

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра механічної та електричної інженерії**

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

*бакалавр*

на тему: «Розробка автономного живлення для адміністративного корпусу  
елеватора»

КРБ.141ЕЕбд\_31[1].04.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти  
за освітньо-професійною програмою  
«*Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка*»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
ступеня вищої освіти *бакалавр*  
групи *141ЕЕбд\_31[1]*  
ГОРДА Вадим

Керівник: канд. техн. наук, доцент  
БИЧКОВ Ярослав

Полтава – 2025 року

## ВСТУП

Сьогодні, коли вартість традиційних енергоносіїв постійно зростає, а питання енергетичної безпеки стають все більш важливими, використання сонячної енергії є ефективним способом забезпечити стабільне та економічно вигідне електропостачання. Встановлення фотоелектричних панелей дає можливість генерувати власну електроенергію, яка може бути використана для освітлення, роботи офісної техніки, систем вентиляції та кондиціонування, що суттєво знизить операційні витрати підприємства. Аналіз сучасного стану проблеми показує, що в Україні вже реалізовано чимало проектів з використанням сонячних панелей для промислових і комерційних об'єктів, однак більшість з них не враховують комплексну інтеграцію з існуючими системами, недостатньо оптимізовані з точки зору економіки та мають обмежену масштабованість. Існують також технічні суперечності, зокрема щодо підбору інверторного обладнання, проектування акумуляторних систем, адаптації до сезонних коливань генерації. Також залишається нерозв'язаним питання довгострокового обслуговування подібних систем у сільській місцевості.

Економічна доцільність такого рішення підтверджується тим, що, попри початкові інвестиції у встановлення сонячних панелей, вони окупаються вже за кілька років завдяки економії на електроенергії та можливості отримання додаткового прибутку. Крім того, сучасні технології дозволяють інтегрувати сонячні панелі з існуючими енергосистемами будівлі, забезпечуючи їхню надійність та довговічність. Таким чином, впровадження сонячної енергетики в адмінкорпусі елеватора – це не лише крок до енергетичної незалежності, а й важливий елемент модернізації бізнесу, який забезпечує довгострокові переваги як з фінансової, так і з екологічної точки зору.

**Об'єктом розробки** є автономна сонячна електростанція для адміністративного корпусу Семенівського елеватора.

**Предметом розробки** є процес проектування, інтеграції та обґрунтування впровадження гібридної СЕС у систему енергозабезпечення елеватора.

**Мета кваліфікаційної роботи** — розробити ефективне техніко-економічне рішення щодо впровадження СЕС з урахуванням енергетичних потреб об'єкта, технічних умов розміщення, екологічної доцільності та фінансової ефективності.

**Технічне завдання** полягає у проектуванні гібридної сонячної електростанції, що складається з фотомодулів, інверторного обладнання, контролерів та акумуляторних батарей, яка забезпечуватиме стабільне енергопостачання об'єкта, інтегрується з існуючими мережами й має достатній рівень енергонезалежності. Актуальність задачі обумовлена необхідністю оптимізації витрат на енергію, та підвищення енергоефективності об'єктів агропромислового комплексу.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Сучасні технології сонячної енергетики

Сучасний стан розвитку сонячної енергетики демонструє значний прогрес у підвищенні ефективності фотоелектричних систем, що відкриває нові можливості для забезпечення енергетичної автономності адміністративних будівель промислових об'єктів. За останнє десятиліття ККД сонячних панелей комерційного призначення зріс з 15-17% до 22-24% для найбільш досконалих моделей, при цьому вартість виробництва електроенергії знизилася більш ніж на 80% (надання Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики, 2023). Найбільш поширеними на сьогодні є кремнієві фотоелектричні модулі, які займають близько 95% ринку сонячної енергетики. Серед них виділяють монокристалічні панелі з ККД 18-22%, які відзначаються найвищою ефективністю при прямому сонячному освітленні, що особливо важливо для умов Полтавської області, де кількість сонячних днів у році становить близько 220-230. Полікристалічні модулі з ККД 15-17% поступаються монокристалічним у ефективності, але мають дещо нижчу вартість, що може бути важливим фактором при великих площах покрівлі адмінкорпусу. Останнім часом все більшого поширення набувають тонко плівкові технології, зокрема панелі на основі телуриду кадмію (CdTe) з ККД 16-18%, які відзначаються кращою роботою при розсіяному освітленні та високій температурі навколишнього середовища, що може бути важливим у літній період. Важливим аспектом при виборі панелей для адмінкорпусу є їхня довговічність - сучасні якісні модулі мають гарантію на роботу на рівні 80% від початкової потужності протягом 25-30 років, що значно перевищує термін окупності таких проєктів. Вартість сонячних панелей останніми роками стабілізувалася на рівні 0,25-0,35 долара за ват встановленої потужності для кремнієвих модулів, при цьому тонко плівкові рішення можуть бути дешевшими на 10-15%. Окрім самих панелей, важливим елементом системи є інвертори, від яких значною мірою залежить загальна ефективність перетворення енергії. Сучасні мережеві інвертори мають ККД на рівні 97-98% і забезпечують стабільну роботу навіть при частковому затіненні

панелей, що часто трапляється на покрівлях адміністративних будівель через наявність вентиляційних каналів, антен чи інших архітектурних елементів. Особливістю сучасних систем є можливість дистанційного моніторингу роботи кожної панелі окремо, що дозволяє оперативно виявляти та усувати проблеми, підтримуючи максимальну ефективність системи. Для умов адмінкорпусу елеватора важливим є також питання естетики - сучасні панелі випускаються в різних кольорових рішеннях, включаючи чорні модулі, які гармонійно інтегруються в архітектуру будівлі. Перспективним напрямком є розробка біфасціальних панелей, які здатні виробляти електроенергію як з лицьової, так і з тильної сторони, що може підвищити загальну генерацію на 10-15%, особливо при встановленні на плоских покрівлях, де відбите від поверхні світло може додатково використовуватися. Важливим джерелом інформації про сучасні технології є звіти Національної лабораторії відновлюваної енергетики США (NREL), які регулярно публікують дані про ефективність різних типів сонячних елементів. Згідно з їхніми дослідженнями, у лабораторних умовах вже досягнуто ККД понад 47% для багатошарових сонячних елементів, однак такі рішення поки що залишаються занадто дорогими для комерційного використання. Для адмінкорпусу елеватора оптимальним вибором залишаються традиційні кремнієві модулі, які поєднують достатню ефективність, довговічність і прийнятну вартість. Дослідження, проведені Європейською асоціацією сонячної енергетики (SolarPower Europe), показують, що середній термін окупності сонячних систем для комерційних об'єктів в Україні складає 5-7 років, що робить такі інвестиції привабливими для підприємств агропромислового комплексу. Важливим фактором є також доступність державної підтримки та можливість роботи за "зеленим" тарифом, що дозволяє отримувати додатковий дохід від надлишків виробленої електроенергії. Сучасні тенденції в галузі сонячної енергетики свідчать про те, що подальше вдосконалення технологій буде спрямоване на зниження собівартості виробництва, підвищення ефективності та розробку нових матеріалів, що дозволить ще більше збільшити економічну привабливість таких рішень для забезпечення енергетичної автономності адміністративних будівель[1].

Нормативно-правова база, що регулює питання використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), формується на основі міжнародних угод, національного законодавства та підзаконних актів, спрямованих на забезпечення сталого розвитку енергетики. В Україні основним документом, що визначає правові засади використання ВДЕ, є Закон України "Про альтернативні джерела енергії", який встановлює загальні принципи державної політики у цій сфері. Цей закон передбачає стимулювання розвитку відновлюємої енергетики шляхом введення "зелених" тарифів, податкових пільг та інших механізмів підтримки для виробників електроенергії з альтернативних джерел[2].

Важливим нормативним актом є Закон України "Про електроенергетику", який регулює загальні умови функціонування енергетичного ринку, включаючи вимоги до підключення об'єктів ВДЕ до енергосистеми. Відповідно до цього закону, виробники електроенергії з відновлюваних джерел зобов'язані дотримуватися технічних вимог щодо стабільності та якості енергопостачання. Також існують спеціальні правила, що визначають порядок отримання дозволів на будівництво об'єктів ВДЕ, зокрема сонячних електростанцій або вітрових парків, які передбачають проведення екологічної експертизи та узгодження з місцевими органами влади[3].

## **1.2 Опис елеватора**

Сучасний зерновий елеватор є складним інженерно-технологічним комплексом, призначеним для приймання, зберігання, обробки та відвантаження зернових культур. Семенівський елеватор компанії "Астарта" представляє собою типовий приклад сучасного високомеханізованого підприємства з повним циклом обробки зерна. Загальна місткість сховищ даного елеватора становить близько 100-120 тисяч тонн, що дозволяє забезпечувати ефективне зберігання значних обсягів зернової продукції. Основні технологічні процеси, що здійснюються на елеваторі, включають приймання зерна з автотранспорту та залізничних вагонів, попереднє очищення від домішок, сушіння до стандартної вологості, подальше очищення та

сортування за якісними характеристиками, зберігання в силосах різного типу та подальше відвантаження споживачам (рис. 1.1).

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд елеватора

Технологічний процес починається з приймального відділення, де зерно з автотранспорту розвантажується у приймальні бункери, обладнані живильниками для рівномірної подачі продукції на транспортерні лінії. Для приймання зерна з залізничних вагонів передбачена окрема лінія з підвищеною продуктивністю. Після приймання зерно надходить на попереднє очищення, де за допомогою сепараторів та аспіраційних колон відділяються крупні та дрібні домішки, а також легкі включення. Особливу увагу приділяється процесу сушіння зерна, яке здійснюється в сучасних шарових або барабанних сушарках з автоматичним регулюванням температурного режиму для запобігання термічного пошкодження продукту. Після сушіння зерно проходить повторне очищення та сортування за фракціями за допомогою каскаду сепараторів, після чого направляється на зберігання в силосні ємності[4].

Силосний корпус елеватора складається з металевих або залізобетонних бункерів циліндричної форми, кожен з яких розрахований на зберігання від 3 до 10 тисяч тонн зерна. Конструкція силосів передбачає ефективну вентиляцію, контроль температури зернової маси та захист від шкідників (рис. 1.2). Для транспортування зерна між технологічними вузлами використовується комбінація норійних установок для вертикального підйому, стрічкових транспортерів для горизонтального переміщення та пневмотранспортних систем для точного розподілу продукції по силосам. Відвантаження зерна здійснюється як в автотранспорт через нижні видавальні лотки з дозаторами, так і в залізничні вагони за допомогою спеціальних навантажувальних гідросистем.

Рисунок 1.2 - Силосний корпус елеватора

Важливою особливістю сучасного елеватора є високий рівень автоматизації всіх технологічних процесів. Система управління на базі SCADA-технологій дозволяє здійснювати постійний моніторинг параметрів зернової маси (вологості, температури, рівня заповнення силосів), керувати транспортними потоками, фіксувати всі операції з зерном та генерувати звітну документацію. Для забезпечення екологічної безпеки елеватор обладнаний системою аспірації з фільтрами тонкого очищення, що дозволяє мінімізувати викиди пилу в атмосферу. Енергоефективність роботи підприємства досягається за рахунок використання рекуперації тепла в системі сушіння та оптимізації енергоспоживання транспортного обладнання. Таким чином, досліджуваний зерновий елеватор представляє собою сучасне високотехнологічне підприємство, яке забезпечує повний цикл обробки зернової продукції з дотриманням всіх вимог якості та безпеки[4].

### **1.3 Аналіз енергозабезпечення Семенівського елеватора "Зерно-Агротрейд" агрохолдингу "АСТАРТА"**

Семенівський елеватор "Зерно-Агротрейд" є сучасним підприємством з переробки та зберігання зернових культур. Його енергетична система потребує детального аналізу для виявлення потенційних резервів енергозбереження та оптимізації витрат. Наразі елеватор отримує електроенергію переважно від державної електромережі, що становить близько 90% від загального енергоспоживання. Додатковим джерелом енергії є резервний дизель-генератор потужністю 250 кВА, який використовується у випадках аварійних відключень основного живлення (рис.1.3).

Рисунок 1.3 - Резервний дизель-генератор SDMO J250K потужністю 250 кВА

Щорічне споживання електроенергії на підприємстві становить приблизно 1,17 млн кВт·год, при цьому основні витрати припадають на роботу зерносушарок (40-50% від загального обсягу), транспортерних систем (25-30%) та систем вентиляції силосів (15-20%). Втрати електроенергії в мережах елеватора оцінюються на рівні 5-7%, що перевищує оптимальні показники для подібних об'єктів. Теплопостачання адміністративних та виробничих приміщень забезпечується газовою котельнею потужністю 0,5 Гкал/год, яка споживає близько 120 тис. м<sup>3</sup> газу на рік.

#### 1.4 Оцінка інсоляції в регіоні

Сонячна інсоляція – це кількість сонячної радіації, яка надходить на 1 м<sup>2</sup> поверхні, розташованої перпендикулярно до сонячних променів протягом одного світлового дня. Сонячна інсоляція, що потрапляє на поверхню, змінюється та залежить від висоти сонця, хмарності та інших природних явищ, кута падіння сонячних променів (ранок, полудень, вечір). У зв'язку з такими відмінностями зручніше користуватися усередненими показниками залежно від пори року та місця розташування. Сумарна сонячна інсоляція дає змогу розрахувати, яку кількість сонячної енергії (кВт·год/м<sup>2</sup>·день) отримає сонячний колектор або сонячна батарея в той чи інший місяць року.

Полтава, Україна, – це місце, де сонячна енергія може генеруватися цілий рік, але з різною ефективністю залежно від сезону. Простіше кажучи, кількість електроенергії, яку ви можете отримати від своїх сонячних панелей, змінюється протягом року (рис.1.4).

Влітку ви отримаєте найбільше енергії – близько 6,39 одиниць електроенергії щодня на кожну одиницю потужності ваших сонячних панелей. Це тому, що влітку дні довші та сонячніші.

Восени спостерігається падіння приблизно до 2,81 одиниць на день через коротший світловий день і, можливо, також більшу хмарність.

Взимку виробництво найменше – близько 1,11 одиниць на день – через короткі дні та часто хмарну або сніжну погоду, яка блокує сонячне світло.

#### Рисунок 1.4 – Сезонна генерація енергії

Весною пропонується покращення приблизно на 4,50 одиниць на день, оскільки дні знову починають ставати довшими, а хмарність зазвичай менша, ніж взимку.

Тож, якщо ви покладаетесь на сонячну енергію тут, влітку ваші панелі працюють найкраще, а взимку – найменше енергії.

Для стаціонарних панелей у Полтаві нахил їх під кутом 42 градуси на південь забезпечить оптимальну продуктивність протягом усіх сезонів, оскільки це допомагає захоплювати максимум сонячного світла протягом року, краще вирівнюючись з траєкторією сонця по небу в різні пори року. Оптимальний кут нахилу сонячних панелей для даної місцевості розраховується з урахуванням географічної широти ( $49^{\circ}35'$  пн. ш.) та сезонних особливостей. Для забезпечення максимальної річної продуктивності рекомендується кут нахилу 35-40 градусів. Такий нахил дозволяє ефективно використовувати як літнє високе сонце, так і низьке зимове[5].

## **Висновок за розділом 1**

Проведений аналіз підтвердив доцільність впровадження сонячної електростанції на адміністративному корпусі елеватора. Дослідження виявило оптимальні технічні та економічні передумови для реалізації проекту. Архітектурні особливості будівлі та стабільність енергоспоживання роблять її ідеальним об'єктом для пілотного впровадження відновлюваної енергетики. Сучасні технології сонячної генерації демонструють високу ефективність і довговічність, що відповідає потребам підприємства. Нормативно-правова база України сприяє таким ініціативам, пропонуючи прозорі умови для розвитку альтернативної енергетики. Аналіз енергоспоживання виявив значний потенціал для оптимізації витрат. Оцінка сонячного потенціалу регіону підтвердила можливість стабільної генерації електроенергії протягом року.

## 2 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

### 2.1 Розрахунок необхідної потужності сонячних панелей

Елеваторний комплекс із 17 силосами загальною місткістю 100–120 тис. тонн обладнаний технікою із середньою встановленою потужністю 300–500 кВт. Основні енергоспоживачі – зерносушарки, транспортерні лінії, норійні установки та системи вентиляції. Період інтенсивної роботи серпень–жовтень, місячне споживання електроенергії ~ 240 тис. кВт·год, тоді як у міжсезоння знижується до ~ 30 тис. кВт·год. Загальний річний обсяг енергоспоживання становить близько 1,17 млн кВт·год[6].

Для початку обчислим місячне споживання адміністративного копрпусу з площею даху 300 м<sup>2</sup> із середнім навантаженням 15–20 кВт при 220 робочих годинах на місяць.

Приймаємо навантаження між 15 -20 кВт:

$$P_{\text{середнє}} = \frac{15 + 20}{2} = 17.5 \text{ кВт} \quad (2.1)$$

При 220 год/місяць:

$$E_{\text{міс}} = 17.5 \cdot 220 = 3850 \text{ кВт год} \quad (2.2)$$

Приймаємо максимальне значення в 20 кВт щоб було з добрим запасом

Вихідні дані:

$$E_{\text{міс}} = 20 \cdot 220 = 4400 \text{ кВт год} \quad (2.3)$$

Місячне споживання адмінкорпусу: 4,4 тис. кВт год

Середнє навантаження: 15–20 кВт.

Робочі години/місяць: 220 год.

Формула для розрахунку потужності сонячної станції:

$$P_{\text{станц}} = \frac{E_{\text{міс}} \cdot 1000}{H_{\text{пв}} \cdot \eta_{\text{сист}} \cdot 30} \quad (2.4)$$

де  $P_{\text{станц}}$  – потужність сонячної станції, кВт

$E_{\text{міс}}$  – місячне споживання електроенергії, кВт год

$H_{\text{пв}}$  – середньодобова інсоляція, м<sup>2</sup>/доба

$\eta_{\text{сист}}$  – ККД системи (0,75–0,85)

Підставимо дані:

$$P_{\text{станц}} = \frac{4400 \cdot 1000}{4,0 \cdot 0,8 \cdot 30} \approx 45,8 \text{ кВт} \quad (2.5)$$

Отже для забезпечення електроспоживання корпусу потрібна сонячна станція потужністю  $\approx 46$  кВт.

Формула розрахунку кількості сонячних панелей

$$N = \frac{P_{\text{станц}}}{P_{\text{панелі}}} \quad (2.6)$$

де  $N$  – кількість панелей

•  $P_{\text{панелі}}$  – потужність однієї панелі, кВт

Приклад:

$$N = \frac{46}{0,4} = 115 \text{ шт.} \quad (2.7)$$

Отже потрібно приблизно 115 сонячних панелей потужністю 400 Вт.

Для нашого проєкту ми виберемо сонячну панель Risen RSM40-8-400M (black), так як вона має високу ефективність, надійність, сучасний дизайн та доступну ціну.

Рисунок 2.1 - Сонячна панель Risen RSM40-8-400M (black)

Сонячна панель Risen RSM40-8-400M (black) — це високоефективний монокристалічний фотомодуль типу half-cell потужністю 400 Вт, що поєднує сучасні технології та стильний дизайн (рис. 2.1). Вона має коефіцієнт корисної дії близько 20,8%, що дозволяє отримувати більше енергії навіть при обмеженій площі встановлення. Завдяки конструкції з 120 комірок (6×20) та технології half-cut, панель демонструє покращену роботу при частковому затіненні та знижених температурах, зменшуючи втрати потужності. Її розміри складають приблизно 1754×1096×30 мм, вага — близько 21 кг. Висока надійність підтверджується сертифікатами IEC та 12-річною гарантією на продукт із лінійною гарантією до 25 років на продуктивність. Панель здатна витримувати навантаження до 5400 Па (сніг) і 2400 Па (вітер), має захист IP68 та антирефлексне покриття скла. Завдяки чорній рамці та однорідному кольору задньої сторони, модель виглядає естетично та ідеально підходить для дахових систем на адміністративних будівлях. Також її перевагою є доступна ціна при високих технічних характеристиках, що робить її оптимальним вибором для комерційних і приватних сонячних станцій.[7]

Підбір гібридного інвертора. Потужність інвертора повинна перевищувати пікове навантаження з урахуванням резерву 20–30%:

$$P_{\text{инв}} \geq 1.3 \cdot P_{\text{назв}} = 1.3 \cdot 20 = 26 \text{ кВт} \quad (2.8)$$

Таким чином, для надійної роботи рекомендується інвертор потужністю не менше 30 кВт.

Рекомендується використовувати інвертор із ККД не менше 95%, що забезпечує ефективне перетворення енергії та знижує втрати.

Для нашого проекту ми обираємо гібридний інвертор Growatt 30000 TL3-X ефективний, надійний і гнучкий трифазний гібридний інвертор з 3 MPPT, IP66, OLED-дисплеєм та широкими можливостями моніторингу (рис. 2.2). Він відмінно відповідає потребам адміністративного корпусу елеватора та риватних/комерційних сонячних систем, забезпечуючи баланс ціни, якості і функціональності[8].

Рисунок 2.2 - Гібридний інвертор Growatt 30000 TL3-X

Розрахунок акумуляторів для автономії корпусу на 12 годин роботи – 120 кВт год. Глибина розряду LiFePO4 – 80%.

Формула для розрахунку ємності акумуляторів:

$$E_{\text{акум}} = \frac{E_{\text{авт}}}{\text{DoD} \cdot \eta_{\text{инв}}} \quad (2.9)$$

де  $E_{\text{акум}}$  - ємність акумуляторів, кВт/год.

$E_{\text{авт}}$  - необхідна автономна енергія приймаємо 120 кВт/год щоб забезпечити корпус на 12 годин автономної енергії.

$\eta_{\text{инв}}$  - ККД інвертора (0,95).

Підставляємо данні в формулу:

$$E_{\text{акум}} = \frac{120}{0.8 \times 0.95} = 157.89 \approx 158 \text{ кВт год} \quad (2.10)$$

Розрахунок кількості акумуляторів.

Якщо один акумулятор Pylontech US3000 має 5,12 кВт год:

$$N_{\text{акум}} = \frac{158}{5,12} \approx 30 \text{ шт.} \quad (2.11)$$

Отже для забезпечення 12 год автономії корпусу на 120 кВт год потрібно 30 акумуляторів Pylontech US3000 (рис. 2.3).

Рисунок 2.3 – Акумулятор Pylontech US3000

Pylontech US3000 — це сучасний, надійний та довговічний акумулятор з високим рівнем безпеки, який підходить для систем зберігання енергії в промислових та комерційних умовах. Його часто вибирають за хороше співвідношення ціна/якість[9].

У даному проєкті для ефективного управління зарядом акумуляторів від сонячних панелей використано вісім MPPT-контролерів Victron SmartSolar MPPT 250/100. Цей контролер має високий коефіцієнт корисної дії до 98% і підтримує напругу акумуляторної системи 48 В, що відповідає параметрам встановлених LiFePO<sub>4</sub> акумуляторів Pylontech US3000.

Контролери дозволяють підключати стрінги сонячних панелей з максимальною напругою до 250 В та забезпечують зарядний струм до 100 А. Завдяки цьому можливе підключення до 5 панелей (по 400 Вт,  $V_{oc} \approx 50$  В) у стрінг, що гарантує безпечну роботу навіть за низьких температур.

Загальна потужність масиву становить 46 кВт, що потребує розподілення навантаження між кількома контролерами. З урахуванням максимальної оброблюваної потужності одного MPPT-контролера (~5,8 кВт для 48 В систем), встановлено 8 пристроїв, що дозволяє ефективно управляти енергією без перевантажень.

Вибір обладнання Victron обумовлений його надійністю, широкими можливостями моніторингу (через Bluetooth, VE.Direct), а також сумісністю з системами резервного живлення та гібридними інверторами. Це робить його оптимальним рішенням для довготривалих проєктів з високими вимогами до стабільності.

## **2.2 Обґрунтування вибору обладнання для гібридної сонячної електростанції**

Враховуючи специфіку експлуатації корпусу з його енергоспоживанням та обмеженнями по площі покрівлі, було обрано вискоелективні монокристалічні сонячні панелі номінальною потужністю 400 Вт. Цей вибір обґрунтований низкою ключових факторів. Монокристалічна технологія, що є найбільш досконалою серед комерційно доступних рішень, забезпечує максимальний коефіцієнт корисної дії на рівні 20-22%, що є критично важливим при обмеженій площі для розміщення панелей. Високий температурний коефіцієнт (-0,35%/°C) значно знижує втрати

продуктивності в період літньої спеки, коли температура поверхні панелей може досягати 60-70°C. Також технічні характеристики обраних панелей включають покращену світлову чутливість при низькій інсоляції, що особливо важливо в умовах похмурої осінньо-зимової пори. Виробник надає розширені гарантійні зобов'язання: 25 років на матеріали та 30 років на збереження потужності (не менше 80% від номіналу), що свідчить про високу надійність обладнання та забезпечує довгострокову окупність інвестицій.

Гібридний інвертор Growatt 30000 TL3-X потужністю 30 кВт - був обраний з урахуванням всіх аспектів експлуатації. Його номінальна потужність з 30% запасом перевищує максимальне розрахункове навантаження, що забезпечує стабільну роботу при пікових навантаженнях та дозволяє компенсувати можливі втрати в системі. Високий ККД на рівні 97,6% мінімізує енерговтрати при перетворенні постійного струму у змінний. Конструктивні особливості інвертора включають вбудований зарядний пристрій для акумуляторів, що дозволяє ефективно керувати енергетичними потоками між сонячними панелями, акумуляторами та мережею. Підтримка трифазного виходу (230/400 V) забезпечує сумісність з існуючою електромережею будівлі. 10-річна гарантія виробника підтверджує надійність обладнання та його придатність для комерційного використання.

Літій-залізо-фосфатні (LiFePO<sub>4</sub>) акумулятори Pylontech US3000 формують основу системи накопичення енергії. Їх вибір обумовлений перевагами технології LiFePO<sub>4</sub>, яка поєднує високу енергетичну щільність (3,55 кВт·год на модуль) з видатною безпекою та довговічністю. Глибина розряду до 80% значно перевищує аналогічний показник традиційних свинцевих акумуляторів, що дозволяє повніше використовувати доступну ємність. Модульна конструкція акумуляторів забезпечує гнучкість у масштабуванні системи - можливість поступового нарощування потужності шляхом додавання нових модулів. Технологія керування батареями (BMS) інтегрована в кожен модуль, що забезпечує точний моніторинг стану кожного елемента та запобігає перерозряду або перезаряду. Гарантований

виробником ресурс у 6000 циклів при збереженні 80% ємності забезпечує термін служби понад 15 років при щоденному цикліванні.

MPPT-контролери Victron SmartSolar 250/100 забезпечують максимальне використання генерованої сонячної енергії завдяки високій ефективності (98%) та передовим алгоритмам відстеження точки максимальної потужності. Їх здатність працювати при частковому затіненні панелей особливо важлива в умовах міської забудови (рис. 2.4).

Рисунок 2.4 - MPPT-контролери Victron SmartSolar 250/100

Система моніторингу на базі спеціалізованого програмного забезпечення забезпечує цілодобовий контроль усіх параметрів роботи станції. Вона дозволяє аналізувати ефективність роботи, виявляти аномалії та оптимізувати режими експлуатації. Вбудовані засоби дистанційного моніторингу забезпечують доступ до даних системи з будь-якої точки через інтернет.

Комплекс захисних пристроїв включає автоматичні вимикачі постійного та змінного струму, громовідвід та стабілізатори напруги. Це забезпечує захист обладнання від перенапруг, коротких замикань та інших аварійних ситуацій[10].

Нижче наведено структурну схему підключення всіх основних компонентів системи (зис. 2.5):

Рисунок 2.5 – Блок-схема електричних з'єднань гібридної СЕС

### **2.3 Вибір перерізу кабелів**

Для вибору перерізу кабелів сонячної електростанції потужністю 46 кВт з напругою до 250 В на DC-стороні та 400 В трифазного змінного струму використано нормативні таблиці допустимих струмів із ДСТУ, ПУЕ, довідників з електротехніки та технічної документації виробників кабелів. Для ділянки від панелей до контролерів із струмом 30 А і довжиною 20 м обрано мідний кабель

PV1-F перерізом 6 мм<sup>2</sup>, що забезпечує падіння напруги не більше 2 %. Для з'єднання контролерів з акумуляторами при струмі близько 120 А вибрано кабель 35 мм<sup>2</sup> (PV1-F або АВВГ), а для підключення інвертора потужністю 30 кВт до мережі при струмі близько 45,6 А — ВВГнг-LS 5×10 мм<sup>2</sup>. Такий вибір відповідає вимогам безпеки, враховує умови прокладки та експлуатації кабелів, забезпечуючи їх надійну та ефективну роботу.

#### 2.4 Проєктування СЕС для площі даху корпусу елеватора

Для реалізації сонячної електростанції було обрано дах корпусу елеватора з орієнтовною площею 300 м<sup>2</sup>, що дозволяє ефективно розмістити велику кількість фотомодулів без значного впливу затінення та інших перешкод.

Розрахунок площі, що займають панелі:

Розмір однієї панелі 400 Вт - 2 м<sup>2</sup> ( Розмір однієї панелі 1 × 1.75 м з відступами округлим до 2 м<sup>2</sup> щоб було з запасом на майбутнє розширення )

Для 115 панелей:

$$115 \cdot 2.0 \text{ м}^2 = 230 \text{ м}^2 \quad (2.12)$$

Коефіцієнт заповнення:

$$K = \frac{230}{300} \cdot 100\% = 76,7\% \quad (2.13)$$

Отже ми використали 76% от всієї площі даху корпусу дали таблиця з практичною схемою розгортання

Для забезпечення максимальної ефективності було розроблено схему розміщення панелей:

Рисунок 2.6 - Схема розміщення панелей на корпусі

Далі наведено практичну схему розгортання сонячних панелей на корпусі (2.1):

Таблиця 2.1 – Практична схема розгортання

Параметр	Значення
Кількість рядів	6
Панелей у ряді	19-20
Кут нахилу	35°
Відстань між рядами	0,5 м
Загальна зайнята площа	285 м <sup>2</sup>

Конфігурація забезпечує максимальну генерацію електроенергії при збереженні компактності розміщення. Враховано технологічні проміжки для обслуговування та вентиляції, а також потенціал для часткової модернізації або розширення системи в майбутньому.

На рисунку 10 наведено однолінійну схему гібридної СЕС, яка візуалізує взаємозв'язок між основними компонентами: сонячними панелями, MPPT-контролерами, акумуляторними стеками та інвертором (рис 2.7).

Рисунок 2.7 – Однолінійна схема гібридної СЕС

## 2.5 Розрахунок вартості обладнання

Для реалізації автономної сонячної енергосистеми було підібрано якісні та надійні компоненти, що забезпечують ефективну генерацію, зберігання та перетворення електроенергії. До складу системи входять сонячні панелі, інвертор, акумуляторні батареї, а також MPPT-контролери. У таблиці нижче наведено технічні характеристики, кількість та вартість основних елементів системи (рис. 2.2).

Таблиця 2.2 – Вартість оладнання

Обладнання	Технічні характеристики	Кількість	Вартість одиниці	Загальна вартість
Монокристалічні панелі	400 Вт, ККД 22%	115	3000 грн	345000 грн
Гібридний інвертор Growatt	30 кВт, ККД 97.6%	1	125000	125000 грн
Акумулятори Pylontech US3000	3.55 кВт/год, LiFePO4	30	44000	1320000 грн
MPPT контролери Victron/	250/100, ККД 98%	8	33000	264000 грн
Загальна вартість				2054000 грн

Ціна вийшла в 2 млн. грн, системна автономна а заряду акумуляторів забезпечить живленням корпус на 12 годин енергії, що для такого надійного обладнання вигідно, ми використали Pylontech та Victron так як це надійне і довговічне рішення.

Формула розрахунку загальної вартості монтажу:

$$P_{\text{станції}} \cdot T_{\text{монтаж}} \quad (2.14)$$

де  $P_{\text{станції}}$  - потужність станції, кВт

$T_{\text{монтаж}}$  - типова ціна за монтаж 1 кВт (залежить від складності)

В 2025 році ціни дахової установки за 1 кВт дахової установки 1000-2000 грн, так як у нас розширина система а сама станція акумуляторні батареї а також контролери розрахуємо за середньою ціною за 1 кВт.

Підставляючи значення:

$$46 \text{ кВт} \cdot 1500 \text{ грн/кВт} = 69000 \text{ грн} \quad (2.15)$$

Отже, орієнтовна вартість монтажних робіт становить 69 тис. грн.

Для повнішого розуміння економіки проекту нижче подано зведену таблицю, що включає всі основні елементи витрат, пов'язані з установкою автономної сонячної електростанції (табл 2.3):

Таблиця 2.3 – Вартість витратних матеріалів

Компонент	Приблизна частина від загального проекту	Приблизно орієнтовна сума
Кабель силовий DC/AC	3-4%	60000 грн
Захистні автомати, щити	2-3%	40000 грн
Кріплення для панелей	5-7%	100000 грн
Монтажна фурнітура	1-2%	20000 грн
Разом	11-16%	220000 грн

Занальна варість монтажу та витратних матеріалів 289000 грн, а повна сума проекту приблизно 2343000 грн. Запропонована конфігурація обладнання

забезпечує оптимальний баланс між вартістю, продуктивністю та надійністю. Використання високоякісних компонентів мінімізує експлуатаційні витрати та забезпечує стабільну роботу протягом усього терміну служби.

## **Висновок за розділом 2**

Запропонований проект гібридної сонячної електростанції для адміністративного корпусу елеваторного комплексу дозволяє повністю забезпечити його енергопотребу за рахунок відновлюваних джерел енергії. Для покриття місячного споживання (4,4 тис. кВт·год) достатньо сонячної станції потужністю 46 кВт, що складається з 115 панелей по 400 Вт кожна. Запланована конфігурація займає 76,7% площі даху (230 м<sup>2</sup> з 300 м<sup>2</sup>), що залишає простір для обслуговування та вентиляції. Використані монокристалічні панелі з ККД 22% забезпечують високу ефективність, довговічність (гарантія 25+ років) та стійкість до високих температур. Гібридний інвертор потужністю 30 кВт з ККД 97,6% забезпечує стабільну роботу, сумісність з мережею та акумуляторами, а також має вбудований зарядний контролер. Акумуляторна система на базі LiFePO<sub>4</sub> (158 кВт·год, 30 модулів) характеризується високою глибиною розряду (80%), довгим терміном служби (6000 циклів) та модульною конструкцією для майбутнього масштабування. MPPT-контролери з ККД 98% забезпечують максимальне використання сонячної енергії навіть при частковому затіненні. Система здатна забезпечити 12 годин автономної роботи (120 кВт·год) у разі відключення електромережі, що є критично важливим для безперебійного функціонування адміністративного корпусу. Високоякісні компоненти (Pylontech, Victron, Growatt) мінімізують ризики виходу з ладу та знижують експлуатаційні витрати. Загальна вартість проекту складає приблизно 2,24 млн грн, включаючи обладнання (~1,96 млн грн) та монтаж з витратними матеріалами (~289 тис. грн). Це рішення дозволяє знизити залежність від зовнішньої мережі, особливо в період пікових тарифів, а модульна архітектура дає можливість подальшого розширення системи. Таким

чином, запропонована гібридна сонячна електростанція є технологічно досконалим, економічно обґрунтованим та екологічно чистим рішенням для енергозабезпечення адмінкорпусу елеватора, що забезпечує стабільність, автономність та довгострокову окупність інвестицій.

Полтавський державний аграрний університет

Полтавський державний аграрний університет

Полтавський державний аграрний університет

## 3 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ ЕФЕКТ

### 3.1 Розрахунок енергетичної та економічної ефективності

Для розрахунку зниження енерговитрат корпусу за рахунок сонячної станції використовуємо такі вихідні дані як річне споживання яке становить 52 800 кВт·год (4 400 кВт·год/місяць), потужність СЕС – 46 кВт, середньодобова інсоляція – 4,0 кВт·год/м<sup>2</sup>/добу, а також ККД системи – 0,8 який враховує втрати в інверторі, кабелях та пілі.

Річне виробництво електроенергії сонячною станцією розраховується за формулою:

$$E_{\text{рік}} = P_{\text{станц}} \cdot H_{\text{пв}} \cdot 365 \cdot \eta_{\text{сист}} \quad (3.1)$$

Підставим значення, отримуємо:

$$E_{\text{рік}} = 46 \cdot 4,0 \cdot 365 \cdot 0,8 = 53728 \quad (3.2)$$

Це означає, що станція може повністю покрити річне споживання (52 800 кВт·год) і навіть забезпечити невеликий надлишок (рис.3.1).

Рисунок 3.1 – Місячна генерація СЕС, кВт год

Якщо система працює в мережевому режимі (без акумуляторів), економія відповідає 100% споживання. З гібридною системою, акумуляторами частина енергії витрачається на заряд-розряд ККД ~90%, тому ефективна економія складатиме близько 90–95%.

Фінансова вигода залежить від тарифу на електроенергію. Наприклад, при тарифі 5 грн/кВт·год річна економія становитиме  $52\,800 \times 5 = 264\,000$  грн.

### 3.2 Потенційні ризики та шляхи їх мінімізації

Встановлення СЕС може супроводжуватися технічними, фінансовими та регуляторними ризиками.

Поломки обладнання – інвертори, панелі чи акумулятори можуть виходити з ладу через виробничі дефекти або зовнішні пошкодження (град, перепади напруги). Рекомендується вибирати обладнання з гарантією 10+ років (наприклад, Tier-1 виробники як JinkoSolar або Huawei) та встановлювати захист від перенапруг. Для акумуляторів критично дотримуватися глибини розряду (DoD) – LiFePO<sub>4</sub> витримують 80%, але для довговічності краще не перевищувати 50–60%.

Низький ККД у зимовий період через сніг, бруд або короткий світловий день. Втрати можуть сягати 30–50%. Рішення – очищення панелей, або додаткові панелі для компенсації втрат.

Пожежна безпека – пошкоджені панелі або неякісна проводка можуть призвести до загоряння. За даними NREL, частка таких випадків – менше 0,01%, але для запобігання потрібні: регулярний огляд системи, заземлення та використання неспалахувальних матеріалів. [11]

### **Висновок за розділом 3**

СЕС економічно вигідна з окупністю 4–8 років та суттєво знижує вуглецевий слід. Ключові ризики мінімізуються вибором надійного обладнання, профілактикою та адаптацією до зовнішніх умов. Система є стійкою до змін енергоринку та забезпечує довгострокову стабільність енергопостачання.

## 4 БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ МОНТАЖІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

### 4.1 Ризики ураження електричним струмом

Під час виконання електромонтажних робіт існує небезпека ураження струмом, особливо коли підключення здійснюється з порушенням вимог, наприклад, при з'єднанні панельних роз'ємів. Такий ризик може мати серйозні наслідки як для здоров'я, так і для обладнання. Роботи, що ведуться на висоті або поблизу джерел електропостачання, як-от на дахах чи під стелями, створюють додаткові загрози. Особливо небезпечними є струмопровідні металеві частини, які можуть опинитися під напругою внаслідок несправностей.

Перед початком робіт обов'язковим є повне знеструмлення об'єкта на головному щиті та забезпечення заходів, що унеможливають випадкове вмикання живлення під час монтажу. Слід також перевірити наявність та справність засобів індивідуального захисту, які забезпечують безпечне наближення до електричних елементів. Перш ніж розпочати роботу в міжстельовому просторі, важливо провести візуальну оцінку стану: перевірити, чи є там вентиляція, освітлення, чи немає небезпечних об'єктів чи шкідливих речовин.

Навіть якщо живлення відключене, не слід торкатися електричних кабелів без потреби – деякі з них, особливо в системах постійного струму, можуть залишатися під напругою. У разі виявлення несправних чи пошкоджених кабелів, слід звертатися до кваліфікованих фахівців. Може знадобитися їхнє фізичне відокремлення або блокування повторного вмикання.

Завжди, коли це можливо, необхідно повністю відключати об'єкт від електромережі перед початком робіт. Надмірна самовпевненість і нехтування цим правилом часто призводять до травматизму. Замість сучасних автоматів, які можуть вийти з ладу, доцільно використовувати механічні рубильники, що забезпечують надійніше відключення. Вони дозволяють мінімізувати ризик помилки або технічної несправності.

Якщо ж роботи проводяться на об'єкті, який не можна знеструмити, необхідне обов'язкове використання спеціальних засобів захисту, таких як діелектричні рукавички, взуття, ізолюючі килимки та інструмент з ізольованими ручками. Всі засоби мають відповідати напрузі і проходити регулярну перевірку. Навіть при найменшому пошкодженні – тріщині чи сколу – їх слід замінити.

Одяг працівника також відіграє вирішальну роль. Для роботи з високою напругою необхідне спецвбрання зі струмопровідними вставками, яке забезпечує проходження струму в обхід тіла. Синтетичні матеріали повинні бути стійкими до високих температур, щоб уникнути плавлення. Каски мають бути виготовлені з діелектричних матеріалів.

Не варто забувати й про ризик отримання травм від хімічних речовин, механічних ушкоджень чи опіків. Для захисту очей і шкіри слід користуватися додатковими елементами, як-от окулярами чи щитками.

Робота з високовольтними системами має здійснюватися лише у присутності іншої особи, здатної надати допомогу. Початківці мають працювати під наглядом досвідчених спеціалістів. Неправильне розташування проводів чи плутанина може стати причиною аварійної ситуації, тому слід ретельно впорядковувати кабельні лінії.

Перед дотиком до проводів слід обов'язково перевіряти їх індикатором напруги. Навіть якщо є підозра, що напруга незначна, потрібно спочатку з'ясувати її джерело. Для побутових мереж зручно використовувати індикаторні викрутки з неоновими лампочками. Дорожчі моделі з електронною індикацією краще, якщо мають одночасно звукове та світлове сповіщення. [12]

Перш ніж свердлити стіни чи перегородки, необхідно переконатися у відсутності прихованої електропроводки. Для цього використовують спеціальні прилади, які виявляють кабелі. Найкращі моделі поєднують електростатичний та електромагнітний принципи. Незважаючи на їхню вартість, такі пристрої знижують ризик пошкодження мережі та травм.

Під час виконання зварювальних або паяльних робіт необхідно прибрати з робочої зони усі легкозаймісті матеріали або захистити їх екранами. Для

безпечного виконання монтажу слід подбати про достатнє освітлення. Найкраще використовувати автономні джерела світла – лобові або ручні ліхтарі з широким променем і рівномірним розподілом світла.[13]

#### **4.2 Інженерно-технічні аспекти цивільного захисту**

Ділянка, на якій заплановано будівництво сонячної електростанції, не належить до зони ризику підтоплення чи територій з нестабільними ґрунтами. Відповідно до державних будівельних норм дозволяється розміщення СЕС за умови дотримання заходів цивільного захисту, що гарантують безпеку персоналу.

У випадку надзвичайної ситуації необхідна організована евакуація персоналу або матеріальних цінностей із небезпечної зони. Залежно від обставин евакуація може бути обов'язковою, частковою чи повною, тимчасовою або безповоротною. Відповідальність за прийняття рішень про евакуацію на місцях покладається на місцеві органи влади, а на підприємствах – на керівників.

У разі виникнення надзвичайної ситуації екстрену евакуацію може ініціювати відповідальна особа на місці подій. Постійне перебування персоналу на об'єкті не передбачено – завдяки сучасним технологіям СЕС керується дистанційно. Технічне обслуговування виконується періодично, під час планових виїздів фахівців.

Організація евакуаційних заходів для тимчасового персоналу передбачена діючими нормативними актами. При проектуванні СЕС враховуються всі необхідні вимоги щодо промислової безпеки, охорони праці та цивільного захисту, що забезпечує відповідність об'єкта чинним стандартам безпеки.

#### **Висновок до розділу 4**

Реалізація сонячної електростанції вимагає суворого дотримання заходів безпеки на всіх етапах — від монтажу до експлуатації. Основною загрозою є висока напруга до 1000 В постійного струму, що може становити небезпеку для життя. Для

запобігання електротравмам передбачено повне знеструмлення системи перед початком робіт, використання сертифікованих засобів індивідуального захисту (діелектричні рукавички, ізольований інструмент, спеціальне взуття) та постійний контроль напруги спеціальними індикаторами.

Особлива увага приділяється організації робіт на висоті — застосовуються страхувальні пояси, монтажні поручні та засоби проти ковзання. Для охорони праці обов'язкові спецодяг, регулярні інструктажі з техніки безпеки та кваліфікований нагляд.

З точки зору цивільного захисту, місце розташування станції не має природних ризиків, однак розроблено чіткий план дій у надзвичайних ситуаціях. Важливою перевагою є дистанційне керування, що знижує необхідність постійної присутності персоналу.

Для безпечної експлуатації проводяться регулярні перевірки обладнання, технічне обслуговування та навчання персоналу. Усі заходи відповідають чинним нормативам і стандартам безпеки, що гарантує надійну роботу станції протягом усього терміну експлуатації.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Сонячна енергетика – це не просто технологія майбутнього, а вже сьогоднішня реальність, яка поєднує екологічну чистоту, енергетичну незалежність та економічну вигоду. Проектування СЕС – це складний, але надзвичайно важливий процес, який потребує врахування багатьох факторів: від технічних параметрів до кліматичних умов та індивідуальних потреб користувача.

У даній роботі розроблено та впроваджено вискоелективну сонячну електростанцію, спроектовану для забезпечення енергетичної автономності адміністративного корпусу елеватора. Система інтегрує сучасні фотоелектричні модулі, оптимально розміщені для максимального використання сонячного потенціалу, разом із інтелектуальною системою накопичення та розподілу енергії. Сонячна електростанція не лише забезпечує стабільне електропостачання, але й значно знижує витрати на комунальні послуги, зменшує вуглецевий слід та підвищує енергетичну стійкість. Вона стає інвестицією в майбутнє – як для окремої родини, так і для бізнесу чи громади.

Використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних панелей, – це крок до сталого розвитку, турботи про довкілля та створення комфортних умов життя. Сьогодні кожен з нас має можливість стати частиною цієї зміни, обираючи чисті та ефективні рішення для своєї енергетичної безпеки.