

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 Кучеренка Валентина Сергійовича
(ПІБ)

академічної групи 141-22-1
(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 вибору типу панелей сонячної електростанції
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Пінчук В.О			
розділів:	Пінчук В.О.			
Вступна частина	Пінчук В.О.			
Основна частина	Пінчук В.О.			
Економічна частина	Тимошенко Л.В.			
Рецензент	Чепурко В.В.,			
Нормоконтролер	Олішевський Г.С.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

(повна назва)
Папайка Ю.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Кучеренко В.С. академічної групи 141-22-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141- Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
спеціалізації¹ _____

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

на тему Обґрунтування вибору типу панелей сонячної електростанції

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Вступна частина</i>	Виконати аналіз поточного режиму роботи фотоелектричної станції потужністю 1 МВт, визначити стан електроенергетики.	20.10.23
<i>Основна частина</i>	Виконати обґрунтований вибір основного електрообладнання фотоелектричної станції потужністю 1 МВт. та провести моделювання різних типів ФЕМ.	20.11.23
<i>Економічна частина</i>	Визначити техніко-економічні показники проекту.	10.12.23

Завдання видано _____ Пінчук В.О.
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 10.10.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 62 с, 20 рис, 15 табл., 1 додаток, 39 джерел.

Тема: Обґрунтування вибору типу панелей сонячної електростанції.

Об'єкт дослідження – сонячна станція потужністю 1 МВт.

У вступі надається короткий опис актуальності використання сонячної електростанції та опис типів ФЕМ.

У основній частині проводиться розрахунок та вибір основного та допоміжного обладнання СЕС, розрахунок режиму КЗ та загальні економічні показники.

У економічному розділі був здійснений розрахунок техніко-економічних показників проекту.

Результати – за результатами розрахунків, було доведено доцільність використання різних типів ФЕМ з економічної та практичної точки зору.

ЗМІСТ

1 ВСТУП	5
1.1 Стан Українського сектору ВДЕ.....	7
1.2 Типи сонячних панелей та аналіз їх принципу роботи.....	11
1.3 Технічне завдання на проектування ФЕС з різними типами панелей.	18
1.4 Структура фотоелектричних станцій	19
1.5 Висновки та постановка задач щодо обґрунтування вибору типу панелей сонячної електростанції.	21
2 Основна частина	22
2.1 Вибір основного обладнання.	22
2.1.1 Вибір сонячних модулів.....	22
2.1.2 Вибір інверторного обладнання.	24
2.1.3 Вибір номінальної напруги та точки приєднання станції.....	27
2.2 Вибір допоміжного та комутаційного обладнання	28
2.2.1 Вибір силового трансформатора.	28
2.2.2 Вибір кабелів до 1000 В	28
2.2.3 Вибір параметрів кабельних ліній напругою вище 1 кВ	29
2.4 Розрахунок струмів КЗ в мережах до та вище 1 кВ	30
2.5 Вибір комутаційного обладнання для видачі потужності в мережу	33
2.5.1 Вибір ввідних вимикачів на стороні $U_{ном}=0,66$ кВ КТП	33
2.5.2 Вибір запобіжників на стороні 0,66 кВ.....	34
2.5.3 Обираємо роз'єднувач зі сторони 6 кВ.....	34
2.5.4 Вибір вимикачів на стороні 6 кВ	35
2.6 Вибір обладнання та допоміжних компонентів для інших видів ФЕМ.	36
Аналіз ефективності використання різних типів сонячних панелей	37
3 Економічний розділ	41
3.1 Розрахунок капітальних витрат	41
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	46
3.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	47
3.4 Розрахунок річного фонду заробітної плати	48
3.5 Розрахунок єдиного соціального внеску	50
3.6 Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж ...	50
3.7 Визначення інших витрат	51
3.8 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	51
3.9 Визначення доходу від продажу електроенергії.....	53

1 ВСТУП

Україна є енергодефіцитною країною яка імпортує близько 75% енергоносіїв. Також українська промисловість є досить енергоємною, оскільки в 3-5 рази перевищує відповідні показники економічно розвинутих країн, тому Україна є надзвичайно чутлива до умов імпортування природних енергоносіїв.

Використання відновлювальних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України. Збільшення частки використання відновлювальних джерел енергії в енергетичній системі України сприятиме підвищенню диверсифікації джерел енергоносіїв, що, в свою чергу, сприятиме зміцненню енергетичної незалежності країни.

За даними УВЕА (Українська вітроенергетична асоціація), за час дії воєнного стану в Україні було пошкоджено чи знищено близько 30 % потужностей сонячної енергетики та 75% вітрової. Воєнний стан зумовив підвищення попиту для домашніх станцій з ВДЕ у 10 разів, для промислових об'єктів – 4-5 разів. 13 грудня 2022 року Україна підписала з Міжнародним енергетичним агентством (МЕА) спільну робочу програму на 2 роки з метою відновлення української енергосистеми після руйнувань. Основними напрямками стали: безпека енергетичної системи, енергозбереження, низьковуглецевий водень, відновлювані джерела енергії, біогази, а також робота з даними та статистикою.

На наступні роки буде дуже актуальне питання відновлювання виробництва електричної енергії із «зеленої» енергетики, та удосконалення процесу генерації за допомогою новітніх технологій. Географічне положення України дає потенціал сонячного випромінювання до 1400 кВт·год/м², однак найефективнішим буде використання сонячних установок упродовж п'яти, семи місяців в залежності від розташування самої СЕС.

Тому дослідження у сфері систем керування та оптимізації сонячних електростанцій є актуальними особливо сьогодні.

Мета роботи полягає у розробці вдосконаленого методу керування детектором сонячних променів, проведенні експериментів з сонячною електростанцією та впливом методу оптимального керування на її вихідну потужність.

У даному дипломному проекті запропоновано рішення використання трекерних установок ФЕМ при будівництві СЕС встановленою потужністю 2 МВт, що включає в себе технічний та економічний розрахунки, а також аналіз доцільності впровадження такої технології.

1.1 Стан Українського сектору ВДЕ

У 2021 році, енергетичний сектор України виявився на перехресті в очікуванні який вектор розвитку енергетики обере держава.

В невизначеності знаходився й сектор відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Адже, з одного боку, Уряд України почав поетапно виконувати свої зобов'язання, передбачені Меморандумом «Про Взаєморозуміння щодо врегулювання проблемних питань у сфері відновлюваної енергетики України», укладеним в червні 2020 року в результаті проведення медіації при Центрі вирішення спорів Енергетичного Співтовариства між Урядом України та НКРЕКП, з однієї сторони, та двома провідними профільними асоціаціями — Українська вітроенергетична асоціація та Європейсько-Українське енергетичне агентство — з іншої, та розпочав поступово виплачувати заборгованість, накопичену перед виробниками з ВДЕ протягом минулих років, таким чином, надаючи ринку позитивні сигнали.

Але, з іншого боку, за ініціативою громадського об'єднання «Ліга Антітраст» на рівні держави виникли спроби визнати «зелений» тариф як незаконну державну підтримку або як той, що був прийнятий у неконституційний спосіб. Якщо з одного боку, Президент України став одним із підписантів Глобального вітроенергетичного маніфесту в рамках COP26 та взяв міжнародне зобов'язання повністю припинити внутрішнє споживання вугілля до 2035 року і почати поступово виводити з експлуатації теплову генерацію, починаючи з 2022 року, то, з іншого боку, Уряд України продовжував спрямовувати усі зусилля на підтримку застарілої інфраструктури атомної енергетики і прийняв державну програму з розвитку атомно-промислового комплексу до 2026 року.

У 2019 році Україна увійшла у ТОП-10 країн світу за темпами розвитку відновлюваної енергетики, а у 2020 році — у ТОП-5 європейських країн за темпами розвитку сонячної енергетики. У тому ж 2019 році, у рейтингу Climatescope[1] від Bloomberg New Energy Finance (Bloomberg NEF), Україна посіла почесне 8 місце (піднявшись з 63-го) серед 104 країн світу за інвестиційною привабливістю країни саме у питанні розвитку низьковуглецевих джерел енергії і будівництва «зеленої» економіки. У 2021 році, Україна була на 48 місці за загального інвестиційного потенціалу держави[2] серед 136 країн світу в рейтингу BloombergNEF.

Загалом, починаючи із 2019 року, інвестиції у нові проекти відновлюваної енергетики в Україні є стабільно вищими ніж у проекти на викопному паливі. Тільки за останні 10 років провідні міжнародні та українські ВДЕ інвестори залучили в економіку України понад 12 млрд доларів США прямих іноземних інвестицій, а частка іноземних інвесторів у встановленій потужності ВДЕ станом на кінець 2021 року сягнула понад 35%, що характеризує український сектор ВДЕ як доволі конкурентний та відкритий.

За даними НКРЕКП, станом на 31 грудня 2021 року, встановлена потужність сектору відновлюваної енергетики України досягла 9 655,9 МВт, включно з сонячними установками для приватних домогосподарств (дСЕС), або 8 450,8 МВт — без дСЕС.

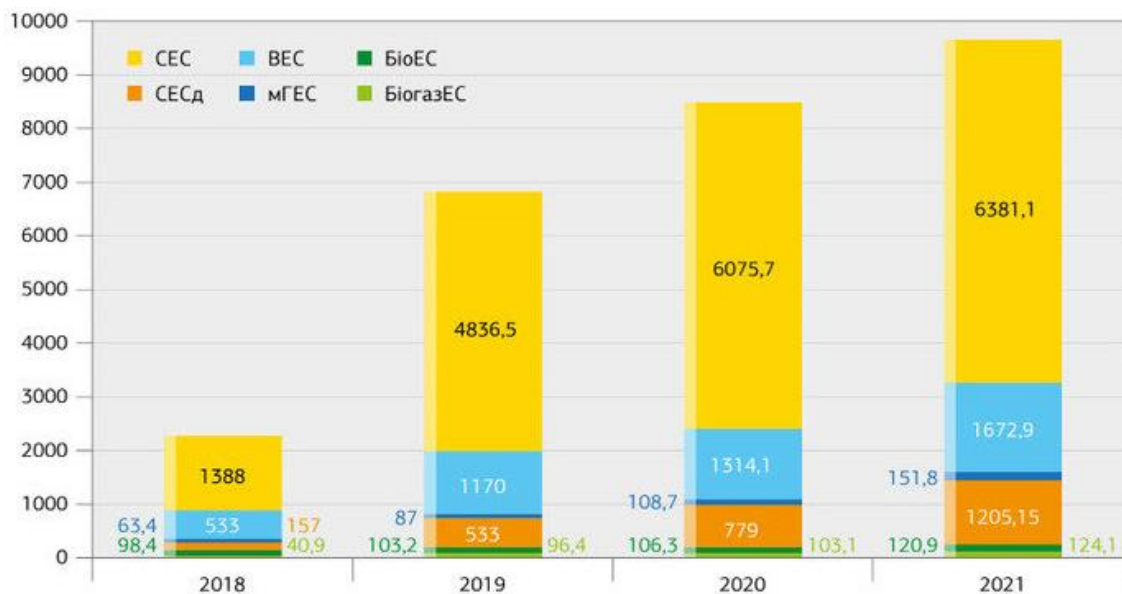


Рисунок 1 - Динаміка росту встановленої потужності об'єктів ВДЕ, які працюють за «зеленим» тарифом, МВт

Проте, треба зазначити, що, як і в минулі роки, активний темп розвитку у 2021 році спостерігався лише у одному сегменті — домашні СЕС, потужність яких в 2021 році зросла на 426,1 МВт, що становить 36,4% від нових потужностей ВДЕ, введених в експлуатацію минулого року. Таким чином, загальна встановлена потужність усіх сонячних систем домогосподарств наприкінці року досягла 1 205,1 МВт. На відміну від сектору дСЕС, промислова сонячна енергетика навпаки продемонструвала не найкращі показники розвитку, а скоріше їх скорочення. У 2021 році потужності промислової сонячної генерації збільшились лише на 305,5 МВт (26,1% від нових потужностей ВДЕ, введених в 2021 році), що на 818,1 МВт або 3,6 разів менше показника 2020 року — 1 123,6 МВт. На кінець року сумарна встановлена потужність сектору сонячної енергетики країни склала 7 586,3 МВт (включно з дСЕС).

У зв'язку з тим, що українська енергосистема переобтяжена базовими потужностями і відчуває дефіцит маневрових потужностей, для балансування енергосистеми також використовуються спроектовані для роботи в базових режимах енергоблоки ТЕС загальною встановленою потужністю 21,8 ГВт. Однак, через те, що частина ТЕС розташована на тимчасово окупованих

територіях, деякі блоки зняті з експлуатації чи законсервовані, знаходяться в плановому або аварійному ремонті чи недоступні через відсутність палива, реально доступними є лише 5–6 ГВт теплової генерації. За таких умов основними потужностями регулювання графіка навантаження є вугільні блоки 150–200–300 МВт ТЕС. Проте, через надмірне використання ТЕС для балансування енергосистеми, відбувається додаткове спрацювання ресурсу устаткування, підвищення аварійності та перевитрати палива. При цьому середня кількість годин, яку напрацювали всі енергоблоки ТЕС, вже перевищила 270 тис годин (при граничному парковому ресурсі до 200 тис годин), що призводить до роботи енергосистеми на межі доступних резервів потужності.

Компенсувати той об'єм електроенергії, який буде втрачено як для внутрішнього споживання, так і для експорту, через зношеність інфраструктури на викопному паливі вже у найближчі 5 років, зможуть виключно електростанції на відновлюваних джерелах енергії. Виробляючи електроенергію за рахунок вітру та сонця, споживачі не залежать від кількості і скінченності палива, термінів добування чи поставки цього палива, наявності місця для зберігання палива і утилізації похідних від нього відходів. Тобто, вони не залежать від усіх тих аспектів, які змушують країни залежати один від одного протягом десятка років.

РІК	Сумарна встановлена потужність	АЕС	%	ТЕС ГК	%	ТЕЦ та інші ТЕС	%	ГЕС та ГАЕС	%	ВЕС, СЕС та БіоЕС	%
2014	55,1	13,8	25,1	27,7	50,3	6,6	12,0	5,9	10,6	1,1	2,0
2015*	54,8	13,8	25,2	27,8	50,7	6,5	11,8	5,9	10,7	0,8	1,5
2016	55,3	13,8	25,0	27,8	50,3	6,5	11,8	6,2	11,2	1,0	1,7
2017**	51,7	13,8	26,7	24,6	47,5	5,9	11,5	6,2	12,0	1,2	2,3
2018	49,7	13,8	27,8	21,8	43,9	6,1	12,3	6,2	12,6	1,7	3,4
2019	54,4	13,8	25,4	21,8	40,0	6,1	11,2	6,3	11,6	6,4***	11,8
2020	54,7	13,8	25,2	21,8	39,8	6,1	11,1	6,3	11,5	6,6	12,1
2021	56,1 ¹	13,8	24,6	21,8	38,8	6,1	10,8	6,3	11,2	8,1	14,3

Рисунок 2 - Встановлена потужність електростанцій України, по роках, ГВт

Як зазначалось переважна більшість встановлених наразі в країні об'єктів відновлюваної енергетики, зосереджені у південних та південно-східних областях України, де вже протягом останніх 6 місяців безупинно точаться активні бойові дії. За різними оцінками експертів, станом на серпень 2022 року вже так чи інакше постраждало 30–40% ВДЕ електростанцій у цих регіонах або близько 1 120–1 500 МВт встановленої потужності.

Позитивний сигнал для ринку розподіленої генерації з ВДЕ надала новина стосовно розробки Міністерство енергетики України Законопроєкту «Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії генеруючими установками споживачів», який пропонує на заміну «зеленого» тарифу для споживачів запровадити нову модель підтримки (Net billing), що орієнтована на покриття власного споживання та не потребуватиме додаткових фінансових витрат з боку держави та/або інших споживачів.

1.2 Типи сонячних панелей та аналіз їх принципу роботи

Пристрої для прямого перетворення енергії світла або сонячної енергії в електроенергію називаються фотоелементами (англійською фотовольтаж, від грецького фото- світло і назви частини електрорушійної сили - вольт). Перетворення сонячних променів в електроенергію проходить в фотоелементах, зроблених з напівпровідникових матеріалів, наприклад, кремнію, який під впливом сонячного світла виробляє електричний струм. Підключаючи сонячні елементи в модулі, а ті, в свою чергу, один з одним, можна побудувати велику фотоелектричну станцію.

ККД ефективність в даний час є близько 14-17%, але фотомодулі з використанням дорогих, але дуже ефективних матеріалів можуть досягати до 20% або більш високої ефективності. Сонячний модуль – це масив взаємопов'язаних сонячних елементів, що знаходяться під скляним покриттям.

Чим більше інтенсивного світла падає на фотоелементи і чим більше їх площа, тим більше електроенергії виробляється і тим більше сила струму.

Основою фотовольтаїчної системи є сонячні елементи. Окремий сонячний елемент зазвичай має невеликий розмір і виробляє близько 1-2 Вт електроенергії. Для збільшення виробництва електроенергії сонячні елементи об'єднують у великі блоки, які називаються сонячні модулі.

Модулі, у свою чергу, об'єднують у батареї. Таким чином можливо побудувати фотовольтаїчні системи майже будь-якої потужності. Сонячні батареї досягають потужності 100, 200 Вт, або більше. Такі панелі перетворюють випромінювання сонячної енергії в постійний струм напругою близько 12 В (або кратне 12 В).

Фотомодулі і батареї самі по собі, ще не є фотоелектричні системи. Щоб створити повну систему необхідне додаткове устаткування: окрім каркасу модулів потрібне обладнання для перетворення постійного струму в змінний струм, також можливо потрібні акумуляторні батареї для зберігання отриманої електроенергії.

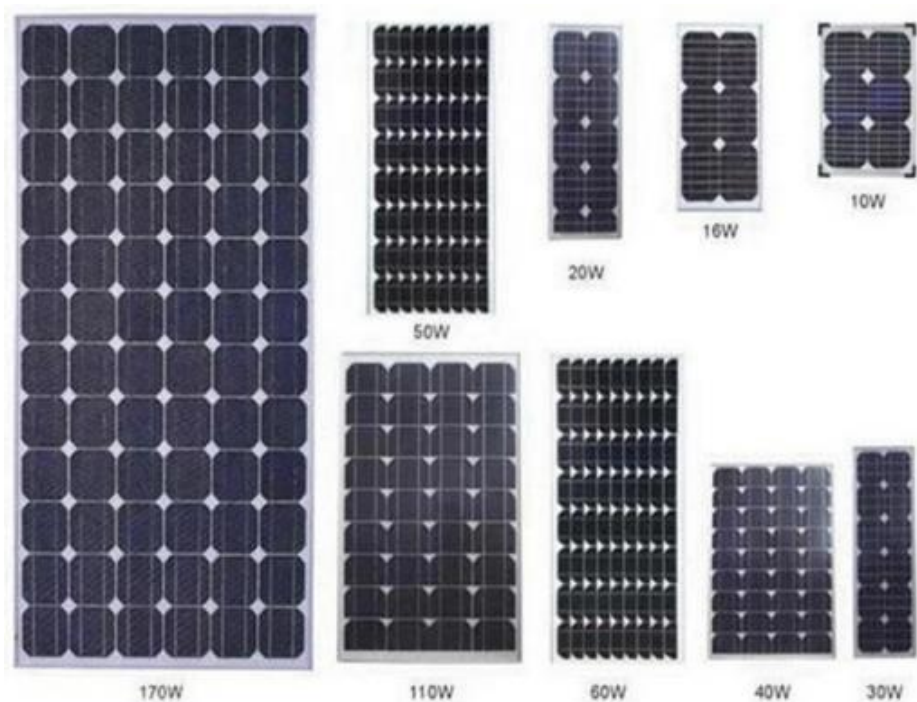


Рисунок 3 – Приклади сонячних модулів різної потужності

В реалізації сонячних енергетичних установок в промислових масштабах, беруть участь більш як 300 компаній у світі. Вони пропонують цілий ряд рішень, що постійно змінюються та покращуються. З усіх необхідних компонентів для будівництва сонячних систем, найбільш важливим є вибір виробника фотоелектричних панелей. Різні виробники пропонують панелі, засновані на різних технологіях. Основою для виробництва сонячних батарей є використання кремнію, він сьогодні називається «нафтою 21 століття». Розрахунки показують, що сонячні елементи з ККД 15% ефективності, на який пішли 1 кг кремнію та 30 років служби може виробляти 300 МВт / год електроенергії. Така кількість енергії дорівнює енергії, яку ви можете отримати використавши 75 тонн нафти (з урахуванням ККД ефективності теплоелектростанцій 33% і теплотворність нафти 43.7 МДж/кг). Таким чином, 1 кг кремнію є еквівалентна 75 тонн нафти.

Залежно від того, як організовані атоми кремнію в кристалі, сонячної елементи поділяються на типи:

- Сонячні елементи з монокристалічного кремнію;
- Сонячні елементи полікристалічного кремнію
- Сонячних елементи з аморфного кремнію



- тонкоплівочні
(аморфний кремній)



- монокристалічні



- полікристалічні

Рисунок 4 – Сонячні панелі різних типів

Монокристалічні

В основі монокристалічних модулів лежать монокристали кремнію. Візуально вони відрізняються рівним, красивим забарвленням. Кілька панелей, розміщених поруч, будуть виглядати ідентично і створювати картину цілісного покриття. Такий рівномірний колір обумовлений структурою кристала, в якому міститься всього одне зернятко. Чистота молекулярного сита досягається складним технологічним процесом, а натомість воно отримує максимальну ефективність і довговічність.

Монокристалічна батарея виготовлена з твердого кремніюВіх зіпків. Судячи з усього, мається на увазі частина зльоту і кремнієвий диск із закругленими краями. Вигнутий край батареї характеризується знаком, за яким можна розкрити монокристалічну структуру батареї. Елементи інших абсолютно гладкі, без заокруглень.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки монокристалічних панелей.

Переваги	Недоліки
<ol style="list-style-type: none"> У виробництві використовується високоякісний кремній, тому монокристалічні елементи часто характеризуються кращими експлуатаційними характеристиками, в тому числі і продуктивністю. Їх ККД може становити до 22%. Відомо, що сонячні батареї вимагають досить великих площ для розміщення. Монокристалічні типи батарей більш компактні і займають менше вільного місця. При цьому вихідна потужність може бути в кілька разів більше, ніж у інших типів панелей. Мінімальне обслуговування. Панелі такого типу потрібно 	<ol style="list-style-type: none"> Вони коштують дорожче, ніж альтернативні види. За високу ефективність, тривалий гарантійний термін і більш компактні габарити доведеться заплатити. Зазвичай їх можуть дозволити собі промислові підприємства, які планують використовувати панелі протягом багатьох років. Для домашніх цілей багато хто вибирає інші типи акумуляторів. Монокристалічні модулі мають важливе значення списа енергетичних перетворень. У складі панелі характеристики панелі не в тіні. З часом вдається відновити роботу мікроінверторів, що дозволяє знизити характеристики всіх

<p>лише періодично очищати від пилу на поверхні.</p> <p>4. Термін служби таких модулів найтриваліший (до 50 років), а гарантія деяких виробників становить 25 років.</p>	<p>енергосистем до впливу локальних проблем.</p>
--	--

Полікристалічні

Процес виготовлення батарей з полікристалів набагато простіше і не вимагає складної процедури вирощування монокристалів методом Чохральського.

Полікристалічні панелі готуються шляхом плавлення сірого кремнію, який охолоджується в квадратних формах і витягується в ідеальні квадрати.

Переваги полікристалічних панелей:

1. Таке обладнання виділяється прийнятною ціною, за рахунок того, що спосіб виготовлення простий і менш витратний.
2. Полікристалічні панелі відмінно підходять для домашнього використання, де незначні зміни продуктивності не грають ключової ролі.

Недоліки полікристалічних модулів:

1. Вони менш стійкі до високих температур. Екстремальна спека може знизити продуктивність енергосистеми та суттєво вплинути на роботу великих промислових підприємств. Постійний вплив високих

температур може скоротити термін служби батарей на основі полікристалів, на відміну від модулів з високоякісними монокристалом в структурі.

2. ККД полікристалічних осередків досягає всього 18%. Чим вище якість кремнію, який взятий за основу таких систем харчування, тим вище будуть мати показники продуктивності сонячної батареї. Під якістю або чистотою кремнію прийнято розуміти впорядкованість його молекул в мережі, що визначає ефективність перетворення сонячної енергії в електричну.
3. Вони вимагають багато вільного простору. Для того, щоб отримати однакову електричну потужність, полікристалічні елементи повинні займати більшу площу покриття, ніж монокристалічні елементи.
4. Назва виду полікристалічних панелей - це кількість батарей, які не є однорідними через велике скупчення кристалів в одному фотоелектричному елементі. При цьому характеристика першої ролі у вібрації

Аморфний кремній

отримується за допомогою «техніки випаровувальної фази», коли тонка плівка кремнію наноситься на несучі матеріали і захищений покриттям. Ця технологія має ряд недоліків і переваги:

- процес виробництва сонячних панелей на основі аморфного кремнію є відносно простим і недорогим;
- можливе виготовлення елементів великою площею;
- низьке енергоспоживання. Тим не менше:
- значно знижений ККД перетворення ніж у кристалічних елементів;
- елементи у процесі деградації.

Усі ці технології про які сказано вище ми добре знаємо та використовуємо навіть у повсякденному житті, наприклад павербанки та різні прилади які використовують сонячні панелі у якості джерела енергії.

Та прогрес не стоїть на місці, тому ми кожного року намагаємося працювати над покращенням показників ККД та інших важливих параметрів задля зниження собівартості та якомога ширшого впровадження відновлювальної енергетики.

Швейцарська компанія обіцяє прорив на ринку домашніх сонячних модулів. ККД досяг 29% – більшість інженерів досягають таких показників тільки в лабораторних умовах. Компанія Insolight стверджує, що адаптувала технологію для побутового використання.

Компанія Insolight представила нову технологію створення багатоперехідних сонячних модулів для споживчого ринку. Повідомляється, що ККД фотоелектричних елементів досяг 29%, що на 10% вище, ніж у більшості панелей на ринку. Результат вже підтвердила незалежна група експертів.

Компанія, створена на базі Федеральної політехнічної школи Лозанни (Швейцарія), працює над проектом більше двох років. Компанії Insolight відразу було зрозуміло, що традиційні методи виготовлення сонячних батарей не досягають бажаної ефективності – в процесі перетворення втрачається до 85% енергії.

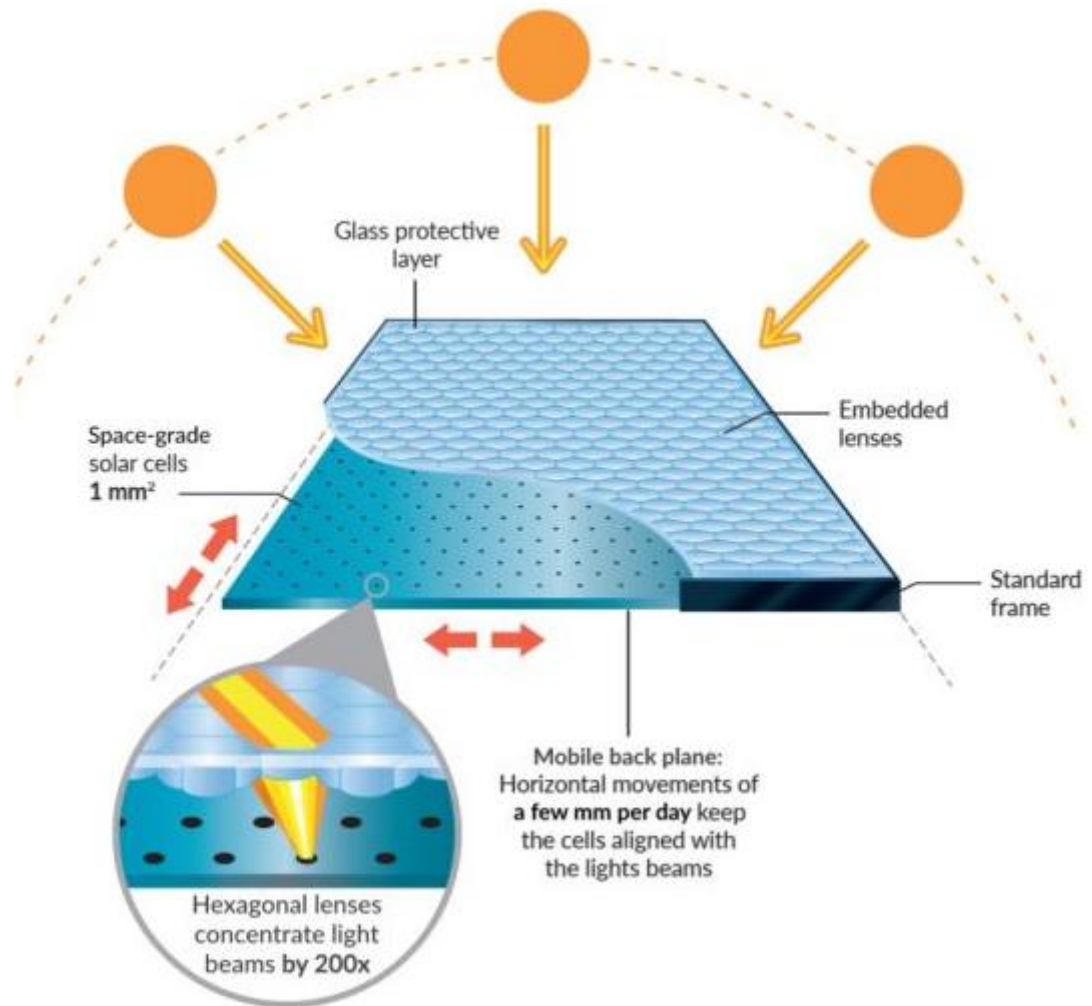


Рисунок 5 – Структура сонячних панелей компанії Insolight

1.3 Технічне завдання на проектування ФЕС з різними типами панелей.

Метою роботи є проектування фотоелектричних станцій потужністю 1 МВт, із застосуванням різних типів фотоелектричних модулів, а саме модулів з монокристалічною, полікристалічною та з використанням технології аморфного кремнію. Також, буде проведено аналіз та порівняння

продуктивності, терміну окупності, та рентабельності ФЕС з різними типами ФЕМ. Як видно із Рисунку 6, станції будуть розташовані у с. Вишневе, Дніпропетровської області.



Рисунок 6 – Місце розташування ФЕС

Наведемо основні параметри ФЕС для першого варіанту проектування який передбачає використання Монокристалічних ФЕМ та має наземне виконання.

Таблиця 2 – Основні дані СЕС

Потужність	1 МВт
Тип ФЕМ	Монокристалічні
Місце розташування	Дніпропетровська область, П'ятихатський район, Вишневська ОТГ
Площа	2 га
Тип станції	Наземна, на металоконструкціях

1.4 Структура фотоелектричних станцій

Потужна сонячна електростанція – це комплекс об'єднаних між собою електричних конструкцій та елементів. Розглянемо структуру такої електростанції.

Як відомо – основним елементом сонячної електростанції є фотоелемент – сонячна панель. Об'єднані у великі з'єднання, сонячні панелі здатні генерувати величезні потужності. Кожна сонячна панель з'єднується між собою, потім виводиться загальний кабель на інвертор. Інвертор може приєднувати до себе велику кількість панелей, тому для зручності використовують з'єднання так званих «столів».

Стіл це конструкція на яку кріпляться сонячні панелі. Таким чином кожна панель на столі з'єднується між собою і виводиться один загальний кабель. Тож до інвертора можуть підключатися декілька десятків столів, в залежності від того на яку потужність розрахований інвертор. Після того як усі панелі на полі електростанції були підключені до інверторів, кожен інвертор кабельною лінією з'єднується з розподільчим пристроєм низької напруги, в якому встановлені захисні апарати. Від РПНН, до якого приєднано декілька інверторів, кабельна лінія відходить до трансформатора на комплектній трансформаторній підстанції.

КТП також має захисну апаратуру яка захищає усю мережу від аварій та виходу з ладу апаратури. Так як сонячна електростанція має великі розміри, то і кількість КТП залежить від допустимої потужності. Кожна з КТП з'єднується кабелем, а потім приєднується до найвищого за потужністю елементу сонячної електростанції – розподільної установки.

Промислові ФЕС, потужністю 1 МВт найчастіше мають наступну структуру:

- а) Фотоелектричні панелі, що розташовані паралельними рядами на столах з металоконструкцій.
- б) Система, що складається з підключених стрінгів сонячних панелей, конекторів та запобіжників постійного струму.

- в) Інвертор, що розташовується між рядами або біля столів.
- г) Система кабелів змінного струму, що прокладається у траншеях до КТП.
- д) Комплектна трансформаторна підстанція яка має:
 - Підвищувальний трансформатор;
 - Релейний захист та автоматика
 - Система телемеханіки
 - Система моніторингу
 - Система АСКОЕ
- е) Частиною системи змінного струму та КТП є трансформатор власних потреб.
- ж) Система підключення до мережі.
- з) Система заземлення та блискавкозахисту.
- и) Освітлення.
- к) Огородження, та споруди побутового призначення.

1.5 Висновки та постановка задач щодо обґрунтування вибору типу панелей сонячної електростанції.

Для дослідження різних типів фотоелектричних модулів та вибору оптимального рішення, треба вирішити наступні задачі:

- Обрати типові ФЕС для здійснення порівняння, та моделювання режимів роботи.

- Створення комп'ютерної моделі в програмному комплексі System Advisor Model для дослідження режимів роботи.
- Зробити аналіз економічної частини та ефективності модулів на базі змодельованих режимів роботи станції.

2 Основна частина

2.1 Вибір основного обладнання.

2.1.1 Вибір сонячних модулів.

Для вибору найкращих панелей буде доцільно скористатися досвідом світового ринку. Для класифікації виробників, існує маркування та розділення фотомодулів по класам, такі як «панелі класу 1» чи «tier 1», це зроблено для акцентування уваги на їх високій якості та надійності. Але окрім рейтинговості компанії обладнання має бути сертифікованим на міжнародних ринках та довести свою якість в тривалій експлуатації. Наступним кроком у виборі панелей буде вибір саме монокристалічного модуля. Майже у всіх виробників є як моно- так і полікристалічні фотоелектричні модулі.

За ефективністю та ступенем деградації обираю середньостатистичну монокристалічну панель компанії «Ja Solar» JA Solar JAM60S20 375/MR.

Модель	JAM60S20 375/MR
Электрические характеристики *	
Максимальная мощность (Pmax)	375 Вт
Допустимое отклонение мощности	05 Вт
Напряжение в точке максимальной мощности (Vmp)	34,50 В
Ток в точке максимальной мощности (Imp)	10,87 А
Напряжение холостого хода (при разомкнутом контуре) (Voc)	41,45 В
Ток короткого замыкания (Isc)	11,41 А
Максимально допустимое напряжение при последовательном подключении	1000 В
КПД батареи	20,2 %
Общие характеристики	
Количество фотоэлементов	120 (6 x 20) шт
Материал изготовления фотоэлемента	Монокристаллический кремний
Коэффициент потери мощности в зависимости от нагрева	-0,350%/°C

Рисунок 7 – Характеристики панели JA Solar JAM60S20 375/MR

Також треба навести габаритні розміри панелі JA Solar JAM60S20 375/MR для подальшого розрахунку.

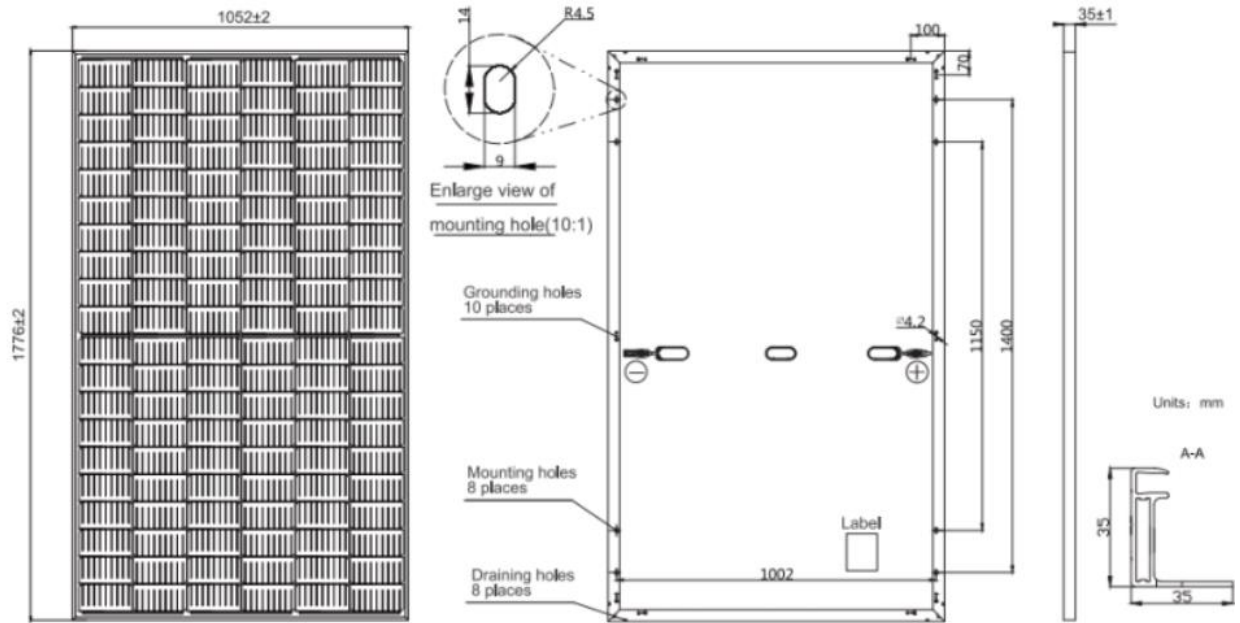


Рисунок 8 – Розміри та креслення панелі JA Solar JAM60S20 375/MR.

2.1.2 Вибір інверторного обладнання.

Для вибору кількості інверторів та визначення схеми підключення стрінгів, необхідно визначити максимальну очікувану напругу панелі:

$$U_{\text{фем. max}} = U_{\text{OC}} + \frac{P_{\text{MAX1}} * 0.25}{I_{\text{MPPT}}} = 41,45 + \frac{375 * 0.25}{10,8} = 50,1\text{В}$$

Для станцій потужністю у 1 МВт оптимально буде використовувати інвертори у 50 кВт. Приймаємо саме таке рішення для нашої станції. Порівнявши ринок та проаналізувавши декілька рішень, остаточно приймаю інвертор Solis-50K-5G-DC як хороший варіант ціна/якість.

Нижче приводжу параметри та характеристики інвертора:

DATASHEET

S5-GC(25-50)K

Models	25K	30K	33K	40K	40K-HV	50K-HV
Input DC						
Recommended max. PV power	37.5 kW	45 kW	49.5 kW	60 kW	60 kW	75 kW
Max. input voltage	1100 V					
Rated voltage	600 V					
Start-up voltage	180 V					
MPPT voltage range	200-1000 V					
Max. input current	32 A / 32 A / 32 A			4*32 A		
Max. short circuit current	40 A / 40 A / 40 A			4*40 A		
MPPT number/Max. input strings number	3/6			4/8		
Output AC						
Rated output power	25 kW	30 kW	33 kW	40 kW	40 kW	50 kW
Max. apparent output power	27.5 kVA	33 kVA	36.3 kVA	44 kVA	44 kVA	55 kVA
Max. output power	27.5 kW	33 kW	36.3 kW	44 kW	44 kW	55 kW
Rated grid voltage	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V				3/PE, 480 V	
Rated grid frequency	50 Hz / 60 Hz					
Rated grid output current	38.0 A / 36.1 A	45.6 A / 43.3 A	50.1 A / 47.6 A	60.8 A / 57.7 A	48.1 A	60.1 A
Max. output current	41.8 A	50.2 A	55.1 A	66.9 A	53.0 A	66.2 A
Power factor	>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)					
THDi	<3%					
DC injection current	<0.5% In					

Рисунок 9 – Параметри інвертора Solis-50K-5G-DC

Таблиця 3 - Параметри інвертора Solis

АС номінальна потужність, Вт	50000
АС номінальна напругу, В	600
АС максимальний струм, А	67
ММРТ вхід / стринги	4/8
DC робочій діапазон напруги, В	200-1000
DC максимальна напруга входу, В	1100
ККД інвертора, %	98,8 %
Габарити	691x578x338

Для станції потужністю 1 Мвт потрібно 20 інверторів обраного типу.

Цей розрахунок проводиться наступним чином:

$$N_{\text{інв}} = P_{\text{фес}} / P_{\text{ном.інв}}$$

$$N_{\text{інв}} = 1000 / 50 = 20 \text{ шт.}$$

До одного інвертора може приєднуватись до 8 стрінгів з максимальною напругою $U_{MPPTmax} = 1100$ В, $I_{MPPTmax} = 32$ А. Розрахуємо кількість ФЕМ у послідовному з'єднанні кожного стрінгу за формулою:

$$n_{\text{посл}} = \frac{U_{MPPTmax}}{U_{\text{фем. max}}} = \frac{1100}{50,1} = 21,9 \text{ шт} = 18 \text{ шт.}$$

Визначимо кількість ФЕМ за обраною конфігурацією стрінгів:

$$n_{\text{фем}} = n_{\text{інв}} * n_{\text{стрінг}} * 18 = 20 * 8 * 18 = 2880 \text{ шт.}$$

Визначимо максимальну сумарну номінальну потужність СЕС:

$$P_{\text{сес}} = n_{\text{фем}} * P_{\text{МАХ1}} = 2880 * 0,375 = 1080 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо оптимальний кут нахилу сонячної панелі:

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

$$\text{Кут нахилу панелі} = 47,52 \cdot 0,76 + 3,1^\circ = 39,21^\circ \approx 39^\circ$$

2.1.3 Вибір номінальної напруги та точки приєднання станції

Потрібно визначити найближчу точку приєднання СЕС до загальної електромережі. За обраним рівнем напруги 6 кВ на сайті Держгеокадастру [3] знайдемо найближчу КТП закритого типу. Приймаємо, для подальшої розробки проекту вже для етапу будівництва має бути закладена умова більш ґрунтового дослідження пропускної здатності вузла з можливою реконструкцією установки для можливості прийому потужності СЕС.

Найближчою можливою точкою приєднання до СЕС є КТП 116:



Рисунок 10 – Точка підключення СЕС до мережі

2.2 Вибір допоміжного та комутаційного обладнання

2.2.1 Вибір силового трансформатора.

При виробництві електроенергії на СЕС реактивна складова у генерації відсутня, а тому можна вважати, що $\cos \varphi \approx 1$. У такому випадку можна вважати, що повна потужність системи дорівнює активній і при виборі трансформатора потужність будемо обирати за сумарною потужністю інверторів, що дорівнює 1000 кВт. Приймаємо ТМГ-1000/6.

Обозначение	Трансформатор ТМГ
Номинальная мощность, кВА	1000
Напряжение, кВ	6; 10/0,4
Потери холостого хода, Вт	1550
Потери короткого замыкания, Вт	10800
Напряжение короткого замыкания, %	5,5
Ток холостого хода, %	1,2
Схема и группа соединения обмоток	Y/Yn-0 D/Yn-0

Рисунок 11 – Характеристики трансформатора ТМГ.

2.2.2 Вибір кабелів до 1000 В

Приймаємо для живлення інверторів 50 кВт кабель алюмінієвий зі зшитого поліетилену АПВВГ 3х16 прокладений у траншеї із допустимим струмом 87А.

$$I_{m.инв} = 66 \text{ А}$$

$$I_{доп} = 87 \text{ А}$$

$$I_{m.инв} \leq I_{доп} * k_1 * k_2 * k_3 = 195 * 1 * 1 * 0,8 = 70 \text{ А}$$

66 А ≤ 70 А – умова виконується.

2.2.3 Вибір параметрів кабельних ліній напругою вище 1 кВ

Виконаємо вибір на перевірку КЛ 6 кВ.

Для прокладання у траншеї оберемо кабель ААБл 3х35 6 кВ. Силовий броньований стрічками кабель, з алюмінієвою жилою, з паперовою просоченою ізоляцією, алюмінієвої оболонкою, зовнішній покрив з бітуму і пряжі.

Таблиця 4 – характеристики кабеля ААБл 3х35 6 кВ

КЛ	Напруга, кВ	Струм при проклад. в землі, А	Струм трифазного КЗ, кА	Час тривалості КЗ, с	Макс. потужність, кВт	Довжина, км
КЛ 6 кВ	6	117	2,8	1	1200	0,55

Перевірка кабелю по тривало допустимому струму навантаження.

Кабель підходить, якщо виконується умова:

$$I_p < I_\phi$$

де, I_p = розрахунковий струм в мережі, А;

I_ϕ = згідно з технічними умовами ПАТ "Южкабель" фактично допустимий струм для кабелю ААБл.

Розраховуємо струмове навантаження на 1 фазу для станції потужністю 1 МВт:

$$I_p = \frac{P_T}{\sqrt{3}U_H \cos \varphi} = \frac{1000}{\sqrt{3} * 6,3 * 0,98} = 93,5 \text{ А}$$

Розрахуємо фактично допустимий струм для кабелю ААБл з урахуванням умов прокладання кабелю, згідно ПУЕ та СОУ-Н МПЕ 40.1.20.509:2005 з урахуванням допоміжних коригувальних коефіцієнтів.

Для ділянки кабельної лінії, прокладеної у траншеї, фактично допустимий струм розраховується з урахуванням поправкових коефіцієнтів [].

$k_2 = 0,98$ (кабель напругою 10 кВ прокладається на глибині 1,25 м таблиця 8.13),

$k_3 = 0,96$ (таблиця 8.16 для температури землі влітку на рівні 25⁰С),

$k_4 = 1,05$ – для нормальних ґрунтів

$k_m = 1,1$ - коефіцієнт навантаження.

$$I_{\phi} = I_m * k_2 * k_3 * k_4 = 117 * 0,98 * 0,96 * 1,05 * 1,1 = 127 \text{ A}$$

93,5 А < 127 А - умова виконується.

Остаточню приймаємо кабель ААБл 3х35.

2.4 Розрахунок струмів КЗ в мережах до та вище 1 кВ

Для вибору подальшого обладнання проведемо розрахунок струму короткого замикання. Виконаємо розрахунок для найбільш віддаленого Інвертора.

Розрахунок режиму КЗ будемо проводити у іменованих одиницях:

Вихідні дані для розрахунку:

- а) Розрахункова напруга – 6,3 кВ;
- б) Потужність СЕС – 1 МВт;
- в) Точка підключення до мережі – відпайка до ЛЕП 6 кВ;

Система, до якої підключається кабельна лінія СЕС має струм КЗ $I_{кз} = 6,9$ кА.

а) опір системи:

$$z_c = x_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} * I_{кз}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} * 6,9} = 0,527 \text{ Ом}$$

б) опір КЛ 6 кВ:

$$r_{кЛ6} = r_{кЛ} l \frac{U_{ср.н}^2}{U_{ср.в}^2} = 0,890 * 0,55 \frac{6,3^2}{6,3^2} = 489 \text{ мОм}$$

$$x_{кЛ6} = x_{кЛ} l \frac{U_{ср.н}^2}{U_{ср.в}^2} = 0,087 * 0,55 \frac{6,3^2}{6,3^2} = 47,8 \text{ мОм}$$

в) опір трансформатора:

$$z_T = \frac{U_k}{100} * \frac{U_H^2}{S_{н.т}} = \frac{5,5}{100} * \frac{6,3^2}{1} = 2,18 \text{ Ом}$$

г) опір КЛ 0,66 кВ:

$$r_{кЛ0,66} = r_{кЛ} l \frac{U_{ср.н}^2}{U_{ср.в}^2} = 1,2 * 0,45 \frac{0,6^2}{0,6^2} = 540 \text{ мОм}$$

$$x_{кЛ0,66} = x_{кЛ} l \frac{U_{ср.н}^2}{U_{ср.в}^2} = 0,098 * 0,45 \frac{0,6^2}{0,6^2} = 40 \text{ мОм}$$

д) результуючі опори до точок КЗ:

$$Z_{кз1} = z_c + \sqrt{r_{кЛ6}^2 + x_{кЛ6}^2} = 527 + \sqrt{489^2 + 47,8^2} = 1018 \text{ мОм}$$

$$Z_{кз2} = Z_{кз1} + z_T = 1018 + 2180 = 3,2 \text{ Ом}$$

$$Z_{кз3} = Z_{кз2} + \sqrt{r_{кЛ0,66}^2 + x_{кЛ0,66}^2} = 3200 + \sqrt{540^2 + 40^2} = 3,741 \text{ Ом}$$

Розрахуємо токи КЗ у точці К1:

Струм трифазного КЗ:

$$I_{T1}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.н}}}{\sqrt{3}Z_{\text{кз1}}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} * 1,018} = 3,57 \text{ кА}$$

Струм двофазного КЗ:

$$I_{T1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{T1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 3,57 = 3,09 \text{ кА}$$

Струм однофазного КЗ, згідно ПУЕ:

$$I_{T1}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{z_{T0} + z_{\Pi}} = \frac{6,3}{2,18 + 1,018} = 1,96 \text{ кА}$$

Ударний струм: (K_y приймаємо рівним 1)

$$i_y^{(3)} = \sqrt{2} K_y I_{T1}^{(3)} = \sqrt{2} * 1 * 3,57 = 5,05 \text{ кА}$$

Потужність трифазного КЗ:

$$S_{T1}^{(3)} = \sqrt{3} U_{\text{ср.н}} I_{T1}^{(3)} = \sqrt{3} * 6,3 * 3,57 = 38,95 \text{ кВа}$$

Розрахунок токів КЗ у інших точках виконуємо аналогічно. Результати занесені у таблицю .

Таблиця 5 - Значення струмів КЗ

Точка КЗ	$I^{(3)}$,кА	$I^{(2)}$,кА	$I^{(1)}$,кА	K_y	$i_y^{(3)}$,кА	$S_{Т1}^{(3)}$,кВА
К1	3,57	3,09	1,96	1	5,05	38,95
К2	1,68	1,39	0,9	1	3,95	18,33
К3	0,98	0,91	1,08	1	2,21	10,7

2.5 Вибір комутаційного обладнання для видачі потужності в мережу

Перелік обладнання яке потрібно обрати:

- а) Ввідний вимикач 0,66 кВ
- б) Запобіжник 0,66 кВ
- в) Роз'єднувач 6 кВ
- г) Вимикач навантаження 6 кВ

2.5.1 Вибір ввідних вимикачів на стороні $U_{ном}=0,66$ кВ КТП

Для підключення нижчої сторони напруги до трансформатора, обираємо вимикач типу ETI NBS-E 1600/3L 1000A компанії ETI.

Для тарнсформатора 1000 кВА:

$$I_p = \frac{S_{HT}}{\sqrt{3} * U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} * 0,66} = 875 \text{ A}$$

Умови вибору:

- а) за номінальною напругою: $0,66 < 0,66$ (кВ);
- б) за номінальним струмом автомата: $875 < 1000$ (А);

2.5.2 Вибір запобіжників на стороні 0,66 кВ.

Обираються запобіжники для захисту приєднань інверторів до трансформатору.

Запобіжники вибираються згідно наступних умов:

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{ном.інв}}$$

Обираємо запобіжник плавкий типу NH-0/gG 80A 690V КОМБІ ЕТІ

$$80 \text{ A} \geq 66 \text{ A} - \text{ умова виконується.}$$

2.5.3 Обираємо роз'єднувач зі сторони 6 кВ

Вибір виконується за наступними умовами:

Обираємо роз'єднувач РЛНД-1-10Б/400НУХЛ1. Перевіряємо за умовами:

а) за номінальною напругою:

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{уст}}$$

$$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ} - \text{ умова виконується.}$$

б) за номінальним струмом:

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{рф}} = \frac{P_{\text{фес}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном.ВН}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} * 6} = 96,2 \text{ A}$$

$$400 \text{ A} \geq 96,2 \text{ A} - \text{ умова виконується.}$$

2.5.4 Вибір вимикачів на стороні 6 кВ

Вибір ввідних вимикачів на 6 кВ виконується за наступними умовами:

- а) за номінальною напругою
- б) за номінальним струмом
- в) за струмом відключення
- г) перевірка по повному струму відключення
- д) динамічна стійкість проходженню струмів КЗ
- е) термічна стійкість проходження струмів КЗ

Обираємо вимикач ВНАП 6/400, результати вибору занесемо в таблицю:

Таблиця 6 – Результати вибору вимикача

Вимикач	Вимикач ВНАП 6/400	
	Катал.	Розр.
Умови вибору		
$U_n \geq U_{уст}$	6 кВ	6 кВ
$I_n \geq I_{рф}$	400 А	96,2 А
$I_{откл.ном} \geq I_{кз}^{(3)}$	20 кА	3,57 кА
$I_{дин} \geq i_y$	51 кА	5,05 кА
$I_{тер}^2 * t_{тер} \geq I_{к1}^{(3)}$	20 кА	3,57 кА

2.6 Вибір обладнання та допоміжних компонентів для інших видів ФЕМ.

У цьому розділі обираю обладнання для полікристалічних та панелей з двосторонньою технологією.

Для зручності записую обрані данні у виді таблиць.

Таблиця 7 - обладнання для полікристалічних панелей

Вид обладнання	Конкретна модель	Кількість
Сонячний модуль Полікристалічний	JA Solar JAM72S03-375/SC	2880
Інвертор	Solis-50K-5G-DC	20
Трансформатор	ТМГ-1000/6	1
Кабель до 1000В	АПВВГ 3х16	450м
Кабель вище 1000В	ААБл 3х35	550м
Вимикач 0,66кВ	ETI NBS-E 1600/3L 1000A	1
Запобіжник плавкий	NH-0/gG 80A 690V КОМБІ ETI	20
Роз'єднувач зі сторони 6 кВ	РЛНД-1-10Б/400НУХЛ1	1
Вимикач на стороні 6 кВ	ВНАП 6/400	1

Також до порівняння додам ФЕС з технологією Bifacial (Двосторонні), характеристика та обладнання якої занесемо у таблицю.

Таблиця 8 - обладнання для двосторонніх панелей

Вид обладнання	Конкретна модель	Кількість
Сонячний модуль Двосторонній	Vega Series Bifacial 375W	2880
Інвертор	Solis-50K-5G-DC	20
Трансформатор	ТМГ-1000/6	1
Кабель до 1000В	АПВВГ 3х16	450м
Кабель вище 1000В	ААБл 3х35	550м
Вимикач 0,66кВ	ETI NBS-E 1600/3L 1000A	1
Запобіжник плавкий	NH-0/gG 80A 690V КОМБІ ETI	20
Роз'єднувач зі сторони 6 кВ	РЛНД-1-10Б/400НУХЛ1	1
Вимикач на стороні 6 кВ	ВНАП 6/400	1

Аналіз ефективності використання різних типів сонячних панелей.

Для проведення моделювання було використано програмне забезпечення PV Syst.

Спершу було проведено моделювання станції із Монокристалічними панелями. Було застосовано найближчі координати з відомою інформацією про сонячну інсоляцію. Нижче приведені вихідні данні моделювання.

Варіант 1 (Монокристалічні панелі)

PVsyst V7.4.4

VC0, Simulation date:
18/11/23 23:21
with v7.4.4

General parameters		
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation		
Orientation		
Fixed plane		
Tilt/Azimuth	39 / 0 °	
Horizon		
Free Horizon		
Sheds configuration	No 3D scene defined	
Models used		
Transposition	Perez	
Diffuse	Perez, Meteonom	
Circumsolar	separate	
User's needs		
Unlimited load (grid)		

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JAM60-S20-375-MR	Model	Solis-50K-5G-DC
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	375 Wp	Unit Nom. Power	50.0 kWac
Number of PV modules	2880 units	Number of inverters	80 * MPPT 25% 20 units
Nominal (STC)	1080 kWp	Total power	1000 kWac
Modules	160 string x 18 In series	Operating voltage	200-1000 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.08
Pmpp	985 kWp	No power sharing between MPPTs	
U mpp	566 V		
I mpp	1742 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	1080 kWp	Total power	1000 kWac
Total	2880 modules	Number of inverters	20 units
Module area	5381 m ²	Pnom ratio	1.08

Рисунок 12 – Вихідні дані для варіанту 1.

Результати моделювання 1-го варіанту:

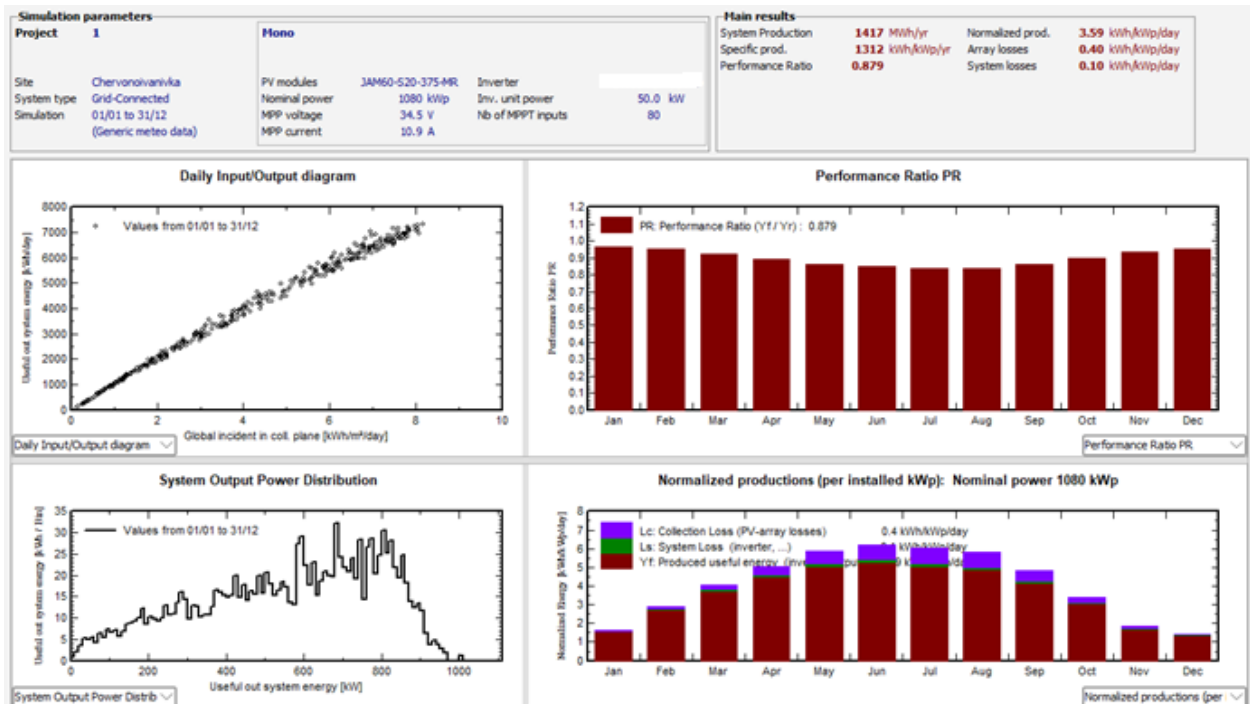


Рисунок 13 – Результати моделювання 1-го варіанту.

Варіант 2 (Полікристалічні панелі)

PVsys V7.4.4

VC0, Simulation date:
19/11/23 14:28
with v7.4.4

General parameters		
Grid-Connected System		
No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation		
Orientation		
Fixed plane	Sheds configuration	
Tilt/Azimuth	No 3D scene defined	
39 / 0 °	Models used	
Horizon		Transposition
Free Horizon	Near Shadings	Perez
		Diffuse
		Perez, Meteonorm
		Circumsolar
		separate
		User's needs
		Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JAP72-S10-375-SC	Model	Solis-50K-5G-DC
(Custom parameters definition)			
Unit Nom. Power	375 Wp	Unit Nom. Power	50.0 kWac
Number of PV modules	2880 units	Number of inverters	80 * MPPT 25% 20 units
Nominal (STC)	1080 kWp	Total power	1000 kWac
Modules	160 string x 18 In series	Operating voltage	200-1000 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.08
Pmpp	980 kWp	No power sharing between MPPTs	
U mpp	642 V		
I mpp	1526 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	1080 kWp	Total power	1000 kWac
Total	2880 modules	Number of inverters	20 units
Module area	5708 m²	Pnom ratio	1.08

Рисунок – 14 Вихідні дані для варіанту №2.

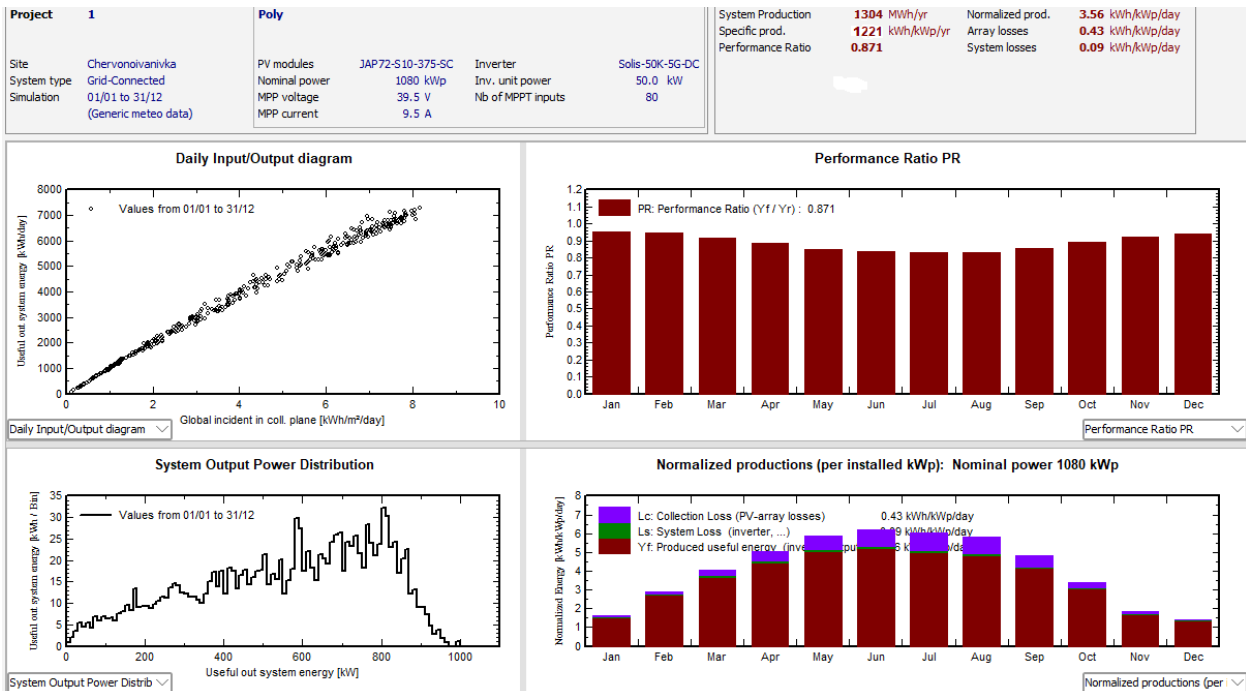


Рисунок 15 - Результати моделювання 2-го варіанту.

Варіант №3 (Двосторонні модулі)

Спершу моделюємо двосторонні панелі з альbedo поверхні = 0,3

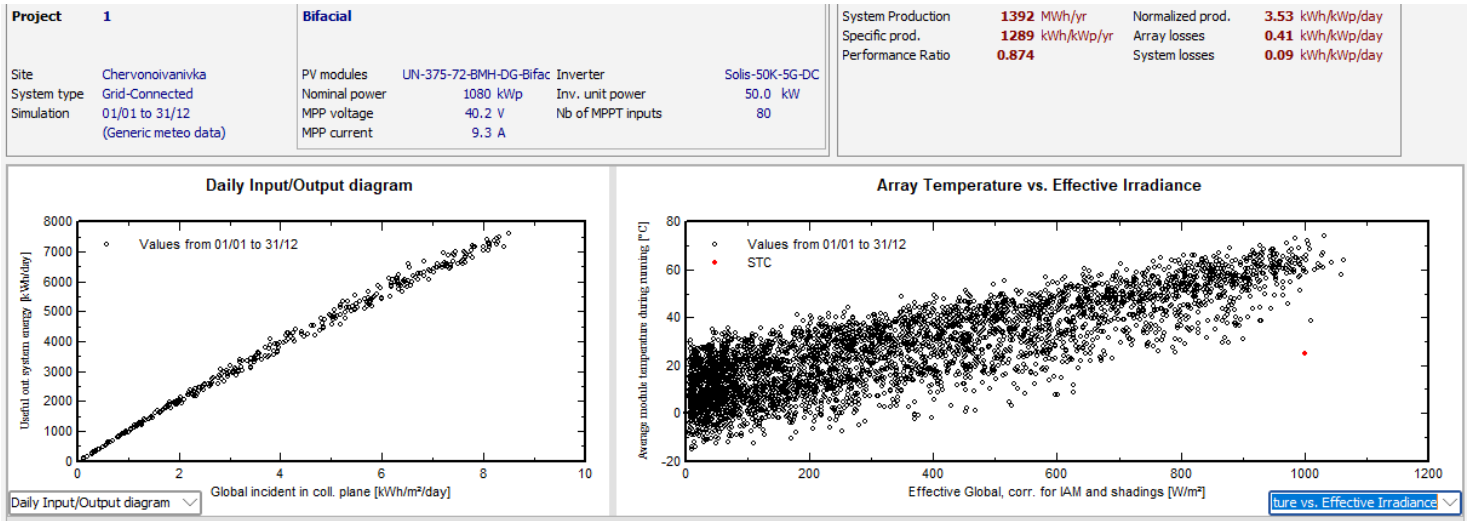


Рисунок 16 – Результати моделювання з альbedo = 0,3

Потім проведемо моделювання з альbedo = 0,8 у зимові місяці

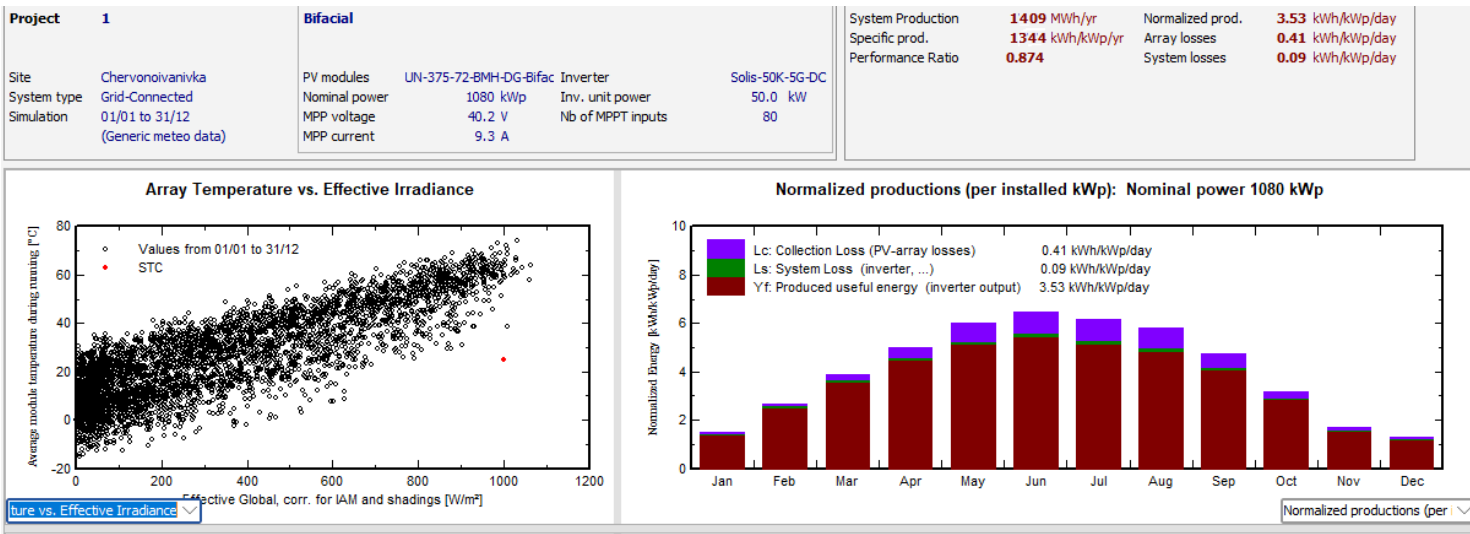


Рисунок 17 – Результати моделювання з альbedo = 0,8 у зимові місяці

3 Економічний розділ

Потреби електричної енергії збільшуються з кожним роком, проте запаси копалин паливних ресурсів неминуче скорочуються. У зв'язку зі значним зростанням цін на енергоносії останнім часом у всьому світі спостерігається тенденція розвитку альтернативної енергетики.

У кваліфікаційній роботі розглядаються питання доцільності використання різних типів сонячних панелей. Застосування сонячних панелей вважається перспективним та економічно вигідним напрямом, який дозволить забезпечити побутові та промислові потреби.

У цьому розділі необхідно визначити економічну доцільність впровадження станції, з різними видами сонячних панелей, а саме:

- З використанням монокристалічних модулів
- Полікристалічних модулів
- Двосторонні сонячні модулі.

Для техніко-економічного обґрунтування використання різних типів сонячних панелей потрібно:

- 1) розрахувати вартість капітальних витрат;
- 2) визначити величину експлуатаційних витрат;
- 3) розрахувати річну економію;
- 4) визначити та проаналізувати показники економічної ефективності.

3.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати по реалізації проектного технічного рішення можуть включати:

- а) витрати на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів контролю та обліку витрачання ресурсів, приладів діагностики стану обладнання, тощо;
- б) витрати, пов'язані з проведенням монтажних-налагоджувальних робіт, також відноситься до капітальних;
- в) інші капіталовкладення.

$$K_{np} = K_{об} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right) + Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{np},$$

де $K_{об} (\Sigma)$ - сумарна вартість придбання електрообладнання;

k – кількість необхідних комплектуючих елементів;

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

$Z_{м,н}$ - витрати на монтажні-налагоджувальні роботи;

Z_{np} - інші одноразові вкладення коштів.

Спочатку, визначимо сумарну вартість основного обладнання для реалізації проекту ($K_{об}$). Дана ціна сформована без урахування вартості доставки обладнання.

Доцільним буде занести витрати на придбання основних засобів у таблицю нижче:

Таблиця 9 - Витрати на придбання основних засобів Варіанту 1

Найменування технічних засобів.	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сумма, грн
Сонячний модуль Монокристалічний JA Solar JAM60S20 375/MR	2880	6 598 [15]	19 002 000
Технічні засоби для функціонування сонячних модулів:			
Інвертор Solis-50K-5G-DC	20	124 032 [16]	2 480 640
Трансформатор ТМГ-1000/6	1	407 264 [17]	407 264
Кабель до 1000В АПВВГ 3х16	450м	214 [18]	96 300
Кабель вище 1000В ААБл 3х35	550м	765 [19]	420 750
Вимикач 0,66кВ ETI NBS-E 1600/3L 1000А	1	40 320 [20]	40 320
Запобіжник плавкий NH-0/gG 80А 690V КОМБІ ETI	20	556 [21]	11 120
Вимикач на стороні 6 кВ ВНАП 6/400	1	6 000 [23]	6 000
Металоконструкції столів, метиз, кріплення панелей	1	1 000 000	1 000 000
Огорожа майданчика	1	200 000	200 000
Система моніторингу	1	100 000	100 000
Система автом. пож. Сигналізації	1	28 000	28 000
Всього		4 790 394	
Всього 23 792 394			

Таблиця 10 - Витрати на придбання основних засобів Варіанту 2

Найменування технічних засобів.	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сумма, грн
Сонячний модуль Полікристалчний JA Solar JAM72S03-375/SC	2880	5 138 [24]	14 796 650
Технічні засоби для функціонування сонячних модулів:			4 790 394
Всього 19 587 044			

Таблиця 11 - Витрати на придбання основних засобів Варіанту 3

Найменування технічних засобів.	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сумма, грн
Сонячний модуль Двосторонні Vega Series Bifacial 375W	2880	6 132 [25]	16 322 720
Технічні засоби для функціонування сонячних модулів:			4 790 394
Всього 21 113 114			

Наступним кроком буде підрахунок вартості транспортно-заготівельних і складських витрат ($Z_{\text{тзс}}$).

Вартість доставки обладнання буде визначатися із урахуванням габаритів, міста та компанії яка надаватиме послуги та її тарифів. Дані також занесемо до таблиці

Таблиця 12 - Вартість доставки електрообладнання.

Найменування технічних засобів.	Місто відправки	Компанія яка надає послуги.	Вартість доставки з ПДВ. грн.
Сонячний модуль	м. Київ	«Нова пошта»[13]	800 000
Інвертор Solis-50K-5G-DC	м. Київ	«Нова пошта»	20 000
Кабель до 1000В АПВВГ 3х16	м. Харків	«Нова пошта»	1550
Кабель вище 1000В ААБЛ 3х35	м. Харків	«Нова пошта»	4580
Запобіжник плавкий NH-0/gG 80A 690V КОМБІ ЕТІ	м. Київ	«Нова пошта»	1100
Роз'єднувач зі сторони 6 кВ РЛНД-1-10Б/400НУХЛ1	м. Київ		Враховано у ціні
Вимикач на стороні 6 кВ ВНАП 6/400	м. Київ		Враховано у ціні
Трансформатор ТМГ-1000/6	м. Київ	«Нова пошта»	82 000
		Всього	909 230

Вартість доставки для трьох варіантів виконання СЕС буде однаковою виходячи з того що змінюється тільки тип ФЕМ.

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт ($Z_{м,н}$) розрахована згідно комерційної пропозиції ТОВ «ЕДС-Інжиніринг» та включає у себе весь комплекс робіт. Усього, вартість таких робіт коштуватиме

$$Z_{м,н} = 2\,225\,000 \text{ грн.}$$

Для усіх трьох варіантів вартість монтажних-налагоджувальних робіт буде однаковою.

Підіб'ємо підсумки стосовно капітальних інвестиції для першого варіанту СЕС:

$$K_{\text{пр1}} = 23\,792\,914 + 909\,230 + 2\,225\,000 = 27\,041\,274 \text{ грн.}$$

Капітальні затрати для другого варіанту:

$$K_{\text{пр2}} = 19\,587\,044 + 909\,230 + 2\,225\,000 = 22\,721\,274 \text{ грн}$$

Капітальні затрати для третього варіанту:

$$K_{\text{пр3}} = 21\,113\,114 + 909\,230 + 2\,225\,000 = 24\,247\,344 \text{ грн}$$

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

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

- а) Амортизаційні відрахування (C_a)
- б) Заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_z)
- в) Єдиний соціальний внесок (C_c)
- г) .Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж ($C_{\text{пр}}$)
- д) Вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або втрат електроенергії (C_e)
- е) Інші експлуатаційні витрат ($C_{\text{ін}}$)

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_{np} + C_e + C_{in}, \text{ грн.}$$

3.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

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. Для нашого випадку візьмемо 12 років.

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.

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

$$H_a = \frac{\Phi_n - Л}{\Phi_n * T_n} * 100\%$$

Приймаємо що $Л = 9,5\%$ від Φ_n .

Тоді:

$$H_a = \frac{27\,041\,274 - 2\,558\,079}{27\,041\,274 * 12} * 100\% = 7,54\%,$$

$$AO_{\text{вар1}} = \frac{\Phi_n * H_a}{100} = \frac{27\,041\,274 * 7,54}{100} = 2\,030\,306 \text{ грн.}$$

$$AO_{\text{вар2}} = \frac{\Phi_n * H_a}{100} = \frac{22\,721\,274 * 7,54}{100} = 1\,762\,739 \text{ грн.}$$

$$AO_{\text{вар3}} = \frac{\Phi_n * H_a}{100} = \frac{24\,247\,344 * 7,54}{100} = 1\,915\,098 \text{ грн.}$$

3.4 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється по категоріях персоналу (робітники, ІТП, керівники), 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.

Сонячна електростанція може працювати у повністю автономному режимі, але потребує у планового обслуговування. Оскільки на сьогодні існують пакетні пропозиції з обслуговування СЕС від приватних компаній, приймемо, що у штатному складі обслуговуючого персоналу СЕС профільні спеціалісти-електрики відповідних груп не передбачаються .

Для забезпечення роботи електростанції в умовах місцезнаходження безпосередньо у приватному секторі необхідно закласти штат охорони. Лише постійна фізична присутність персоналу на об'єкті, цілодобовий моніторинг відеоспостереження та обходи території здатні перешкодити викраденню електричного обладнання. Найоптимальнішим варіантом роботи для охорони, який забезпечить її коженденну присутність є режим роботи у одну 24-годинну зміну та вихідний у три доби для кожного охоронця. Такий режим роботи дозволить утримувати на СЕС персонал, який має достатньо часу на

відпочинок від роботи у зміні та час на власні потреби. Заробітна плата служби охорони має формуватись за місячним посадовим окладом і приймається рівною 8 000 грн/міс (згідно пропозиціям працевлаштування на аналогічну посаду)

Таблиця 13 - Розрахунок річного фонду основної заробітної плати

№	Найменування професій робітників	Явочний штат у змін, осіб.	Обліковий склад з урахуванням змінності	Годинна тарифна ставка або денна заробітна плата,	Номінальний річний фонд робочого часу, годин	Усього основна зарплата, грн.
1	Охоронець	1	4	45 грн	2 190	394 200
Всього						

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

$$F_H = (D_K - D_{СВ} - D_{Вих}) * T_{ЗМ},$$

де D_K , $D_{СВ}$, $D_{Вих}$ – кількість календарних, святкових і вихідних днів у році відповідно;

$T_{ЗМ}$ – тривалість зміни, годин.

Маємо:

$$F_{\text{н}} = (365) * 24 = 8\,760 \text{ год.}$$

Тоді усього основна зарплата:

$$8\,760 * 45 \text{ грн/год.} = 394\,200 \text{ грн.}$$

Для трьох варіантів СЕС основна заробітна плата являється однаковою.

3.5 Розрахунок єдиного соціального внеску

Єдиний соціальний внесок на загальнообов'язкове державне соціальне страхування (скор. ЄСВ) — консолідований страховий внесок в Україні, збір якого здійснюється в системі загальнообов'язкового державного страхування [26]. Розрахуємо річну суму ЄСВ для працівників, приймаємо у розмірі 22% від основної заробітної плати, цей параметр теж буде однаковий для всіх трьох варіантів СЕС:

$$394\,200 \text{ грн.} * 0,22 = 86\,724 \text{ грн.}$$

3.6 Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж

Оскільки СЕС є типовим проектом, для її експлуатації та поточного ремонту найбільш оптимальним варіантом є заключення контракту на постійне планове обслуговування та гарантійний ремонт обладнання з приватною сервісною компанією. Згідно прайсу компанії ТОВ “ЕДС

Інжиніринг” річне обслуговування СЕС 1МВт Спр = 75 000 грн [27]. Така ціна буде для всіх трьох варіантів.

3.7 Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати на охорону праці, на спецодяг тощо. Відповідно до практики ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$C_{\text{інш}} = 4\%C_3 = 394\,200 * \frac{4\%}{100} = 15\,768 \text{ грн.}$$

Так як C_3 у всіх трьох варіантах однаковий, маємо $C_{\text{інш}}$ також однакове для інших варіантів виконання СЕС.

3.8 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, втрат електроенергії та тарифу за формулою:

$$C_e = W_p * C_v, \text{ грн.}$$

де, W_p – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт • год.

C_B – тариф на електроенергію станом на конкретну дату, грн./кВт • год;

На сонячній електростанції потужністю 1 МВт у м. передбачено для побудови двох поверховий виробничий корпус із загальною площею 80 м². Для підтримання освітленості та теплоти приміщення у зимовий час, було використано 12 LED панелей по 36 Вт кожна та тепловентилятор з потужністю 3000 Вт відповідно.

Частина електроенергії, що не забезпечується власною генерацією складає для трьох варіантів:

$$C_e = 19\,125 * 5,3 = 105\,187 \text{ грн.}$$

За отриманими даними річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування складають:

$$C_{\text{вар1}} = 2\,030\,306 + 394\,200 + 86\,724 + 75\,000 + 105\,187 \\ + 15\,768 = 2\,707\,185 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{вар2}} = 1\,762\,739 + 394\,200 + 86\,724 + 75\,000 + 105\,187 \\ + 15\,768 = 2\,384\,430 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{вар3}} = 1\,915\,098 + 394\,200 + 86\,724 + 75\,000 + 105\,187 \\ + 15\,768 = 2\,446\,789 \text{ грн.}$$

3.9 Визначення доходу від продажу електроенергії

Таблиця 14 - Доходи за 1 рік роботи підприємства

Об'єкт	Кількість виробленої електроенергії, кВт · год	Вартість 1 кВт · год, грн	Вартість електроенергії, грн
СЕС 1	1 312 159	5,53	7 255 360
СЕС 2	1 221 369	5,53	6 752 130
СЕС 3	1 344 679	5,53	7 480 320

Визначено за результатами моделювання розділі 4 основної частини.

3.10 Розрахунок річної економії від впровадження науково-технічного рішення

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

$$E_{\text{КП}} = E_{\text{КР}} - C$$

$E_{\text{КП}}$ – так як об'єкт проектування це сонячні електростанції, повна річна економія розраховується як вартість виробленої електроенергії мінус експлуатаційні витрати :

$$E_{\text{КП1}} = 7\,255\,360 - 2\,707\,185 = 4\,548\,175 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{КП2}} = 6\,752\,130 - 2\,384\,430 = 4\,367\,700 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{КП3}} = 7\,480\,320 - 2\,446\,789 = 5\,033\,531 \text{ грн.}$$

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

$$E_p = E_{\text{Кп}}/K_{\text{пр}}$$

$$E_{p1} = 4\,548\,175 / 27\,041\,274 = 0.166 \text{ долі од.}$$

$$E_{p2} = 4\,367\,700 / 22\,721\,274 = 0,189 \text{ долі од.}$$

$$E_{p3} = 5\,033\,531 / 24\,247\,344 = 0.208 \text{ долі од.}$$

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

$$T_p = K_{\text{пр}}/E_{\text{Кп}}$$

$$T_{p1} = 27\,041\,274 / 4\,548\,175 = 5.32 \text{ років}$$

$$T_{p2} = 5.86 \text{ років}$$

$$T_{p3} = 4.8 \text{ року}$$

Для остаточної оцінки варіантів і вибору найбільш ефективного з них необхідно порівняти розрахункове значення E_p з нормативним значенням E_n .

Визначити нормативне значення коефіцієнта ефективності можна також виходячи з прийнятної для підприємства індивідуальної норми прибутковості:

$$E_n = 1/T_{\text{оч}}$$

$T_{оч}$ – очікуваний, прийнятний для підприємства термін окупності капітальних вкладень, років. Для СЕС, цей термін становить 5 років приблизно.

$$E_n = 1/5 = 0,2$$

При цьому варіант визнається економічно доцільним за умови:

$$E_p > E_n$$

У третьому варіанті маємо виконання умови:

$$0,208 > 0,2$$

У двох інших:

$$0,166 < 0,2$$

$$0,189 < 0,2$$

3.11 Розрахунок техніко-економічних показників для альтернативних варіантів.

Після розрахунку основних параметрів економічної частини для одного варіанту, також здійснено розрахунок для інших варіантів виконання СЕС.

Для зручності та порівняння заносю данні всіх варіантів у таблицю:

Таблиця 15 - Порівняльна оцінка техніко-економічних показників

Найменування	Одиниця виміру	Монокристалічні	Полікристалічні	Двосторонні
Капітальні витр.	грн.	27 041 274	22 721 274	24 247 344
Експлуатаційні витр.	грн.	2 707 185	2 384 430	2 446 789
* амортизаційні	грн.	2 030 306	1 762 739	1 915 098
* заробітна плата	грн.	394 200	394 200	394 200
* єдиний соц.внесок	грн.	86 724	86 724	86 724
* ТО та поточн.ремонт	грн.	75 000	75 000	75 000
* вартість спожитої ен.	грн.	105 187	105 187	105 187
* інші витрати	грн.	15 768	15 768	15 768
* вартість генерованої електроенергії	грн.	7 255 360	6 752 130	7 480 320
Повна річна економія всього	грн.	4 548 175	4 367 700	5 033 531
Розрахунковий коеф. ефективності	долі од.	0,189	0,166	0,208
Розрахунковий термін окупності кап. вкладень	років	5,32	5,86	4,8

Висновок за розділом

Після проведення розрахунку економічних показників, таких як: капітальних витрат, експлуатаційних витрат, розрахунку річної економії та терміну окупності, було визначено три різні варіанти вартості проектів. Також

було визначено вартість виробленої електроенергії за рахунок використання різних типів ФЕМ.

Із значень порівняльної таблиці бачимо що найдоцільнішим варіантом проекту буде третій – це використання монокристалічних модулів із двосторонньою технологією.

У даному варіанті умова виконується.

$$0,208 > 0.$$

4 Загальний висновок

У даній кваліфікаційній роботі було проведено повний розрахунок та моделювання трьох основних видів сонячних панелей, а саме полікристалічні, монокристалічні та двосторонні ФЕМ.

Було обране усе необхідне обладнання для функціонування СЕС та здійснено розрахунок економічної частини проекту.

Маємо наступні залежності щодо трьох типів ФЕМ:

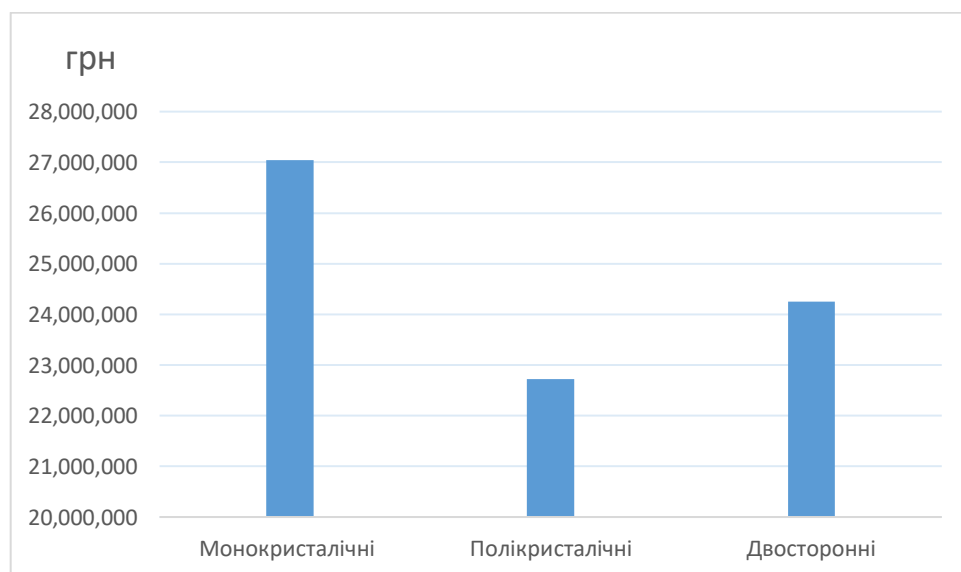


Рисунок 18 – графік порівняння вартості ФЕМ

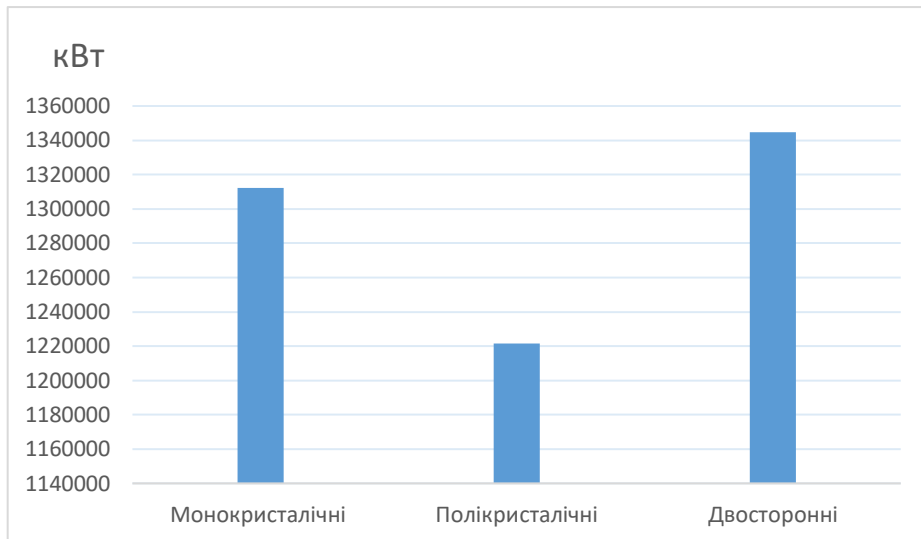


Рисунок 19 – графік порівняння генерації ФЕМ

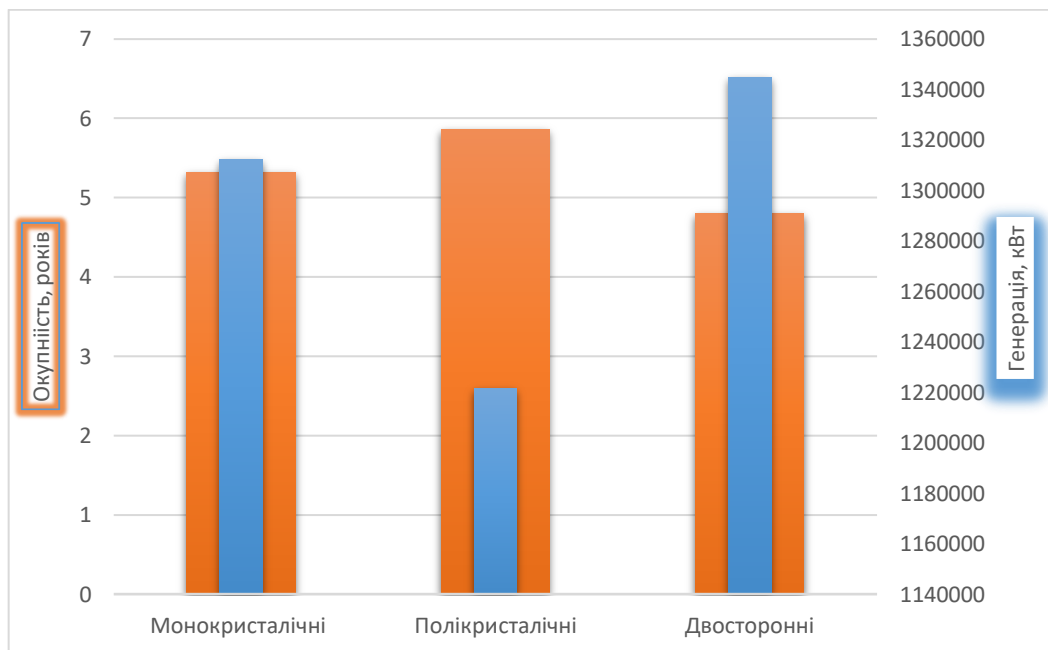


Рисунок 20 – графік порівняння терміну окупності ФЕМ

Бачимо що самий ефективний щодо генерації та терміну окупності це третій варіант – двосторонні модулі. Але в свою чергу монокристалічні панелі мають досить високу генерацію та трохи меншу вартість, завдяки чого

мають середні показники терміну окупності. Щодо полікристалічних модулів – то це на мій погляд не зовсім вдале рішення для промислових СЕС, тому що беручи до уваги їхню вартість вони також закономірно мають найдовший термін окупності та найменшу генерацію у порівнянні з іншими.

Незважаючи на деяку різницю між цих трьох варіантів виконання СЕС, усі вони прибуткові.

Література

1. ГОСТ 28249-93. Короткі замикання в електроустановках. Методи розрахунку в установках змінного струму напругою до 1 кВ.
2. СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49-2011 "Проектування кабельних ліній напругою до 330кВ."
3. "Керівництво по вибору, прокладці, монтажу, випробовувань і експлуатації кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену напругою 6-35 кВ ПАТ "Південкабель".
4. ПУЕ: Розділ 7.4. Електричні установки в пожежонебезпечних зонах
5. ГОСТ 12.1.045-84. ССБТ. «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».
6. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

15. (Електр. Ресурс) <https://actual-power.com.ua/ru/pv-modul-ja-solar-jam60s20-375-mr-375-wp-mono/>
16. (Електр. Ресурс) <https://soncedim.com.ua/product/merezhevii-invertor-solis-50k-dc>
17. (Електр. Ресурс) <https://slavgorenergo.com.ua/ua/p1030221314-tmg-1000-kva.html>
18. (Електр. Ресурс) https://pro100kabel.com.ua/product/kabel_silovoj_vvg_3h16/
19. (Електр. Ресурс) https://pro100kabel.com.ua/product/kabel_silovoj_aabl_10_3h35/
20. (Електр. Ресурс) <https://axiomplus.com.ua/avtomaticheskie-vyklyuchateli/product-141970/>
21. (Електр. Ресурс) <https://electrocontrol.com.ua/predohraniteli/predohranitel-s-udarnoi-igloi-nh-00-k-kombi-80a-eti-4111184>
22. (Електр. Ресурс) <https://volten.com.ua/ua/p15100773-razedinitel-rlnd-10400.html>
23. (Електр. Ресурс) <https://energooborudovanie.com.ua/ua/p1457575000-vyklyuchatel-nagruzki-vnap.html>
24. (Електр. Ресурс) <https://rozetka.com.ua/150418486/p150418486/>
25. (Електр. Ресурс) <https://www.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/56110>
26. (Електр. Ресурс) <https://lv.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/579386.html#:~:text=%D0%92%D1%96%D0%B4%D1%82%D0%B0%D0%BA%2C%20%D0%BD%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D0%B4%D1%83%D1%94%D0%BC%D0%BE%2019%20%D0%BA%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BD%D1%8F%202022,%D0%BB%D1%8E%D1%82%D0%B8%D0%B9%20%D1>

[%83%20%D1%81%D1%83%D0%BC%D1%96%202860%20%D0%B3%D1%80%D0%BD.](#)

27. (Електр. Ресурс) <https://eds-engineering.com/ru/servisnoe-obsluzhivanie-ses>

28. Інформаційна стаття [Електронний ресурс]

<https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/modern-solar-cells.htm>

29. Інформаційна стаття [Електронний ресурс] <https://ecotech.com.ua/n321460-skolko-ses-pribavilos.html>

30. Інформаційна стаття [Електронний ресурс]

<https://finbalance.com.ua/news/virobnitstvo-elektroenerhi-v-2021-rotsi-zroslo-na-52-a-spozhivannya---na-57>

31. Інформаційна стаття [Електронний ресурс] <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2022/>

32. Інформаційна стаття [Електронний ресурс]

<https://saee.gov.ua/uk/content/sesd>

33. Інформаційна стаття [Електронний ресурс]

read://https_alteco.in.ua/?url=https%3A%2F%2Falteco.in.ua%2Ftechnology%2Fsolar-energy%2Fdvuxstoronnie-solnechnye-paneli

34. Інформаційна стаття [Електронний ресурс]

<https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/modern-solar-cells.htm#hjt>

35. Інформаційна стаття [Електронний ресурс] <https://www.pv-magazine.com/2020/11/05/prospects-for-bifacial-and-large-format-products/>

36. Інформаційна стаття [Електронний ресурс]

read://https_realsolar.ru/?url=https%3A%2F%2Frealsolar.ru%2Farticle%2Fsolnechnye-batarei%2Ftehnologiya-i-preimuschestva-solnechnyh-elementov-perc%2F

37. Інформаційна стаття [Електронний ресурс] <https://iknet.com.ua/ru/solar-plants-construction/>

38. Інформаційна стаття [Електронний ресурс] (PDF) The Influence of Spectral Albedo on Bifacial Solar Cells: A Theoretical and Experimental Study

(researchgate.net)

39. Інформаційна стаття [Електронний ресурс] KBE Solar DB+ EN 50618

H1Z2Z2-K - KBE Elektrotechnik GmbH (kbe-elektrotechnik.com)

ДОДАТОК Б

№	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1					
2			Документація		
3					
4	A4		Пояснювальна записка	62	
5					
6					
7					
8					
9					