н.з}$  - номінальна напруга запобіжника.

Приймається до розрахунку запобіжник фірми ETI CH14x51 SRF20/600V технічні дані якого занесені до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 - Технічні дані запобіжника ETI CH14x51 SRF20/600V

Параметри	
Номінальний струм, А	20
Номінальна напруга, В	600
Вимикаюча здатність, кА	200
Ціна, грн	66

Перевірка запобіжника на умовами (2.15) і (2.16).

$$1) 12,97 \cdot 1,4 < 20, \text{ А}$$

$$18,2 < 20 \text{ А.}$$

$$2) 41,65 \cdot 1,2 \cdot 10 < 600 \text{ В,}$$

$$500 < 600 \text{ В.}$$

Умови виконуються, отже запобіжник вибрано правильно.

При проектуванні було вирішено розбити 60 панелей на 6 стрінгів, це означає що на кожен стрінг буде встановлено по 2 запобіжника на «+» і «-». Отже, до встановлення прийнято 20 х ETI CH14x51 SRF20/600V.

## Вибір обмежувача від перенапруг (ОПН) на стороні DC

Обмежувач перенапруг – пристрій, який захищає систему від імпульсних перенапруг. Під час імпульсу великої напруги, ОПН обмежує його до пропускнуго, а залишок імпульсу відпускає на заземлення.

ОПН вибирається за напругою тривалості роботи із [11]:

$$U_m \cdot 1,1/1,73 \leq U_c, \text{ В}, \quad (2.17)$$

де  $U_m$  – найбільша напруга мережі;

$U_c$  – напруга ОПН.

Приймається до установки трьохполюсний обмежувач від перенапруг типу SUP2-PV із [10], рис.2.12, його технічні дані занесено до таблиці 2.14.



Рисунок 2.12 – Обмежувач перенапруги SUP2-PV

Таблиця 2.14 - Технічні дані ОПН SUP2-PV

Параметри	
Кількість полюсів	3
Номінальна напруга, В	1000
Максимальний розрядний струм, кА	40
Номінальний розрядний струм, кА	20
Рівень напруги захисту, кВ	3,2
Ціна, грн	2117

Перевірка за умовою (2.17):

$$1000 \cdot 1,1/1,73 \leq 1000 \text{ В,}$$

$$636 < 1000 \text{ В}$$

Умова виконується, ОПН вибрано правильно.

Вибір роз'єднувача перевантаження

Роз'єднувачі та вимикачі-роз'єднувачі застосовують у розподільних пристроях для здійснення ручних операцій вмикання/вимикання електричних кіл. Ці апарати не забезпечують захист мереж від перевантажень та коротких замикань, тому у розподільних пристроях послідовно до цих апаратів приєднують запобіжники.

Роз'єднувач перевантаження обирається за наступних умов:

$$1) I_{m.n.} \leq I_{n.p.n.}, A; \quad (2.18)$$

$$2) U_m \leq U_{n.p.n.}, B. \quad (2.19)$$

Приймається до установки чотирьохполюсний роз'єднувач перевантаження типу LS16 SMA із [12], рис.2.13, його технічні дані занесено до таблиці 2.15.



Рисунок 2.13 - Чотирьохполюсний роз'єднувач перевантаження типу LS16 SMA

Таблиця 2.15 - Технічні дані LS16 SMA

Параметри	
Номінальна напруга, В	1000
Номінальний струм, А	16
Ціна, грн	1648

Перевірка за умовами (2.18) і (2.19).

- 1)  $12,97 < 16 \text{ A}$ ;
- 2)  $1000 = 1000 \text{ B}$ .

Умови виконуються, роз'єднувач вибраний правильно.

### Вибір електрощитка

Для розміщення апаратів захисту на стороні як постійного так і змінного струму використовують електрощитки. Їх вибирають за способом монтажу (навісні або внутрішні), за матеріалом виготовлення (металеві або пластикові), за кількістю встановлення модулів та ІР виконанням.

В даному дипломному проєкті було вирішено обрати два навісних металевих електрощита на 24 модуля фірми ІЕК типу ЩРН-24з-1 36 УХЛЗ ІР31 із [13], рис.2.14.



Рисунок 2.14 - Електрощиток на 24 модуля фірми ІЕК типу ЩРН-24з-1 36 УХЛЗ ІР3



### 2.3.3.2 Вибір захисту на стороні змінного струму (АС).

Для захисту електрообладнання на стороні змінного струму (АС) використовують: автоматичний вимикач, диференційне реле (УЗО) та ОПН.

#### Вибір автоматичного вимикача

Автоматичний вимикач необхідний для захисту установки від короткого замикання зі сторони кабелів. Автоматичні вимикачі бувають однополюсні, двохполюсні, трьохполюсні та чотирьохполюсні, при однофазній мережі використовують однополюсний автомат, при трьохфазній – трьохполюсний.

Автоматичний вимикач обирається за наступними умовами із [8]:

$$1). U_{н.інв} \leq U_{н.а.в}, \quad (2.20)$$

де  $U_{н.інв.АС}$  – номінальна напруга інвертора на стороні АС, із таблиці 9,  $U_{н.інв.АС} = 380 \text{ В}$ ;

$U_{н.а.в}$  – номінальна напруга автоматичного вимикача.

$$2). I_{\max.АС} \leq I_{н.а.в}, \text{ А} \quad (2.21)$$

де  $I_{\max.АС}$  – максимальний струм групи інверторів на стороні АС, із таблиці 9,  $I_{\max.АС} = 160 \text{ А}$ , приймаємо 1 автомат на два інвертора, отже  $I_{\max.АС} = 53,3 \text{ А}$ ;

$I_{н.а.в}$  – номінальний струм автоматичного вимикача.

$$3). I_{\max.AC} \leq 0,9 \cdot I_{розч}, \quad (2.22)$$

де  $I_{розч}$  – номінальний струм розчеплювача.

Приймається до установки автоматичний вимикач фірми ІЕК типу MVA20-3-050-C із [13], рис.2.15, технічні дані якого занесено до таблиці 2.16.



Рисунок 2.15 - Автоматичний вимикач фірми ІЕК типу MVA20-3-050-C

Таблиця 2.16 - Технічні дані автоматичного вимикача фірми

Параметри	
Номінальна напруга <i>U<sub>n.a.в.</sub>, В</i>	380
Номінальний струм <i>I<sub>n.a.в.</sub>, А</i>	63
Номінальна вимикаюча здатність, кА	4,5
Клас відключення	C
Кількість полюсів	3
Ціна, грн	208x3

Перевірка за умовами (2.20), (2.21) та (2.22).

- 1).  $380=380 \text{ В}$ ,
  - 2).  $53,3 < 63 \text{ А}$ ,
  - 3).  $53,3 < 0,9 \cdot 63 \text{ А}$ ,
- $53,3 < 56,7 \text{ А}$ .

Умови виконуються, автоматичний вимикач вибраний правильно.

Вибір диференційного реле (ПЗВ)

Пристрій захисного відключення – це пристрій, який захищає людину або тварину від ураження електричним струмом в разі дотику до корпусу або частини механізму електрообладнання, які опинилися під напругою через замикання на них фазного електричного струму [15].

Вибір ПЗВ виконується за наступною умовою згідно [3]:

$$1). I_{\Delta} \leq I_{\Delta \text{ПЗВ}}, \quad (2.23)$$

де  $I_{\Delta}$ - струм витоку електроустановки, мА;

$I_{\Delta \text{ПЗВ}}$ – допустимий струм витоку ПЗВ, мА.

Розрахунок струму витоку електроустановки:

$$I_{\Delta} = I_{\Delta \text{ел.п}} + I_{\Delta \text{мережі}}, \quad (2.23)$$

де  $I_{\Delta \text{ел.п}}$ - струм витоку електроприймача, мА;

$I_{\Delta \text{мережі}}$ - струм витоку мережі, мА.

$$I_{\Delta \text{ел.л}} = 0,4 \cdot I_{\text{розр.}}, \quad (2.24)$$

де  $I_{\text{розр.}}$  – розрахунковий струм в ланцюзі,

$$I_{\text{розр.}} = I_{\text{max.AC}} = 53,3 \text{ A},$$

$$I_{\Delta \text{мережі}} = 0,01 \cdot L_n, \quad (2.26)$$

де  $L_n$  - довжина фазного провідника від автоматичного вимикача до ПЗВ, приймається 0,2 м;

$$I_{\Delta \text{ел.л}} = 0,4 \cdot 53,3 = 21,32 \text{ mA};$$

$$I_{\Delta \text{мережі}} = 0,01 \cdot 0,2 = 0,002 \text{ mA};$$

$$I_{\Delta} = 21,32 + 0,002 = 21,322 \text{ mA}.$$

Приймається до установки два чотирьохполюсних ПЗВ фірми ІЕК типу ВД1-63S 4P із [13], рис.2.16, технічні дані якого занесено до таблиці 2.17.



Рисунок 2.16 - Чотирьохполюсний ПЗВ фірми ІЕК типу ВД1-63S 4Р

Таблиця 2.17 - Технічні дані чотирьохполюсного ПЗВ фірми ІЕК типу ВД1-6S3 4Р

Параметри	
Струм витоку $I_{\Delta PZV}$ , мА	100
Вимикаюча здатність, кА	4,5
Номінальний струм, А	63
Кількість полюсів	4
Ціна, грн	1106x3

Перевірка за умовою (2.23):

$$21,322 < 100 \text{ мА.}$$

Умова виконується, отже ПЗВ вибраний правильно.

## Вибір обмежувача від перенапруг (ОПН) на стороні АС

Вибір ОПН на стороні АС вибирається аналогічно умові (2.17) пояснювальної записки.

Приймається до установки трьохполюсний обмежувач від перенапруг фірми ІЕК типу ОПС1-В ЗР 20/40кА 400В, його технічні дані занесено до таблиці 2.18.



Рисунок 2.17 – ОПН фірми ІЕК типу ОПС1-В ЗР 20/40кА 400В

Таблиця 2.18 - Технічні дані ОПН фірми ІЕК типу ОПС1-В ЗР 20/40кА 400В

Параметри	
Кількість полюсів	3
Номінальна напруга, В	380
Максимальний розрядний струм, кА	40
Номінальний розрядний струм, кА	20
Рівень напруги захисту, кВ	1,8
Ціна, грн	1637

Перевірка на умову:

$$380 \cdot 1,1/1,73 \leq 380 \text{ В};$$

$$241,6 < 380 \text{ В}.$$

Умова виконується, отже ОПН на стороні АС вибраний правильно.

### 2.3.4 Вибір кабельної продукції

#### 2.3.4.1 Вибір електропроводки на стороні постійного струму (DC)

Проектним рішенням було сплановано на стороні DC вибрати мідний одножильний кабель для фотогальванічних електричних установок, німецького виробника Solar Cable  $1 \times 6 \text{ мм}^2$  рис.2.18 із [10].



Рисунок 2.18 - Мідний одножильний кабель на стороні DC, Solar Cable  $1 \times 6 \text{ мм}^2$

Даний кабель має спеціальну двошарову ізоляцію, яка захищає від усіх типів впливу навколишнього середовища (дощ, сніг, ультрафіолетове випромінювання, температурні перепади). Застосування цього кабелю

дозволить уникнути можливих проблем при експлуатації фотоелектричних станцій та систем.

#### 2.3.4.2 Вибір електропроводки на стороні змінного струму (АС)

Проектним рішенням, було сплановано на стороні АС вибрати алюмінієвий чотирьохжильний кабель марки АВВГ 4х16 мм<sup>2</sup> з полівінілхлоридною ізоляцією, рис.22, який складається з чотирьох провідників перерізом 16 мм<sup>2</sup> із [16] рис. 2.19.

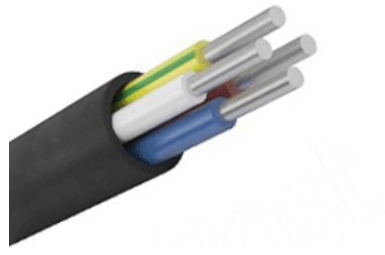
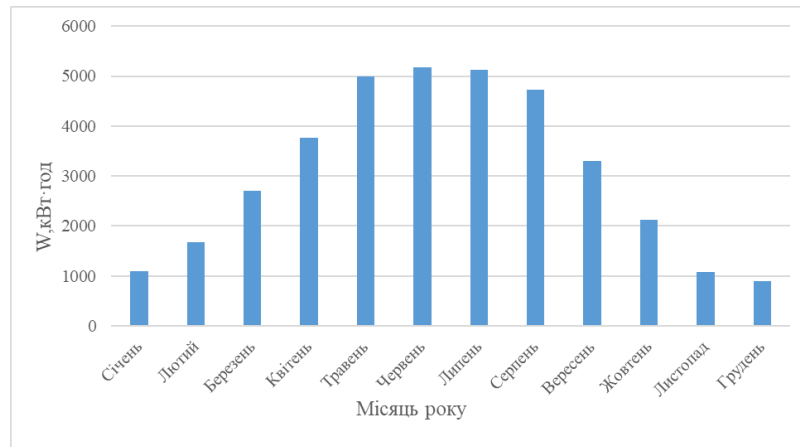


Рисунок 2.19 - Алюмінієвий чотирьохжильний кабель марки АВВГ 4х16 мм<sup>2</sup>



## 2.4 Моделювання графіків генерації фотоелектричної станції

Згідно таблиці 5 пояснювальної записки, будемо графік генерації фотоелектричної станції за рік.



Діаграма 3 - Графік генерації ФЕС за рік

Побудувавши графік генерації, можна зробити висновок, що найбільш активне перетворення енергії буде відбуватися в літні місяці, в зимові місяці такої активності не спостерігається, так як день коротший, а погода в основному пасмурна і з опадами. В літні місяці є сенс, вироблену енергію відпускати в мережу по “зеленому тарифу”, так як в літні часи, споживання електроенергії школи - невелике, до того ж додаткова енергія віддана в мережу, буде позитивно сприяти на енергосистему. В зимові, весняні та осінні місяці, можливо накопичувати енергію за допомогою АКБ, таким чином заклад буде оснащений додатковим видом енергії, який дасть живлення електрообладнанню в разі не очікуваних аварійних відключень, або задля автономності роботи енергосистеми школи.

## 2.5 Вибір раціональних параметрів системи накопичення електричної енергії

Ємність акумуляторних батарей розраховується, виходячи з вимоги забезпечення об'єкту електроенергією певний час без її поповнення, також мати залишковий запас для запобігання повного розряду.

При відсутності мережі необхідно щоб протягом якогось часу стабільно працювало життєво необхідне електроустаткування, на прикладі школи - це в першу чергу освітлення, електрообладнання кухні, електрообладнання технічних і комп'ютерних кабінетів, електрообладнання двигунів водопостачання котельні.

### 2.5.1 Розрахунок ємності акумуляторних батарей

Визначаємо кількість необхідних годин роботи АКБ - 6 годин, враховуючи графік відключення. Розрахунок буде проводитися за даними грудня місяця, так як взимку споживання електроенергії більше, а вироблення енергії станцією - менше.

Будемо вважати що протягом усіх 6 годин усі потрібні електроприлади будуть в роботі. Беремо до уваги, що холодильник споживає свою потужність 15 хвилин на годину.

Знайдемо потрібний запас енергії для холодильних установок кухні за наступною формулою:

$$W_{\text{акб.х}} = P_{\text{ел.}} \cdot t \cdot n, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.27)$$

де  $P_{\text{ел.}}$  - потужність електроприлада;

$t$  - кількість годин в роботі;

$n$  - кількість електроприладів.

$$W_{\text{акб.х}} = 300 \cdot 1,5 \cdot 4 = 1,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Аналогічно проводимо розрахунок для інших електроприладів. Дані заносимо в таблицю 2.19.

Таблиця 2.19 - Потужність електрообладнання, яке живиться від АКБ

Електрообладнання	Кількість, шт	Потужність, Вт	Кількість годин в роботі, год	Запас енергії, кВт · год
Освітлення	230	10	6	13,8
Електроустаткування кухні	4	300	1,5	1,8
Електроустаткування комп'ютерного класу	17	60	6	6,12
Комп'ютери	10	60	6	3,6
Електроустаткування технологічного кабінету	5	350	2	3,5
Електроустаткування котельні	1	3000	1,5	4,5
			Всього	33,32

Із таблиці 2.19 пояснювальної записки, бачимо що сумарний запас енергії дорівнює 33,32 кВт · год, отже можна розрахувати необхідну ємність акумуляторів за наступною формулою:

$$C_{\text{акб}} = \Sigma W_{\text{акб}} \cdot 1,2 / U_{\text{ак}}, \text{ А} \cdot \text{год} \quad (2.28)$$

де  $\Sigma W_{\text{акб}}$  - сумарний запас енергії, із таблиці 2.19;

1,2 - 20% ємності (залишковий запас для запобігання повного розряду і зменшення періоду експлуатації);

$U_{\text{ак}}$  - напруга акумулятора, беремо 48 В.

$$C_{акб} = 33\,320 \cdot 1,2/48 = 833 \text{ А} \cdot \text{год}$$

### 2.5.2 Вибір акумуляторних батарей

Згідно пункту 1.2.2 пояснювальної записки, обираємо акумуляторні батареї за наступними характеристиками:

1). Напруга;

2). Ємність;

3). Тип.

1). Напругу накопичувачів приймаємо 48 В [39], так як при меншій напрузі, струм який протікатиме по клемам цього акумулятора буде дуже високий, а це загрожує всій системі;

2). Ємність обираємо за результатами формули 2.28;

3). Для системи накопичення енергії на даний час існує безліч типів акумуляторних батарей, всі типи характеризуються своїми якісними та технічними параметрами, але більш за все в кінцевому результаті приходять до ціни пристрою, тому проаналізувавши цінову і технічні показники накопичувачів, було прийнято до встановлення батареї літій-залізофосфатного типу.

За характеристиками вказаними вище, проектним рішенням було прийнято до встановлення 7 акумуляторів літій-залізофосфатного типу марки GS Energy GBL5.8K3 із [40], (Рис. 2.20) з наступними параметрами приведеними в таблиці 2.20.

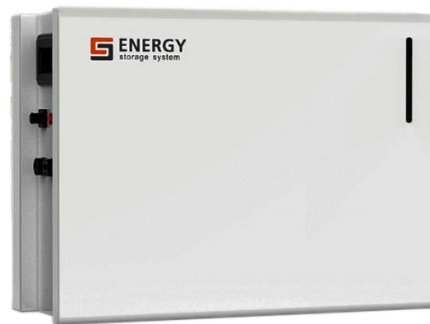


Рисунок 2.20 - Акумуляторна батарея марки GS Energy GBL5.8K3

Таблиця 2.20 - Параметри акумуляторної батареї GS Energy GBL5.8K3

Виробник	SYL Battery
Тип	Літій-залізофосфат(LiFePO <sub>4</sub> )
Ємність, А · год	121
Напруга, В	48
Струм заряду, А	57
Кількість циклів	4000-8000
Габарити, мм	650·480·256
Маса, кг	70
Ціна, грн	109 200

### 2.5.3 Захист системи накопичення

Для захисту АКБ використовують ножові запобіжники з тримачами, розрахунок проводить аналогічно пункту 2.3.3.1 “Вибір запобіжників”. Обрані номінальні параметри беремо із таблиці 9, так як захист здійснюється від інвертора до АКБ.

Перевірка запобіжника на умовами (2.15) і (2.16).

Приймається до установки ножові запобіжники типу ETI NH-000/gG 80A 500V КОМБІ із [42], рисунок 2.21, його технічні параметри занесені до таблиці 2.21.



Рисунок 2.21 - ножовий запобіжник типу ETI NH-000/gG 80A 500V КОМБІ

Таблиця 2.21 - Технічні характеристики ножового запобіжника

Uн, В	500
Iн, А	80
Вимикаюча здатність, кА	120
Характеристика	gL/gG
Ціна	106x3

- 1).  $53,3 \cdot 1,4 < 80, \text{ A},$   
 $74,62 < 80,$
- 2).  $380 \cdot 1,2 < 500 \text{ В},$   
 $456 < 500 \text{ В}.$

Умови виконуються, отже запобіжник вибрано правильно.

#### 2.5.4 Вибір провідників для підключення АКБ

Кабелі, які з'єднують АКБ із джерелом безперебійного живлення, повинні витримувати великі струми [47]. Щоб зробити правильний вибір, треба розрахувати провідники виходячи із максимуму енергоспоживання, яке бере інвертор. Чим надійніше з'єднання і менший опір, тим краще. Від кабеля залежить на скільки знизиться напруга при його передачі, а отже і продуктивність всієї системи. Тобто, чим коротший і товщий провід - тим ефективніше буде працювати система, так як падіння напруги буде мінімальним.

Необхідний переріз провідника розраховують так, щоб напруга в системі падала не більше ніж на 2% від робочого номінала.

Переріз провідника для АКБ розраховується наступним чином:

$$E = R \cdot I/L, \text{ мм}^2 \quad (2.29)$$

де  $R$  - опір кабеля, для мідного  $R = 0,0167$  із [3],  $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ ;

$I$  - найбільший струм, приймаємо максимальний струм інвертора із таблиці 9,  $I = 160 \text{ А}$ ;

$L$  – довжина провідника, приймаємо довжину від інвертора до АКБ 0,5 м.

$$E = 0,0167 \cdot 160 / 0,5 = 53,44 \text{ мм}^2$$

Обираємо одножильний провідник марки LogicPower перерізом  $55 \text{ мм}^2$  із [48] параметри занесені до таблиці 2.22.

Таблиця 2.22 - Технічні характеристики провідника LogicPower

U <sub>н</sub> , В	48
S, мм <sup>2</sup>	55
I <sub>м</sub> , А	160
Кількість, м	3,4
Ціна за 0,5 м, грн	450

### 2.5.5 Моделювання ГЕН з гібридною системою



Графік 3 - Графік електричних навантажень школи з гібридною системою

Таким чином, порівнявши графік 1 пояснювальної записки і 3, можна бачити різницю. ГЕН з гібридною системою скоротився на половину, а це означає що вплив енергосистеми школи на мережу також позитивно зменшився. При віддачі електроенергії в мережу від гібридної системи, вплив такого децентралізованого з'єднання на технічні параметри мережі буде необхідно якіснішим.



## **2.6 Обґрунтування способу монтажу та схемної реалізації гібридної системи електропостачання шкільного комплексу**

### **2.6.1 Монтаж електрообладнання**

Якісний монтаж електрообладнання є вагомим фактором для продуктивного і безперебійного вироблення та зберігання електроенергії. Це забезпечує гібридній системі: довговічність, безпечність і надійність. Важливими є всі аспекти з'єднання елементів від виду кріплень панелей, до способу прокладки електропроводки, адже якісний монтаж електрообладнання - це запорука ефективної роботи приладів та якісне і зручне обслуговування керуючого персоналу. В цьому пункті буде розглянуто монтаж сонячних панелей на скаті даху, прокладка проводки на стороні АС і DC, монтаж інвертора, захисної апаратури та системи накопичувачів.

#### **2.6.1.1 Монтаж сонячних панелей**

Монтаж сонячних панелей здійснюється [слайд презентації 11] на південній стороні скату даху трьохповерхової будівлі під кутом  $35^\circ$ . Покрівля виконана із металочерепиці. Площа займаної поверхні, становить  $440 \text{ м}^2$ , що цілком вистачає для розміщення 60 фотопанелей з великим запасом. Кріплення панелей до площини даху виконується за допомогою кронштейнів та S- профілю. Так як 60 панелей розбито на 6 стрінгів по 10 панелей, буде забезпечено доцільне розміщення їх на площині з урахуванням всіх затіненостей, виступів і технічних проходів [17].

#### **2.6.1.2 Монтаж системи гібридних інверторів та системи накопичення енергії**

Монтаж системи гібридних інверторів, зарядного контролера, а також акумуляторних батарей розміщено максимально близько один до одного в

сухому підвальному приміщенні температура якого не перевищує 25°C, так як [43] АКБ швидко втрачає свій заряд при негативних температурах, а при температурі вище 35 ° С термін його експлуатації падає в 2 рази. ККД таких станцій становить 30%, оскільки будуть суттєві втрати: у дроті, у контролері заряду, та АКБ, під час перетворення.

Інвертори закріплені анкерним з'єднанням до стіни у підвішеному стані. Система акумуляюючих пристроїв розміщена на спеціальних стелажах.

### 2.6.1.3 Монтаж електропроводки на стороні DC

Під час монтажу електропроводки використовується одножильний кабель перерізом 6 мм<sup>2</sup>. Провідники приєднуються до “+” і “-” послідовно підключених стрінгів за допомогою MC-4 конекторів. Проводка прокладається в гофрі і закріплюється до елементів кріплення за допомогою стяжок. Група провідників зі всіх стрінгів заводиться через шахту вентиляції до електрощитової, яка знаходиться в підвальному приміщенні будівлі, монтується в електрощит DC, де підключаються апарати захисту на стороні DC. Виводи від електрощитка DC підключаються до виводів DC інвертора, від інвертора до АКБ провідником із перерізом 1x55 мм<sup>2</sup> і на сторону змінного струму, проводка здійснюється в гофрі. Виводи занулення і заземлення виконуються спеціальними жовто-зеленими провідниками на нульовий провід мережі і спеціальний заземлюючий контур.

### 2.6.1.4 Монтаж електропроводки на стороні AC

Від виводів інвертора AC до електрощитка AC чотирьох жильним кабелем АВВГ з перерізом 4x16 мм<sup>2</sup> прокладка проводиться в гофрі. Монтаж провідників в електрощиті AC між апаратами захисту виконується послідовно, виводи

занулення і заземлення виконуються спеціальними жовто-зеленими провідниками на нульовий провід мережі і спеціальний заземлюючий контур. Вихід провідника від електрощита АС на мережу прокладається в гофрі. Всі проводки в гофрі фіксуються спеціальними кліпсами до несучої поверхні стін, стелі і підлоги.

### 2.6.2 Схемна реалізація гібридної системи

Схемна реалізація гібридної системи проводиться наступним чином [слайд презентації 12]. Система фотомодулів генерує випромінювану сонячну енергію в постійний струм, передаючи його по одножильним провідникам до щитка із захисною апаратурою. Там передача енергії отримує належний захист і переходить до системи гібридних інверторів та АКБ. Постійна енергія заряджає накопичувачі, контролер заряду перевіряє циклічність та заряд системи акумулюючих пристроїв, апарати захисту оберігають систему від неочікуваних стрибків напруги, КЗ та перегріву. Гібридна система під'єднана до енергосистеми школи. Під час аварійного відключення енергосистеми школи від мережі, обслуговуючий персонал переводить школу на живлення від гібридної системи. Таким чином, електричну енергію отримують критично важливі електроспоживачі школи і заклад може працювати у сталому режимі, забезпечившись безперебійним живленням.

## **2.7 Розробка заходів безпечного обслуговування та експлуатації гібридної системи електропостачання будівлі закладу середньої освіти**

Проектом передбачено виконання вимог, що враховують умови охорони праці, попередження травматизму, професійних захворювань, пожеж та вибухів [18]. Для забезпечення охорони праці та пожежної безпеки проектом передбачено: - використання технічно досконалого обладнання; - монтажних робіт за технологічними картами. Будівництво ділянок ліній поблизу діючих електроустановок, що знаходяться під напругою, повинно виконуватися дотримуючись нормованих відстаней до працюючих машин і механізмів, їх належного заземлення та інших заходів, що забезпечують безпечне виконання робіт. У тих випадках, коли вимоги в частині відстані від елементів діючих електроустановок, що знаходяться під напругою, до працюючих механізмів виконати не можна, необхідно відключити і заземлити ці електроустановки.

Для забезпечення безпеки проведення робіт з технічного обслуговування обладнання передбачується огороження струмоведучих частин, необхідні ізоляційні відстані, механічні блокування, пристрої захисного заземлення, системи дистанційного управління. Все обладнання обрано стійким до електродинамічної і термічної дії струмів короткого замикання, а автоматичні вимикачі мають необхідну здатність відключення. Обране досконале сучасне надійне обладнання має низьку вірогідність загоряння. Основне обладнання ФЕС – фотоелектричні модулі вироблені з негорючих матеріалів, інвертор та система АКБ має стійкий корпус і усуває вихід небезпечних речовин.

Розрізняють основні й додаткові ізолювальні електрозахисні засоби. До основних належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких протягом тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки до 1000 В – діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізольованими ручками, електровимірювальні кліщі, ізолювальні кліщі, покажчики напруги; а при роботі в електроустановках напругою понад 1000 В – ізолювальні штанги,

струмовимірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги для фазування. Додаткові ізолювальні захисні засоби мають недостатні ізолювальні властивості, тому призначені лише для підсилення захисної дії основних засобів, разом з якими вони і застосовуються. До них належать: при роботах в електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки; при роботах в електроустановках з напругою понад 1000 В – діелектричні рукавички, боти, килимки, ізолювальні підставки [3]. Для виключення вірогідності ураження електричним струмом на всіх небезпечних ділянках розміщені попереджувальні плакати і таблички, вхід в приміщення електрощитової, обладнаний додатковою решіткою. Для уникнення поглинання пилу, забезпечені системи вентилявання та кондиціювання. Норма освітленості приміщення передбачена встановленим нормам виробничих середовищ.

### **3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА**

В даному дипломному проєкті стоїть задача забезпечити об'єкт проектування безперебійним живленням шляхом розрахунку і вибору елементів гібридної системи, що представлені в розділі 2 пояснювальної записки. Реалізація цього проєкту дасть змогу закладу середньої освіти мати власну гібридну безперебійну систему на основі акумулюючих пристроїв, що в свою чергу забезпечить критично важливі електроспоживачі закладу - електроенергією.

Для визначення економічної доцільності прийнятого рішення, а саме обґрунтування параметрів гібридної системи, було проведено розрахунок загальних капітальних інвестицій, експлуатаційних витрат, визначені та проаналізовані основні показники економічної ефективності.

#### **3.1 Розрахунок капітальних інвестицій**

Розрахунок капітальних вкладень на спорудження ФЕС з АКБ виконується за такими показниками: витрати на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів контролю та обліку витрачання ресурсів, приладів діагностики стану обладнання тощо; витрати, пов'язані з виконанням будівельно-монтажних робіт; витрати, пов'язані з виконанням монтажних налагоджувальних робіт; витрати фінансових коштів на проведення проєктно-конструкторських робіт, підготовку персоналу та виконання інших робіт, необхідних для реалізації технічного рішення. Витрати на придбання обладнання зведено в таблицю 19.

Таблиця 3.1 - Основні капітальні вкладення в проєкт

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Тип	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Сонячна панель	LR5-72HPH-540M	60	8500	510 000
2	Інвертор	NetPRO Alpha	6	43542	261 252
3	Запобіжник	ETI CH14x51 SRF20/600 V	20	66	1 320
4	Обмежувач перенапруг (DC)	SUP2-PV	1	2117	2 117
5	Роз'єднувач перевантаження	LS16 SMA	1	1648	1 247
6	Автоматичний вимикач	MVA20-3-050-C	3	208	624
7	Пристрій захисного відключення	ВД1-63 4P	3	1106	3 318
8	Обмежувач перенапруг (AC)	ОПС1-В 3P	3	1101	3 303
9	Електрощит	ЩРН-24з-1 36 УХЛЗ IP31	2	654	1 308

10	Кабель на стороні DC	Solar Cable 1x6 мм <sup>2</sup>	20,28	243	4 930
		LogicPower 1x55 мм <sup>2</sup>	3,4	450	1530
11	Кабель на стороні AC	АВВГ 4x16 мм <sup>2</sup>	15	15	225
12	Гофротруба	ПВХ 16 мм	60	3	180
13	Кріплення для труб	ДКС 16 мм	50	2,5	125
14	Система кріплень для 60 фотомодулів	Solar Roof Systems	60	931	55 860
15	Акумуляюючі пристрої	GBL5.8K3	7	109200	764 400
	Разом:				1 610 209

Проектні капіталовкладення визначаються за наступною формулою із [6]:

$$K_{np} = K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_{пр}, \quad (3.1)$$

де  $K_{об}$  - вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів  $i$ -го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення, із таблиці 18,  $K_{об} = 1\,610\,209$  грн;

$k$  - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$  – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_m$  – витрати на монтажні роботи;

$Z_n$  - витрати на налагоджувальні роботи;



$Z_{np}$  – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат ( $Z_{тзс}$ ) визначається виходячи з:

- відстані доставки обладнання від місця придбання до місця експлуатації;
- кількості, маси і габаритів устаткування;
- виду транспортних засобів;
- транспортних тарифів;
- розцінок на вантажно-розвантажувальні роботи;
- витрат на складську обробку.

Враховуючи відстань із міста до населеного пункту 120 км, час поїздки та загрузки-вигрузки вантажу (8 години), масу устаткування (3 т), габарити та кількість, було прийнято вартість транспортно-заготівельних робіт у вартості 3600 грн із [44].

Витрати на монтажні ( $Z_m$  та на налагоджувальні роботи  $Z_n$ ) можна визначити наступним чином:

$$Z_{m(n)} = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{cm} \cdot K_{np}, \quad (3.2)$$

де  $C_i$  – чисельність працівників  $i$ -го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), осіб. Згідно [34] монтаж електрообладнання буде виконувати 3 особи, два будівельника і один електромонтер 3-го розряду;

$a_i$  – годинна тарифна ставка працівника  $i$ -го розряду, грн. Для електромонтера 3-го розряду тарифна ставка встановлюється 65 грн/год згідно з [24], а для будівельника 50 грн/год згідно з [24];

$t_i$  – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), год. Під час проектування, було вирішено, що для монтажу і налагодження сонячної електростанції електрику знадобиться 4 доби по 8 робочих годин, а будівельникам 5 діб по 8 годин, згідно [34];

$K_d$  – коефіцієнт, що враховує розмір доплат, згідно із [24] і [25] премія за якісно виконану роботу буде становити 20 %, тобто  $K_d=1,2$ ;

$K_{cm}$  – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок, згідно з [2]  $K_{cm}=1,22$ ;

$K_{np}$  – коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт, при проектуванні було вирішено, що  $K_{np}=1$ .

$$Z_{m(n)}=(1 \cdot 65 \cdot 32) \cdot 1,2 \cdot 1,22 \cdot 1+(2 \cdot 50 \cdot 40) \cdot 1,2 \cdot 1,22 \cdot 1=9000 \text{ грн.}$$

Інші одноразові вкладення грошових коштів ( $Z_{np}$ ) можуть включати витрати:

- на демонтаж застарілого обладнання;
- на проведення проектно-конструкторських робіт;
- на підготовку персоналу;
- на придбання готового програмного забезпечення.

Під час проектування, було вирішено, що одноразові вкладення грошових коштів для об'єкта проектування не мають необхідності. Так як, об'єкт проектування після капітального ремонту, проектно-конструкторські

роботи не передбачені, персонал має необхідний досвід, програмне забезпечення не потребується.

$$K_{np} = 1610209 + 3600 + 9000 = 1622809 \text{ грн}$$

### 3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проєктування за визначений період (наприклад, рік), що виражені у грошовій формі. До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню та енергомережам відносяться:

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_з$ );
- єдиний соціальний внесок ( $C_с$ );
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж ( $C_T$ );
- вартість електроенергії, що буде спожита об'єктом проєктування або витрат електроенергії ( $C_e$ );
- інші витрати ( $C_{ін}$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування складуть, грн:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_e + C_{ін}, \quad (3.3)$$

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів і нематеріальних активів визначається підприємством самостійно, виходячи з очікуваних економічних вигод, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод амортизації, при якому річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартістю основних засобів і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості, грн:

$$\Phi_a = \Phi_n - L, \quad (3.4)$$

де  $\Phi_n$  - первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів, для сонячної електростанції первісна є вартість сонячних панелей, із таблиці 2 [р.2],

$$\Phi_n = 510000 \text{ грн.}$$

– ліквідаційна вартість сонячних панелей становить, під час проектування було вирішено прийняти  $L=0$ .

$$\Phi_a=510000 \text{ грн.}$$

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює, %:

$$H_a=\Phi_a/\Phi_n \cdot T_n \cdot 100, \quad (3.5)$$

де  $T_n$ — термін корисного використання, із таблиці 4.2 [2],  $T_n=15$

$$H_a=510000/510000 \cdot 15 \cdot 100=6,6 \%$$

Тоді річні амортизаційні відрахування за прямолінійним методом, грн:

$$C_a=\Phi_a \cdot H_a/100, \quad (3.6)$$

$$C_a=510000 \cdot 6,6/100=33660 \text{ грн}$$

### 3.2.1 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу (робітники, КСС), що обслуговує об'єкт проектування, відповідно до їхньої чисельності, режиму роботи, за погодинними тарифними ставками, посадовими окладами, формами і системами оплати праці і преміювання, що застосовують на підприємстві.

Основна заробітна плата працівників – це винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування, посадові обов'язки). Вона визначається тарифними ставками і відрядними розцінками, посадовими окладами для спеціалістів, службовців і керівників.

При визначенні основної заробітної плати робітників (за відрядною або погодинною формами оплати) необхідно знати погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду та розрахувати номінальний річний фонд робочого часу робітника.

Номінальний річний фонд робочого часу одного робітника  $F_n$  визначається відповідно до режиму його роботи (кількістю робочих днів і тривалістю зміни):

$$F_n = (D_k - D_n) \cdot T_{зм}, \quad (3.7)$$

де  $D_k$  – кількість календарних днів у році;

$D_n$  - кількість днів, коли станція не потребує обслуговування,

$D_n = 317$  днів;

$T_{зм}$  – тривалість зміни сонячної станції,  $T_{зм} = 10$ , згідно [34].

$$F_n = (365 - 317) \cdot 10 = 480 \text{ годин}$$

При розрахунку заробітної плати інженерно-технічного персоналу слід враховувати, що вона визначається, виходячи з місячного посадового окладу. Так як об'єктом проектування є школа, то в якості обслуговуючого персоналу буде задіяна особа відповідальна за електропостачання будівлі. Завдяки автономності системи, не має потреби в постійному догляді за обладнанням, тому буде врахована доплата до основної заробітної плати. Результати розрахунку основної заробітної плати обслуговуючого персоналу занесено до таблиці 20.

Таблиця 3.2 - Розрахунок річного фонду основної заробітної плати обслуговуючого персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Явочний штат у зміну, осіб	Обліковий склад з урахування м змінності роботи, осіб	Годинна тарифна ставка або денна заробітна плата, грн.	Номінальн ий річний фонд робочого часу, годин	Усього основна зарплата, грн/рік
1.	Електромонтер 3-го розряду	1	1	40	480	19200
<b>ВСЬОГО</b>						19200

Додаткова заробітна плата – це винагорода за працю понад встановлених норм, за особливі умови праці. До додаткової заробітної плати належать премії, пов'язані з виконанням виробничих завдань і функцій за діючими на підприємстві преміальними системами, доплати і надбавки, гарантійні і компенсаційні виплати, передбачені чинним законодавством (за роботу в нічний і вечірній час, у важких і шкідливих умовах, за багатозмінний режим роботи, за керівництво бригадою незвільненим бригадирам, за навчання учнів тощо).

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 8-10% від основної заробітної плати.

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати складає:

$$C_3 = Z_{осн} + 3d, \quad (3.8)$$

де  $Z_{осн}$  – основна заробітна плати за обслуговування станції за рік, із таблиці 19,  $Z_{осн} = 19200$  грн;

$Z_d$  – додаткова заробітна плата, приймається 10 % від основної заробітної плати,  
 $Z_n=1920$  грн;

$$C_z=19200+1920=21120 \text{ грн.}$$

### 3.2.2 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок визначається на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати, тому згідно з [9] єдиний соціальний внесок буде становити 22%.

$$C_c=C_z \cdot 0,22 \quad (3.9)$$

$$C_c=21120 \cdot 0,22=4646 \text{ грн}$$

### 3.2.3 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними станції. Розрахунок буде проведено на прикладі мережевого інвертора. Витрати на поточний ремонт можна розрахувати за наступною формулою:

$$Z_{m.p}=\sum_{i=1}^n(R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + S_i \cdot \Pi_i / T \cdot T_{\phi}), \quad (3.10)$$



де  $n$  – число пристроїв, що підлягають ремонту,  $n = 6$ ;

$R_i$  – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, із формули 3.2,  $R_i = 65$  грн/год;

$t_i$  – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту, із формули 3.9 [6],  $t_i = 1,2$  год./од.;

$m_i$  – число ремонтів за рік, із формули 3.9 [6],  $m_i = 0,1$ ;

$R_{\Sigma i}$  – коефіцієнт сумарної категорії складності ремонту в залежності від виду електрообладнання, для мережевого інвертора згідно [6] складає  $R_{\Sigma i} = 3,5$ ;

$S_i$  – вартість однотипних замінних елементів,  $S_i \approx 1982$  грн.;

$L_i$  – кількість однотипних замінних елементів,  $L_i = 1$ ;

$T_i$  – середній термін служби деталей даного типу,  $T_i = 87600$  год.;

$T_{\phi}$  – число годин роботи апаратури на рік,  $T_{\phi} = 3650$  год.;

$$Z_{m.p.} = 6 \cdot (65 \cdot 1,2 \cdot 0,1 \cdot 3,5 + 1982 \cdot 1 / 87600 \cdot 3650) = 659,3 \text{ грн/рік.}$$

### 3.2.4 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування та втрат електроенергії за формулою:

$$C_e = W_p \cdot C_e, \quad (3.11)$$

де  $W_p$  – кількість спожитої за рік електроенергії, згідно [36]  $W_p = 8,76$  кВт·годин/рік;

$C_e$ - тариф на електроенергію станом на 08.12.2022,  $C_e$  складає 5,22 грн./кВт·год згідно [46].

$$C_e = 8,76 \cdot 522 = 4572,72 \text{ грн.}$$

### 3.2.5 Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Згідно з практикою ці витрати визначаються у розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу. Розраховується за наступною формулою:

$$C_c = C_z \cdot 0,04, \quad (3.12)$$

$$C_c = 21120 \cdot 0,04 = 845 \text{ грн}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування складуть, грн:

$$C = 33660 + 21120 + 4646 + 659,3 + 4572,72 + 845 = 65503 \text{ грн.}$$

### 3.3 Розрахунок річної економії від впровадження науково-технічного рішення

Річна економія від впровадження прийнятого науково-технічного рішення ( $E_{кр}$ ) може полягати в наступному:

- безпосередній економії ресурсів(електроенергії), зниженні собівартості і збільшенні прибутку від реалізації продукції (за інших рівних умов);
- економією платежів за спожиту електроенергію за рахунок: застосування диференційованих (багато зонних) тарифів на електроенергію та упорядкування графіка навантажень або підвищення класу точності приладів обліку;
- збільшенні випуску продукції за рахунок скорочення часу простоїв основного технологічного обладнання і поліпшення якості продукції. Це також призводить до збільшення прибутку підприємства в результаті збільшення обсягу реалізації і продажної ціни (за інших рівних умов);
- скорочення екологічних платежів, що обумовлено зменшенням шкідливих викидів підприємства у навколишнє природне середовище.

Повна річна економія від впровадження прийнятого науково-технічного рішення визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту:

$$E_{кп} = E_{кр} - C, \text{ грн.} \quad (3.11)$$

До проєктного рішення, заклад середньої освіти споживав 65144 кВт · год за рік, це становить 340052 грн по тарифу 5,22 грн із [49]. При підключенні гібридної системи у разі аварійних відключень, 6 годин робочого часу школи, буде забезпечуватися енергією ФЕС з накопичувачами, якщо прийняти графік відключень щоденний, а безаварійне електропостачання системи, яке включає заміну мережевого електропостачання у разі відключень, постійним протягом

місяця, то місячну оплату за ел.ен. можна не враховувати, так як безперебійне живлення буде забезпечувати - АКБ. Тоді місячне заощадження становитиме 426693 грн;

$$E_{кп} = 340052 - 65503 = 274549 \text{ грн}$$

### 3.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності розглянутих в дипломному проекті технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення та аналізу наступних показників:

а) розрахункового коефіцієнта ефективності (прибутковості) капітальних витрат  $E_p$ ;

б) терміну окупності капітальних витрат  $T_p$ .

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат  $E_p$  показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = E_{кп} / K_{пр}, \text{ долі од.}, \quad (3.12)$$

$$E_p = 274549 / 1622809 = 0,17, \text{ долі од.}$$

Термін окупності капітальних витрат  $T_p$  показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження прийнятого технічного рішення:

$$T_p = K_{пр} / E_{кп}, \text{ років}, \quad (3.13)$$

$$T_p = 1622809 / 274549 = 5,9 \text{ років}$$

Для остаточної оцінки варіантів і вибору найбільш ефективного з них необхідно порівняти розрахункове значення  $E_p$  з нормативним значенням  $E_n$ . Проєкт капітальних вкладень визнається доцільним за умови:

$$E_p > E_n \quad (3.14)$$

При  $E_p < E_n$  варіант є збитковим і більш економічним визнається відмова від його реалізації. Нормативне значення коефіцієнта ефективності визначається з таких міркувань.

Визначаємо нормативне значення коефіцієнта ефективності виходячи з прийнятної для об'єкта простування індивідуальної норми прибутковості:

$$E_n = 1/T_{оч}, \quad (3.15)$$

де  $T_{оч}$  – очікуваний, прийнятний для об'єкта простування термін окупності капітальних вкладень, років (8 років для гібридної сонячної електростанції потужністю 30 кВт з системою накопичення із [45]);

$$0,17 > 1/8 = 0,17 > 0,125$$

Результати техніко-економічного обґрунтування ефективності впровадження результатів кваліфікаційної роботи оформлюємо у вигляді таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Порівняльна оцінка техніко-економічних показників

№ з/ п	Найменування показників	Одиниці виміру	Базовий варіант	Проектний варіант	Зміни у порівнянні з альтернативним варіантом	
					+ (тис. грн)	%
1	2	3	4	5	6	7
1	Капітальні витрати	тис. грн.	-	1 610 209	-	-
2	Експлуатаційні витрати	тис. грн.	-	65503	-	-
	у тому числі: *амортизаційні відрахування	тис. грн	-	33660	-	-
	* технічне обслуговування та поточний ремонт	тис. грн	-	659,3	-	-
3	Річна економія всього	тис. грн.	-	274549	-	-
4	Розрахунковий коефіцієнт ефективності	долі од.	-	0,17	-	-
5	Розрахунковий термін окупності капітальних вкладень	років	-	5,9	-	-
6	Економія електроенергії	кВт · год	65144	33320	-31 824	-51,14

**Висновок:**

За результатами розрахунків в економічному розділі було визначено, загальні капітальні інвестиції, визначена повна річна економія та визначені показники економічної ефективності. Аналіз показників економічної ефективності показав, що запропоновані у кваліфікаційній роботі рішення, а саме встановлення гібридної системи для закладу середньої освіти є економічно доцільним, так як термін окупності склав 5,9 років з мінімально допустимого значення у 8 років (термін корисного використання), значення економічної ефективності показало, що варіант є рекомендованим до реалізації.

## ВИСНОВОК

Під час проектування було вирішено питання безперебійного живлення для закладу середньої освіти при підключенні гібридної системи. Було вирішено питання забезпечення будівлі альтернативним та екологічно чистим видом енергії, забезпечено електроенергією критично важливі електроспоживачі закладу. Вирішено питання економії електроенергії для школи. В першому розділі пояснювальної записки була сформульована постановка задачі та проаналізований вибір параметрів гібридної системи. В другому розділі пояснювальної записки було розраховано і вибрано фотоелектричні панелі, гібридний інвертор, апаратуру захисту, кабелі електропроводки, систему накопичення енергії, було описано спосіб монтажу гібридного електрообладнання. Всі елементи системи обрано за методичними вказівками та вибрані за ціно-якісними характеристиками. В третьому розділі було розраховано загальну вартість всієї системи, визначення повної річної економії та визначені показники економічної ефективності, які показали доцільність проектного рішення та рекомендованість його реалізації.



## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

- 1) Закон України «Про електроенергетику» | від 16.10.1997 № 575/97-ВР;
- 2) Закон України «Про збір та облік єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування» | від 24.12.2015 № 77-VIII;
- 3) ПУЕ;
- 4) Півняк Г. Г. Розрахунки електричних мереж систем електропостачання / Г. Г. Півняк, Г. А. Кігель, Н. С. Волотковська. – Дніпро: за редакцією Г. Г. Півняка, 2011. – 223 с. – (Національний гірничий університет). – (4-те видання, допрацьоване і доповнене).
- 5) Методичні вказівки та індивідуальні завдання до самостійної роботи з дисципліни “ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧА-ННЯ” для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / І.М. Луценко, Є.В. Кошеленко, П.С. Циган, – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. – 20 с.
- 6) Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (кваліфікаційний рівень-магістр) / Укладач: Л.В. Тимошенко -Дніпро: НТУ «ДП», 2021. -17с.
- 7) Методичні вказівки з виконання розрахункової частини розділу „Охорона праці” в дипломних проєктах студентів інституту електроенергетики. Частина 1 / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Я.Я. Лебедєв, В.Є. Колесник – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. – 2004. – 34 с.;
- 8) Буряк В. М. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ ЗАХИСТУ В МЕРЕЖАХ ДО 1000 В / В. М. Буряк, Н. А. Дейнеко. // ХНАМГ. – 2007. – С. 62.
- 9) Як самостійно підібрати інвертор для сонячної електростанції [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://solarsystem.com.ua/blog/yak-samostijno-pidibraty-invertor-dlya-sonyachnoyi-elektrostantsiyi/>. (Дата звернення 26.11.2022 р.);

- 10) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://solarsystem.com.ua/products/category/>(Дата звернення.26.11.2022 р.);
- 11) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://prel.prom.ua>. (Дата звернення 27.11.2022 р.);
- 12) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://220volt.com.ua/viklyuchatel-nagruzki-eti-ls16-sma-a2-4660060/>(Дата звернення 27.11.2022 р.);
- 13) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://axiomplus.com.ua/modulnye-schity/product-36231/>.(Дата звернення 28.11.2022 р.);
- 14) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://iek.co.ua/index.php?id\\_product=574&controller=product/](http://iek.co.ua/index.php?id_product=574&controller=product/).(Дата звернення 28.11.2022 р.);
- 15) УЗО: що це таке? Призначення, застосування і технічні характеристики [Електронний ресурс] // <https://homediz.info>. – 902. – Режим доступу до ресурсу: <https://homediz.info/uzo-shho-ce-take-priznachennya-zastosuvannya-i.html>. (Дата звернення 28.11.2022 р.);
- 16) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://vse-e.com/kabel-silovoj-avvg-416>.(Дата звернення 28.11.2022 р.);
- 17) Як монтувати сонячні панелі на скат даху? [Електронний ресурс] // Solar-Tech. – 307. – Режим доступу до ресурсу: <https://solar-tech.com.ua/ua/kak-montirovat-solnechnye-paneli-na-skat-kryshi-2018-07-03.html>. (Дата звернення 29.11.2022 р.);
- 18) Мережева сонячна електростанція ФЕС «Сан Енерджи» – 6,455 МВт [Електронний ресурс] // <http://www.hrebinka.org.ua>. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.hrebinka.org.ua/data/files/new/Аналітична%20записка.pdf>. (Дата звернення 28.11.2022 р.);
- 19) ОЦІНКА ВИБУХОПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТА [Електронний ресурс] // Навчальні матеріали онлайн – Режим доступу до ресурсу:

- [https://pidru4niki.com/1154010338224/bzhd/otsinka\\_vibuhopozhezhonebezpeki\\_obyekta](https://pidru4niki.com/1154010338224/bzhd/otsinka_vibuhopozhezhonebezpeki_obyekta). (Дата звернення 29.11.2022 р.);
- 20) ДБН, В. 2. 5. – 28– 2006 Збірник 28. Природне і штучне освітлення;
- 21) Конструктивні характеристики будинків залежно від їхнього ступеня вогнестійкості [Електронний ресурс] // <https://dbn.co.ua>. – 2014. Режим доступу до ресурсу: [https://dbn.co.ua/publ/konstruktivni\\_kharakteristik\\_i\\_vid\\_stupenja\\_vognestijkosti/16-1-0-550](https://dbn.co.ua/publ/konstruktivni_kharakteristik_i_vid_stupenja_vognestijkosti/16-1-0-550). (Дата звернення 30.11.2022 р.);
- 22) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://led-story.com/g56568380-osveschenie-promyshlennyh-kommercheskih>. (Дата звернення 01.12.2022 р.);
- 23) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dnepropetrovsk.flagma.ua/gruzoperevozki-do-5-tonn-6-metrov-dnepr-o8357456.html>. (Дата звернення 01.12.2022 р.);
- 24) Корнієнко Л. Оплата праці електрика [Електронний ресурс] / Людмила Корнієнко // Праця і зарплата. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: [http://cons.parus.ua/\\_d.asp?r=08ZNNabba2f89d0e39a4af94bef7040e55f90](http://cons.parus.ua/_d.asp?r=08ZNNabba2f89d0e39a4af94bef7040e55f90). (Дата звернення 01.12.2022 р.);
- 25) Економіка будівництва [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://manualem.com/book/618-pvprav/11-8-oplata-praci-na-budivelnix-pidpriyemstvaх.html>. (Дата звернення 02.12.2022 р.);
- 26) Альтернативні джерела енергії: види, переваги та недоліки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ekotechnik.ua/ukr/umnoe-solnce/stati/vidy-alternativnoj-ehnergetiki/>. (Дата звернення 02.12.2022 р.);
- 27) НКРЕКП встановила "зелені" тарифи для приватних домогосподарств [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uare.com.ua/novyny/388-nkrekp-vstanovila-zeleni-tarifi-dlya-privatnikh-domogospodarstv.html>. /.(Дата звернення 03.12.2022 р.);

- 28) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://pss2.dnepredu.com/uk/site/our-school.html/>.(Дата.звернення 03.12.2022 р.);
- 29) Переваги та недоліки технологій СЕС та ВЕС [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://iknet.com.ua/uk/articles/useful-to-know/advantages-and-disadantages/>.(Дата.звернення 04.12.2022 р.);
- 30) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [www.eti.ua/](http://www.eti.ua/).(Дата.звернення 04.12.2022 р.);
- 31) Сабарно Р.В. та ін. Электробезопасность на промышленных предприятиях. - К.:Техніка, 1991. - 285 с.;
- 32) Лемешев М. С. Вимоги безпеки під час використання сонячних батарей / М. С. Лемешев, А. С. Панькевич. // Вінницький національний технічний університет. – С. 2.;
- 33) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://epicentrk.ua/ua/shop/kabelenesuschie-sistemy/>.(Дата.звернення 04.12.2022 р.);
- 34) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://eds-ltd.com.ua](https://eds-ltd.com.ua/) /.(Дата.звернення 04.12.2022 р.);
- 35) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://коес.com.ua/page?root=23/>.(Дата.звернення 05.12.2022 р.);
- 36) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://generacia.energy/ru/product/invertor-setevoj-huawei-sun2000-50ktl-m0/>.(Дата.звернення 26.11.2022 р.);
- 37) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://avenston.com/articles/pv-power-plants-classification/>.(Дата.звернення 26.11.2022 р.);
- 38) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://solarsystem.com.ua/energiya-pro-zapas-yak-pratsyuyut-systemy->

- bezperebijnogo-zhyvlennya-dlya-pryvattogo-budynku/.(Дата.звернення 26.11.2022 р.);
- 39) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://prel.prom.ua/a257262-vibir-akumulyatornoyi-batareyi.html/>.(Дата.звернення 26.11.2022 р.);
- 40) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://sun-energy.com.ua/solar-power/accumulator/gs\\_energy\\_5\\_8\\_kwh\\_syl/](https://sun-energy.com.ua/solar-power/accumulator/gs_energy_5_8_kwh_syl/). (Дата.звернення 29.11.2022 р.);
- 41) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://home-energy.com.ua/alternativnaya/solar-inverters/netpro-alpha-30-kwatt-380v.html /](https://home-energy.com.ua/alternativnaya/solar-inverters/netpro-alpha-30-kwatt-380v.html/). (Дата.звернення 26.11.2022 р.);
- 42) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://electrocontrol.com.ua/predohraniteli/predohranitel-nh-00-c-kombi-80a-eti-4181213/>. (Дата.звернення 30.11.2022 р.);
- 43) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://meners.com.ua/ustanovka-fes-fotoelektricheskikh-sistem/>. (Дата.звернення 30.11.2022 р.);
- 44) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://flagma.ua/man-gidrobort-gruzoperevozki-do-10-ti-tonn-dnepr-5tonn-6tonn-8tonn-ukraina-09149383.html /](https://flagma.ua/man-gidrobort-gruzoperevozki-do-10-ti-tonn-dnepr-5tonn-6tonn-8tonn-ukraina-09149383.html/). (Дата.звернення 08.12.2022 р.);
- 45) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://buduysvoe.com/publications/nevycherpne-dzherelo /](https://buduysvoe.com/publications/nevycherpne-dzherelo/). (Дата.звернення 08.12.2022 р.);
- 46) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://solarsystem.com.ua/green-tariff-2022/>. (Дата.звернення 08.12.2022 р.);
- 47) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://navitech.com.ua/ru/news/2018/04/podklyuchenie-akb-k-invertoru-i-sechenie-kabelya-75/>. (Дата.звернення 11.12.2022 р.);

- 48) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://riseupcompany.com.ua/ua/p1504902094-provod-mednyj-dlya.html> /. (Дата.звернення 11.12.2022 р.);
- 49) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nerc.gov.ua> /. (Дата.звернення 12.12.2022 р.);
- 50) Методичні вказівки до виконання дослідницької лабораторної роботи ЕППМ-1 «Дослідження моделей добових графіків електричного навантаження житлових будинків» для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / І.М. Луценко, Н.Ю. Рухлова, М.В. Луценко – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 13 с.

## ДОДАТОК А

## Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1					
2			Документація		
3					
4	A4	ТСТ.ОППб.19.07.ПЗ	Пояснювальна записка	94	
5	A4		Графічні матеріали презентації	17	
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

