

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра електропривода  
(повна назва)

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

студента Воронков Богдан Володимирович  
(ПІБ)

академічної групи 141М-21-1  
(шифр)

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

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка, та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Обґрунтування параметрів та режимів роботи гібридної фотоелектричної станції для приватного будинку

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Луценко І.М.			
розділів:				
Вступ:	Луценко І.М.			
Технологічний	Луценко І.М.			
Спеціальний	Луценко І.М.			
Економічний	Тимошенко Л.В.			
<b>Рецензент</b>				
<b>Нормоконтролер</b>	Олішевський Г.С.			

Дніпро  
2022

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

(підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

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

студенту Воронкову Б.В. \_\_\_\_\_ академічної групи 141М-21-1 \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (шифр)

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

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_

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

на тему Обґрунтування параметрів та режимів роботи гібридної фотоелектричної станції для приватного будинку \_\_\_\_\_

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

Розділ	Зміст	Термін виконання

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

Дата видачі \_\_\_\_\_

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

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

## Реферат

Пояснювальна записка: стор. 74, рисунків - 19, таблиць - 13, додатків - 1.

Об'єктом дослідження в роботі виступає приватний будинок, розташоване в Дніпропетровській області, смт. Петропавлівка.

Основна мета роботи – обґрунтувати параметри та режими роботи гібридної фотоелектричної станції для приватного будинку, для мінімізації залежності від традиційного електропостачання та зниження витрат на оплату використовуваних енергоресурсів.

У першому розділі представлено аналіз параметрів та режимів роботи гібридної фотоелектричної станції. Сучасні підходи щодо забезпечення автономності та енергонезалежності приватних будинків, потенціал використання гібридних систем, аналіз принципів роботи, структури та складу обладнання існуючих стаціонарних гібридних сонячних станцій.

Тому для данного домоволодіння найбільш раціонально буде застосування гібридної СЕС, яка дозволяє не тільки забезпечити безкоштовною електроенергією, а й отримувати додатковий економічний ефект за рахунок продажу надлишків за «зеленим тарифом».

У другому розділі проведено аналіз рівня електроспоживання. Використовуючи дані мешканців будинку про тривалість роботи електроприладів і зіставляючи їх з рівнем електроспоживання згідно приладів обліку був проведений розрахунок споживаної потужності. За результатами розрахунку середнє добове споживання будинку складає 59 кВт·г.

За виконаним розрахунками був обраний гібридний сонячний інвертор, визначено необхідну кількість сонячних батарей. У літню пору року вироблена енергія може передаватися в загальну мережу, а в зимовий період при недостатці енергії буде надходити з мережі. В результаті були обрані сонячні батареї LR4-72НРН-455М загальною кількістю 34 шт. Установка сонячних елементів

планується на південному схилі даху будинку загальною площею 71 м<sup>2</sup>.

Для визначення економічної ефективності в магістерській роботі було визначено капітальні витрати на придбання, доставку, монтаж і налагодження відповідного обладнання, експлуатаційні витрати, показники ефективності капітальних витрат і термін окупності проекту.

При порівнянні коефіцієнта ефективності (прибутковості) капітальних витрат, для розглянутого технічного заходу, з нормативним значенням коефіцієнта ефективності, розрахованого при прийнятному терміні окупності  $T_0=12$  років, можна зробити висновок про те, що впровадження цього заходу є економічно доцільним. Крім прямої економічної вигоди запропоноване впровадження гібридної сонячної електростанції надає позитивний вплив на екологію, що в сучасних умовах є не менш важливим показником.

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ, СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ, ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ, АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА.

## ABSTRACT

The explanatory note of the master's dissertation consists of: \_\_\_ pages, \_\_\_ tables, \_\_\_ drawings., \_\_\_ literary sources.

The object of research in the work is a private house located in the Dnipropetrovsk region, the village of Petropavlivka

The main goal of the work is to justify the parameters and operating parameters of a hybrid photovoltaic plant for a private house, to minimize dependence on traditional electricity supply and reduce the cost of paying for the used energy resources.

The first section presents an analysis of the parameters and modes of operation of the hybrid photovoltaic station. Modern approaches to ensuring the autonomy and energy independence of private houses, the potential of using hybrid systems, analysis of the principles of operation, structure and composition of equipment of existing stationary hybrid solar plants.

Therefore, for this type of household, it will be most rational to use a hybrid SES, which allows not only to provide free electricity, but also to obtain an additional economic effect due to the sale of surpluses at the "green tariff".

In the second section, an analysis of the level of electricity consumption was carried out. Using the data of the residents of the house about the duration of operation of electrical appliances and comparing them with the level of electricity consumption according to the metering devices, the power consumption was calculated. According to the results of the calculation, the average daily consumption of the house is 59 kWh.

Based on the calculations, a hybrid solar inverter was selected, and the required number of solar batteries was determined. In the summer, the generated energy can be transferred to the general network, and in the winter, when there is a lack of energy, it will come from the network. As a result, solar cells LR4-72HPH-455M were selected

in total number of 34 pcs. Installation of solar cells is planned on the southern slope of the roof of the building with a total area of 71 m<sup>2</sup>.

To determine the economic efficiency, the master's thesis determined the capital costs for the purchase, delivery, installation and adjustment of the relevant equipment, operating costs, indicators of the efficiency of capital costs and the payback period of the project.

When comparing the coefficient of efficiency (profitability) of capital expenditures, for the considered technical measure, with the normative value of the coefficient of efficiency, calculated with an acceptable payback period of  $T_0=12$  years, it can be concluded that the implementation of this measure is economically feasible. In addition to direct economic benefits, the proposed introduction of a hybrid solar power plant has a positive impact on the environment, which is an equally important indicator in modern conditions.

Keywords: SOLAR PANEL, AUTOSPARING STATION, ELECTRICITY, SOLAR ENERGY

## Зміст

Вступ.....	9
1 Технологічна частина.....	10
1.1 Сучасні підходи та варіанти щодо організації автономного енергозабезпечення житлових будинків.....	10
1.2 Аналіз шляхів забезпечення енергонезалежності будівель і споруд .....	11
1.3 Оцінка потенціалу використання гібридних систем електрозабезпечення на базі ФЕС та АКБ .....	14
1.4 Аналіз принципів роботи, структури та складу обладнання існуючих стаціонарних гібридних сонячних станцій.....	16
1.5 Висновки та постановка задач щодо розробки гібридної системи енергозабезпечення приватного будинку .....	19
2 Основна частина.....	20
2.1 Основні будівельні та геометричні характеристики об'єкту проектування .....	20
2.2 Моделювання графіків електричного навантаження приватного будинку (опалювальний та неопалювальний періоди).....	21
2.3 Розрахунок технічних характеристик і вибір обладнання сонячної станції .....	37
2.3.1 Кут нахилу панелей .....	38
2.3.2 Розрахунок приведених експлуатаційних параметрів ФЕМ .....	38
2.3.3 Параметри інвертерного обладнання.....	43
2.3.4 Порядок вибору перерізів провідників 0,4 кВ за нагрівом.....	45
2.3.5 Вибір обмежувача перенапруги .....	46
2.3.6 Вибір автоматичного вимикача струму.....	47
2.3.7 Вибір обмежувача перенапруги .....	49

2.4	Визначення параметрів та показників виробництва електроенергії сонячної станції протягом року. ....	52
2.5	Визначення параметрів та показників виробництва електроенергії фотоелектричними модулями/покрівлею протягом року.....	53
2.6	Вибір раціональних параметрів системи аккумулявання електричної енергії. ....	55
2.7	Обґрунтування технічних параметрів та схемної реалізації гібридної ФЕС для приватного будинку .....	58
3.	Техніко-економічне обґрунтування .....	61
3.1	Розрахунок капітальних витрат.....	62
3.2	Визначення експлуатаційних витрат .....	65
3.2.1	Розрахунок амортизаційних відрахувань .....	65
3.2.2	Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт .....	66
3.3	Розрахунок річної економії від впровадження науково-технічного рішення .....	67
3.4	Визначення та аналіз показників економічної ефективності .....	68
	Висновок.....	70
	Висновки.....	71
	Перелік посилань .....	72



## Вступ

Концептуальні принципи, що покладені в основу енергетичної стратегії Світу в 21-у віці, базуються на необхідності одночасного вирішення 3-х взаємопов'язаних завдань в контексті глобальних енергетичних перетворень і сталого розвитку:

- енергозабезпечення, яке означає безперебійність енергопостачання за високої якості енергії та енергетичних послуг;
- енергодоступність за ціною та енергоефективністю;
- енергосприятливість за впливом на навколишнє середовище.

Споживач енергії, а не постачальник, поступово стає центральною фігурою у визначенні способу енерговикористання. Він матиме можливість вибирати для себе спосіб енергоспоживання, що носить назву децентралізоване енергопостачання, тобто, або він отримуватиме енергію із централізованої системи, або він використовуватиме комбіноване енергопостачання, використовуючи переваги і можливості цих систем.

Розвиток високоефективної малої енергетики, яка спроможна використовувати 90 % енергії, що міститься у паливі (порівняно із 30–35 % для традиційних систем) і використання більш «чистих» видів палива дозволить набагато зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище.

У більшості розвинених країн світу, починаючи з 80-х років попереднього століття, показник централізації електропостачання постійно зменшується, і це стало тенденцією розвитку сучасної енергетики Світу.

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Сучасні підходи та варіанти щодо організації автономного енергозабезпечення житлових будинків

Рішення дбж на основі сонячного контролера - дана система складається із 2 сонячних панелей, контролера заряду та акумулятора. Також дана система здатна забезпечувати зарядку мобільних телефонів, іншої легкої техніки та світло у вашому будинку коли пропала електроенергія з централізованої мережі або мережа у будинку взагалі відсутня.

Автономна сонячна станція для роботи критичних приладів- дана система складається як мінімум із 4 сонячних панелей, автономного інвертора та 4 акумуляторів 12v/100ah. також дана система здатна забезпечувати роботу 3-4 години критично важливих електроприладів у будинку.

Гібридна сонячна станція для власної енергонезалежності - дана система складається як мінімум 8 сонячних панелей, гібридного інвертора та системи літєвих акумуляторів. Також дана система є мультифункціональною і здатна забезпечувати:

- Система здатна покривати частину власних енерговитрат в будинку;
- Здійснювати продаж надлишків згенерованої електроенергії по умовам Зеленого тарифу;
- Забезпечувати резервне живлення при відсутності електромережі.

Слід звернути увагу на довговічність роботи такої системи. Навіть при умові щоденного використання, гарантійний термін експлуатації літєвих акумуляторів становить – 10 років.

## 1.2 Аналіз шляхів забезпечення енергонезалежності будівель і споруд

Системи виробництва електроенергії та тепла зараз чимраз більше орієнтуються на виробництво з малих джерел, що робить простих споживачів учасниками ринку виробництва енергії.

Раніше у 90-х роках енергопостачання спиралось на великі електро- та теплові станції. З початку 2000-х років (внаслідок росту споживання енергії, уваги до питань змін клімату та екології, здешевлення технологій використання енергії докільля) відбулася різка зміна у підході до енергозабезпечення. Серед технологій, які випробувані в Україні, уже є дахові сонячні електростанції, вітрові електростанції, теплові помпи, а також котли, що використовують місцеву біомасу для генерації тепла та електроенергії.

З огляду на воєнні дії, наявність таких місцевих потужностей різко збільшує стійкість і життєздатність окремих будинків і громад у цілому. Загроза відключень електро- та газопостачання залишається високою.

Домашня сонячна електростанція (СЕС). Оптимальним є варіант встановлення гібридної сонячної станції і окремої мережевої сонячної станції. Гібридна СЕС забезпечує енергонезалежність об'єкту та продаж надлишкової енергії за "зеленим" тарифом. Підходить для оселі з цілорічним або сезонним проживанням.

Водночас мережева СЕС не має у комплекті акумуляторів і працює лише у комплексі із зовнішньою мережею. Зауважимо, що мережева СЕС є найбільш вигідною з точки зору окупності.

Таке поєднання дозволяє користуватись безперебійним електропостачанням протягом восьми місяців на рік. Однак восени і взимку сонячні панелі не здатні задовільнити всі потреби теплопостачання домогосподарства.

Панелі не обов'язково зводити на даху. Можна сконструювати опору з дерева, піднявши над землею хоча б на півметра, щоб її не замітало снігом. Це

дозволить швидко її розібрати в екстреному випадку, або якщо ви вирішите серед зими підключити до інвертора якусь додаткову генерацію, а не тільки дизель-генератор. Це стосується електрики для спільних потреб.



Рисунок 1.1 – Гібридна сонячна станція

Вітряна електростанція (ВЕС). Щоб робота вітрогенератора була збалансованою і видавала потрібну кількість енергії, потрібно правильно розрахувати необхідні параметри потужності. Наприклад, при заявлених (паспортних) 2-3 кВт при нормальному вітрі (властивому нашій географії) вітрогенератор видає 200-300 Вт. А от 2 кВт він видасть, швидше за все, у момент перед повним блокуванням при урагані.

Оптимальним варіантом для побутових цілей також є комбінована установка – фотоелектричні панелі та вітрогенератор.

Для автономного й допоміжного електропостачання побутових споживачів та невеликих господарських об'єктів використовують здебільшого вітроенергетичні установки малої генерації потужністю до 10-20 кВт.



Рисунок 1.2 – Комбінована установка ВЕС та СЕС

Теплова помпа дозволяє використовувати для опалення та нагріву води безкоштовну енергію довкілля. Він складається з конденсатора, дросельного клапана або детандера (тепловий двигун), випарника, компресора, терморегулятора та холодильного агента.

Помпи працюють у режимі “повітря-вода”, або “грунт-вода”( має кращий коефіцієнт трансформації споживаної електроенергії на тепло, на 1 кВт електрики можна отримати 4-5 кВт тепла).

Один датчик терморегулятора радять розмістити на зовнішній стіні будинку, другий – в основному приміщенні. Насос оброблятиме інформацію з обох датчиків і буде доводити температуру у приміщенні до встановленої вами. Такий насос дозволить повністю відмовитись від газу для опалення оселі. Адже він підігріває воду, яку одночасно можна використовувати і для водо- і для теплопостачання.

Радять поєднувати сонячні колектори та насос у компакту установку. У цьому випадку тепловий насос використовується виключно для опалення приміщень, а воду гріють за допомогою колекторів, тоді достатньою буде невисока температура теплоносія.

Сонячні колектори працюють за принципом перетворення сонячного випромінювання на теплову енергію завдяки нагріванню і циркуляції води. Пристрій складається з суто колектора, теплообмінного контура і акумулятора тепла (бака, наповненого водою).

Такий варіант дозволить в значній мірі скоротити залежність від газового опалення, при цьому постійно маючи в будинку гарячу воду і невелике навантаження на котел.

### **1.3 Оцінка потенціалу використання гібридних систем електрозабезпечення на базі ФЕС та АКБ**

Гібридні сонячні електростанції - ідеальне рішення для тих власників домогосподарств, які не хочуть переплачувати за звичайну електроенергію.

Вони також підходять для тих, хто не тільки хоче забезпечити автономність, але і націлений на продаж електричної енергії, отриманої від експлуатації сонячних панелей.

Ті, хто змушений жити в районі, де часто відбуваються перебої з подачею електроенергії, але хочуть забезпечити безперебійну роботу електросистеми і

запобігти поломкам електроприладів, також оцінять переваги сонячної станції гібридного типу.

Ціна гібридної станції буде вище, ніж вартість автономної або мережевої станції. Але майте на увазі, що навіть за великі гроші ви все одно станете енергонезалежними, сучасними.

Крім того, витрати з часом окупляться в повному обсязі, адже заробити можна на електроенергії, яку ви отримуєте за допомогою системи.

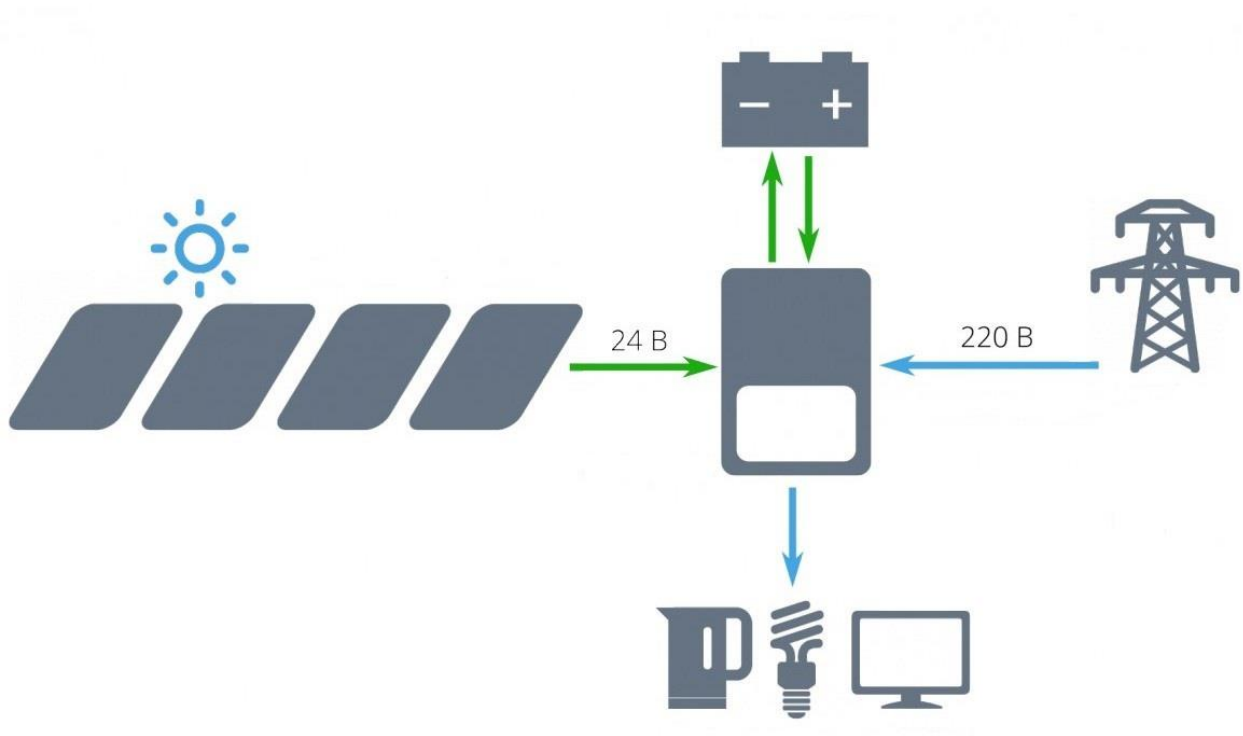


Рисунок 1.3 – Гібридна ФЕС

Потреба в зберіганні виробленої сонячної енергії

Мережеві сонячні електростанції, по суті, менш економічні для житлових будинків на відміну від підприємств.

А все тому, що багато людей відсутні більшу частину дня (навчання, робота і т.д.), а ввечері починають користуватися електроенергією, тариф якої до 23:00 максимальний.

Якщо встановити гібридну станцію, можна накопичити електроенергію вдень і використовувати її ввечері і вночі.

У випадку з підприємством, що працює протягом дня, можна стверджувати, що більш вигідним варіантом для нього є мережева електростанція.

Гібридні сонячні станції дозволяють зберігати енергію і використовувати її при необхідності на свій розсуд.

Близько 8 годин достатньо, щоб покрити пікове споживання, чого не скажеш про звичайну автономну електростанцію з піковим споживанням 3-5 днів.

#### **1.4 Аналіз принципів роботи, структури та складу обладнання існуючих стаціонарних гібридних сонячних станцій**

Для початку слід розуміти, що таке гібридні сонячні електростанції і як вони працюють.

До особливостей таких СЕС можна віднести можливість не тільки економити електроенергію для подальшого використання в сховищах, але і отримувати резервне живлення від мережі.

Унікальний функціонал станцій забезпечується їх складовими елементами. Конструкція СЕС включає гібридний і фотоелектричний інвертор, панелі і акумулятори.

Модулі підключаються до мережевого інвертора, а електромережа і акумулятор підключаються до гібридного.



Інвертори для сонячної електростанції з'єднуються один з одним через розподільчий щит, який постачає змінний струм споживачам.

Використання акумуляторів в поєднанні з гібридними інверторами забезпечує основні переваги СЕС.

Переваги гібридної сонячної електростанції:

- дозволяє економити на споживанні електроенергії;
- працює при відсутності напруги в мережі;
- просте обслуговування - досить періодично оглядати конструкцію з метою профілактики;
- роботи в разі відключення мережі;
- наявність декількох режимів, які підбираються в залежності від умов експлуатації станції;
- висока ефективність – до 97%.

Серед недоліків - обмежена кількість обладнання, яке дозволяється включати одночасно.

Кількість пристроїв, які можна запускати разом, визначається можливостями гібридного інвертора.

Гібридна сонячна електростанція працює в 3 режимах - автономному, змішаному і резервному.

1. Для першого варіанту характерне накопичення електрики в батареях, які заряджаються гібридним інвертором. Надлишок енергії одразу використовується споживачами або продається в мережу за тарифами «зеленого тарифу»

2. Заряджені батареї забезпечують будинок електрикою в нічний час. Для автономної системи важливо встановити потужні сонячні панелі, які будуть генерувати достатню кількість енергії, щоб повністю зарядити батарею.

3. Змішаний режим дозволяє частково або повністю розрядити акумулятор, після чого з мережі змінного струму почне надходити електрика. При цьому інвертор постійно функціонує, доповнюючи потужність станції і заряджаючи акумулятор. Профіцит виробленої енергії передається в мережу згідно з умовами «зеленого тарифу».

4. У режимі резервного копіювання батареї використовуються тільки в разі збоїв або відсутності живлення від електромережі. Інвертор генерує енергію для потреб споживачів, а його надлишок надходить в мережу за умовами «зеленого тарифу».

Розглянемо роботу гібридної станції на конкретних прикладах.

- У разі середнього споживання і сонячного дня отримана електроенергія подається в будинок для роботи електроприладів. Решта залишається для зарядки акумуляторів. Коли батареї повністю заряджені, все, що залишилося, передається в мережу для продажу.

- Якщо тиждень поспіль спостерігається похмура погода, в будинку може не вистачити енергії для середнього споживання і експлуатації електроприладів. В цьому випадку відсутню енергію віддає батарея. Якщо батареї розряджаються, то з мережі буде взята електрика, яка є альтернативним джерелом.

- Розглянемо третій варіант, який є найбільш імовірним. У ясні дні споживання електроенергії мінімальне (наприклад, власники тривалий час знаходяться на роботі), тому практично все це передається на продаж. Коли настає вечір, господарі повертаються додому і використовують припаси з батареї. При цьому міська мережа залишається байдужою.

## **1.5 Висновки та постановка задач щодо розробки гібридної системи енергозабезпечення приватного будинку**

З усього вищесказаного випливає, що при такій експлуатації гібридної станції витрати на оплату рахунків за послуги міської електромережі мінімальні або повністю відсутні.

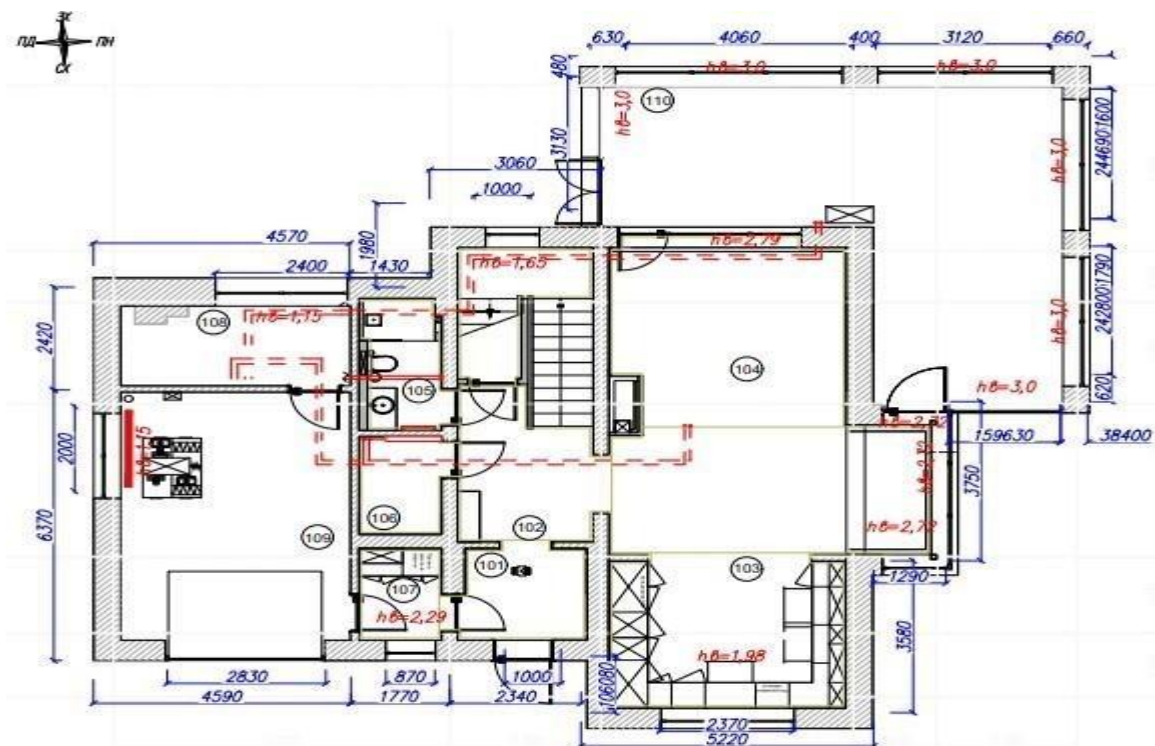
Крім того, така установка дає можливість продавати енергію за «зеленим» тарифом і заробляти на цьому.

Тому варто відзначити, що сонячні електростанції такого типу є прогресивним, екологічним, енергоефективним і надійним рішенням сучасної людини.

## 2 Основна частина

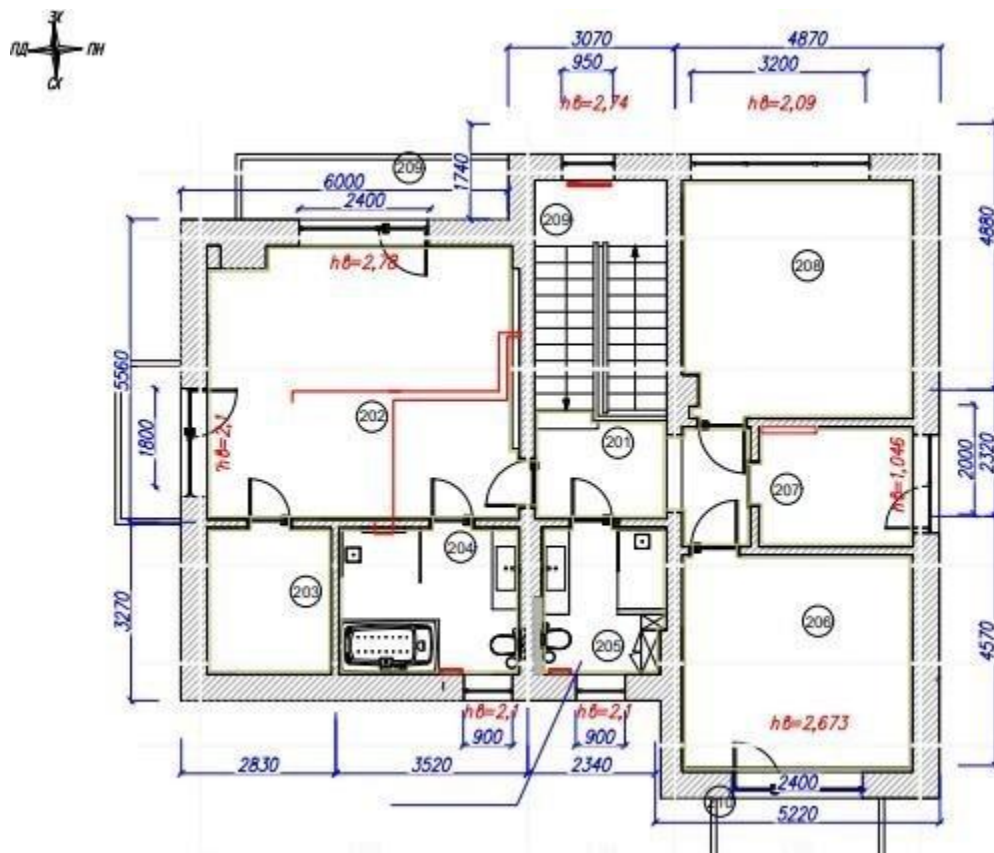
### 2.1 Основні будівельні та геометричні характеристики об'єкту проектування

Будинок являє собою двоповерхову будівлю без горища та підвалу, загальною площею 272 м<sup>2</sup>. Покрівля складає 125.5 м<sup>2</sup>, плоска з ПВХ мембрани, присутній утеплювач ROCKWOOL. Стіни складаються з газо-бетонних блоків, а саме AEROC D 500 який виконує роль несучої конструкції і AEROC Energy D 150 який використано в якості утеплювача, газо-бетонні блоки ізолювані від парів вологи гідроізоляційною мастикою, цементно-стружкових плит та личкувальної цегли в півцегли, в зазорі між якими (50 мм) – повітряний простір Тип перекриття: залізобетонний двопустотний збірний настил, в якості утеплювача використано пінобетон, товщина перекриття  $h_p=160$  мм. Тип вікна: двокамерні склопакети VIKNAROFF. Будинок оснащений теплою підлогою.



101 – Передпокій; 102 – Хол; 103 – Кухня; 104 – Вітальня-їдальня; 105 – Санвузол;  
106 – Гардероб; 107 – Пральня; 108 – Котельня; 109 – Гараж; 110 – Тераса

Рисунок 2.1 – План першого поверху



201 – Коридор; 202 – Спальня; 203 – Гардероб; 204 – Санвузол; 205 – Санвузол;  
 206 – Дитяча кімната; 207 – Гардероб 208 – Кабінет; 209 – Сходова.

Рисунок 2.2 – План другого поверху

## 2.2 Моделювання графіків електричного навантаження приватного будинку (опалювальний та неопалювальний періоди)

Об'єкт досліджень - приватний будинок, розташований в Дніпропетровській обл., смт. Петропавлівка. В даний час електропостачання будинку здійснюється від мережі Петропавлівського РЕМ однофазною напругою 220 В змінного струму. Основними споживачами електроенергії є бойлер, кухонна побутова техніка, телевізори, комп'ютер і ноутбуки, а також, особливо в зимовий час, система освітлення та електроопалення.

Даний спосіб визначення електричних навантажень та параметрів системи електропостачання окремого житла актуальний та доцільний для існуючих багатоквартирних будинків та приватних домоволодінь.

Найчастіше необхідність перерахунку фактичних електричних навантажень квартири (вдома) виникає під час ремонту (реконструкції) житла із заміною внутрішньої системи електропостачання (електропроводки). Правильний вибір елементів внутрішньоквартирної мережі дозволяє забезпечити оптимальні показники її роботи за такими критеріями як:

- надійність;
- безпека експлуатації;
- функціональність та ергономічність;
- економічність.

Для успішної реалізації такого підходу слід мати в наявності показники роботи струмоприймачів об'єкта проектування (квартира, будинок):

- план житла із площею приміщень;
- тип кухонних плит;
- наявність електроопалення або підігріву води, тип та номінальні характеристики електроустановок, що застосовуються, режим їх роботи;
- номінальні характеристики загальнопобутових електроприймачів;
- тип параметрів світильників мережі освітлення;
- значення договірної потужності з енергопостачальною організацією;
- типові графіки електричних навантажень побутових споживачів робочого та вихідного дня;
- нормативні чи фактично розраховані значення коефіцієнтів попиту ( $K_{п}$ ) роботи окремих струмоприймачів чи усередненого сукупного для об'єкта;
- коефіцієнт одночасності ( $K_{одн}$ ) за необхідності реконструкції групових електричних мереж (головна електрощитова багатоповерхового будинку) щоб уникнути завищення параметрів магістральних кабелів стояків, комутаційного захисного обладнання ввідно-розподільчого пристрою (ВРП) 0,4 кВ.

Для вибору системи електропостачання окремих споживачів (квартир, будинків) необхідно розрахувати навантаження, створюване струмоприймачами

квартир, або виконати фактичні виміри режиму споживання електричної енергії за показаннями лічильників електричної

енергії або за допомогою відповідної автоматизованої системи, що найчастіше ускладненим процесом у вигляді простої їх відсутності:

- можливості у домовласника (використання простого лічильника електричної енергії та півгодинне зняття показань);

- приладів, що дозволяють автоматизувати процес зняття фактичного режиму електроспоживання;

- порозуміння у власника, який не володіє необхідними знаннями в галузі електротехніки.

Тому для діючих об'єктів також застосовні поправочні коефіцієнти та положення Норм при виконанні розрахунків електричних навантажень за фактичним складом струмоприймачів.

Таблиця 2.1 – Встановлена потужність та склад струмоприймачів будинку

Найменування приміщення	Найменування обладнання	Тип електроприймача	Встановлена номінальна потужність, P <sub>вст</sub> , кВт
Прим.1 Коридор	- освітлення 1	LED 5W	2x0,005
Прим. 2 Хол	- освітлення 2	LED 10W	4x0,01
Прим. 3 Кухня	- освітлення 3 - розетка 1.1 - розетка 1.2	LED 10W електроплита комбайн,холодильник,МХВ-піч	2x0,01 7 0,7
Прим. 4 Вітальня- їдальня	- освітлення 4 - розетка 2.1	LED 10W телевізор	4x0,01 0,3
Прим. 5 Санвузол	- освітлення 5	LED 10W	0,01
Прим. 6 Гардероб	- освітлення 6	LED 10W	0,01
Прим. 7 Пральня	- освітлення 7 - розетка 7.1	LED 10W прал. машина	0,01 0,7
Прим. 8 Котельня	- освітлення 8 - розетка 8.1	LED 10W котел електричний	0,01 4
Прим. 9 Гараж	- освітлення 9 - розетка 9.1	LED 5W прибиральний інвертар	4x0,005 1,5
Прим. 10 Тераса	- освітлення 10	LED 10W	4x0,1
Прим. 11 Коридор	- освітлення 11	LED 5W	2x0,005
Прим. 12 Спальня	- освітлення 12 - розетка 12.1 - розетка 12.2	LED 10W телевізор, ноутбук кондиціонер	2x0,01 0,15 0,7
Прим. 13 Гардероб	- освітлення 13	LED 10W	0,01
Прим. 14 Санвузол	- освітлення 14	LED 10W	0,01
Прим. 15 Санвузол	- освітлення 15	LED 10W	0,01
Прим. 16 Дитяча кімната	- освітлення 16 - розетка 16	LED 10W телевізор, ноутбук	2x0,01 0,15
Прим. 17 Гардероб	- освітлення 17	LED 10W	0,01
Прим. 18 Кабінет	- освітлення 18 - розетка 18	LED 10W комп'ютер	2x0,01 0,4
Прим. 19 Сходова	- освітлення 19	LED 5W	2x0,005
Всього:			15,9



Виконаємо розподіл навантажень, наведених у таблиці 1 за групами, зробимо вибір провідників та автоматичних вимикачів з урахуванням вимог та обмежень Норм [1] та автоматичних вимикачів.

Обчислимо розрахункове струмове навантаження групи струмоприймачів:

$$I_{\text{роз}} = \frac{P_{\text{роз}}}{U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{сер}}} \cdot A$$

де  $\cos\varphi_{\text{сер}}$  – середньозважене значення коефіцієнта потужності навантаження, що підключається (визначається розрахунковим шляхом за паспортними даними струмоприймачів, що входять до групи, що розглядається, або за таблицею 3.6 [1]).

Таблиця 2.2 – Потужність електроприймачів

Лінія живлення (Загальнеквартирна мережа)	Розрахунковий коефіцієнт	
	потужності $\cos\varphi$	реактивного навантаження $tg\varphi$
Квартири з електричними плитами та без побутових кондиціонерів повітря	0,98	0,20
Квартири з електричними плитами та побутовими кондиціонерами повітря	0,93	0,40
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, на твердому паливі	0,96	0,29
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, твердому паливі та з побутовими кондиціонерами повітря	0,92	0,43
Загальнобудинкове освітлення: - з лампами розжарювання; - з люмінесцентними лампами	1,00 0,92	0,00 0,43
Господарські насоси, вентиляційні установки та інші санітарно-технічні пристрої	0,80	0,75
Ліфти	0,65	1,17

Розрахунок електричних навантажень окремих квартир пов'язаний із необхідністю вибору приладів обліку електроспоживання квартири, ввідних апаратів захисту та провідників.

**За методом коефіцієнта попиту** розрахункове навантаження на введенні квартири визначається за формулою:

$$P_{\text{розр.кв}} = P_{\text{вст}} \cdot K_{\text{п}}$$

де  $P_{\text{вст}}$  – заявлена (встановлена) потужність струмоприймачів, яку визначають підсумовуванням номінальних потужностей електропобутових та освітлювальних приладів, систем електричного опалення та електроводопідігріву, якими оснащується квартира, кВт;

$K_{\text{п}}$  – коефіцієнт попиту, що визначається залежно від значення заявленої потужності струмоприймачів у квартирі.

Значення коефіцієнта попиту  $K_{\text{п}}$  визначаємо із табл.3.2 [1].

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт попиту

Характеристика опалення котеджу (квартири)	Значення коефіцієнта попиту $K_{\text{п}}$ за заявленою потужністю електроприймачів, кВт									
	До 15 вкл.	20	30	40	50	60	70	80	90	100 і більше
Для котеджів (квартир) без повного електроопалення	<b>0,75</b>	0,65	0,63	0,59	0,55	0,53	0,50	0,47	0,46	0,45
Для котеджів (квартир) з повним електроопаленням постійного включення	-	-	-	0,75	0,70	0,65	0,63	0,62	0,62	0,61

Таким чином, розрахункове навантаження на вводі квартири, заявлена потужність електропобутових приладів якої 15,9 кВт, складе:

$$P_{\text{розр.кв.}} = 15,9 \cdot 0,75 = 11,92 \text{ кВт}$$

Значення коефіцієнтів активної та реактивної потужності визначаються за табл. 3.6[1] для квартир з електричними плитами та побутовими кондиціонерами повітря і становлять відповідно  $\cos\varphi = 0,93$ ,  $\text{tg}\varphi = 0,4$ .

Повне розрахункове навантаження однієї квартири знайдемо так:

$$S_{\text{розр.буд.}} = \frac{P_{\text{розр.буд.}}}{\cos\varphi} = \frac{11,92}{0,93} = 12,81 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Розрахунковий струм для вибору приладів обліку, ввідних апаратів захисту та провідників для квартири визначається:

$$I_{\text{роз.буд.}} = \frac{S_{\text{розр.буд.}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{12,81}{0,22} = 58,2 \text{ А}$$

Результати розрахунку окремих групових мереж та квартири загалом наведені у таблиці 2.

Обмеження на вибір електрообладнання\*:

- перерізи провідників усередині електрощитка повинні бути не меншими за перерізи провідників вищого рівня розподілу електроенергії;
- для правильного вибору елементів мережі слід також враховувати реальні показники якості електроенергії, зокрема, – значення відхилення напруги, яке дуже часто не відповідає нормам (+5%), а може бути як істотно завищеним (до 240-250 В під час нічного провалу навантаження енергосистеми), так і заниженим (180-200 В під час вечірнього піку навантаження енергосистеми). Відсоткове відношення зниженої напруги призведе до відповідного збільшення струмового навантаження на ділянках мережі, тому для окремих потужних електроприймачів, що працюють у тривалому режимі (бойлер, духові шафи, електричний обігрівач) необхідно вибирати провідник з деяким запасом (10-20%) за пропускну здатністю;
- також слід враховувати реалії нашої країни та можливі проблеми із централізованим опаленням для об'єктів житлового фонду. У цьому випадку до будь-якої з розеток може бути підключений електричний обігрівач (орієнтовна потужність – 2 кВт), відповідно при спільному живленні розеточних та освітлювальних груп, номінальний струм автоматичних вимикачів повинен бути не менше 10 А.

Таблиця 2.4 – Розподіл навантаження за групами та автоматичними вимикачами

№ автомата	Найменування автомата	Найменування обладнання	Розрахункове навантаження, $P_{розр}$ , кВт	Розрахунковий струм, $I_{розр}$ , А	Тип АВ	Марка проводу
QF1	S201-B40 NA	- розетка 1.1	7	34,3	B40	ВВГнг-3х10, 50 А
QF2	S201-B32 NA	- розетка 8.1	4	19,6	B32	ВВГнг-3х10, 50 А
QF3	S201-B10 NA	- розетка 1.2 - розетка 2.1	0,7 0,3	5,24	B10	ПВС-3х2,5, 21 А
		- освітлення 1,2,3	0,07			ПВС-3х1,5, 15 А
QF4	S201-B16 NA	- освітлення 4,5,6	0,06	11,1	B16	ПВС-3х1,5, 15 А
		- розетка 7.1 - розетка 9.1	0,7 1,5			ПВС-3х2,5, 21 А
QF5	S201-B10 NA	- освітлення 7,8,9,10,11,12,13	0,11	4,7	B10	ПВС-3х1,5, 15 А
		- розетка 12.1 - розетка 12.2	0,15 0,7			ПВС-3х1,5, 15 А
QF6	S201-B10 NA	- освітлення 14,15,16,17,18,19	0,08	3,37	B10	ПВС-3х1,5, 15 А
		- розетка 16 - розетка 18	0,15 0,4			ПВС-3х1,5, 15 А
Ввід QF <sub>ВВ</sub>	S202-C63	будинок	$P_{вст}K_{п} = 15,9 \cdot 0,75 = 11,92$	58,2	C63	ВВГнг-3х16, 70 А

Розрахункові навантаження, визначені для квартири з урахуванням коефіцієнта попиту дозволяють виконати розрахунок і вибір лінії живлення.

Вибір ведемо за нагрівом провідника розрахунковим струмом при живленні електроприймачів будинку за умовою:

$$I_{доп} > I_{розр.буд.}$$

Приймаємо кабель типу ВВГнг-3х16,  $I_{доп} = 70$  А.

$$70 \text{ А} > 58,2 \text{ А} - \text{умова виконується}$$

Зробимо вибір ввідного автоматичного вимикача для захисту електричної мережі квартири за такими умовами:

- за номінальною напругою:

$$U_{\text{мер}} \leq U_{\text{ном. АВ}} ;$$

- за номінальним струмом автомата:

$$I_{\text{розр.кв}} \leq I_{\text{ном.АВ}} ;$$

- за номінальним струмом теплового розчіплювача  $I_n$  (при можливості регулювання):

$$I_{\text{розр.кв}} \leq I_n$$

- за характеристикою спрацьовування електромагнітного розчіплювача від струмів короткого замикання (В, С, D)\*;

Таблиця 2.6 – Характеристики спрацьовування модульних автоматичних вимикачів серії S 200/S 200 M/S 200 P/S 200 MUC

Характеристика спрацьовування та номінальний струм		Тепловий розчіплювач			Електромагнітний розчіплювач		
		Струм:		Время срабатывания	Струм:		Час спрацювання
		Невідключаючий струм	Струм спрацювання		Невідключаючий струм	Струм спрацювання	
В	от 6 до 63А	$1,13 \cdot I_n$		$> 1 \text{ ч}$	$3 \cdot I_n$		$> 0,1 \text{ с}$
			$1,45 \cdot I_n$	$< 1 \text{ ч}$		$5 \cdot I_n$	$< 0,1 \text{ с}$
С	от 0,5 до 63 А	$1,13 \cdot I_n$		$> 1 \text{ ч}$	$5 \cdot I_n$		$> 0,1 \text{ с}$
			$1,45 \cdot I_n$	$< 1 \text{ ч}$		$10 \cdot I_n$	$< 0,1 \text{ с}$
D	от 0,5 до 63 А	$1,13 \cdot I_n$		$> 1 \text{ ч}$	$10 \cdot I_n$		$> 0,1 \text{ с}$
			$1,45 \cdot I_n$	$< 1 \text{ ч}$		$20 \cdot I_n$	$< 0,1 \text{ с}$

Попередньо вибрані за основними умовами автоматичні вимикачі додатково перевіряються:

- по спрацьовуванню від навантаження :

$$I_{\text{спр.п}} = K_{\text{пер}} I_{\text{п}} \geq 1,25 I_{\text{розр.}}$$

$K_{\text{пер}} = 1,05 \dots 1,45$  – кратність спрацьовування теплового розчеплювача по відношенню до номінального струму автоматичного вимикача;

- за відповідністю прийнятому провіднику:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{спр.п}} \cdot K_3,$$

де  $K_3 = 0,8$  – для автоматичних вимикачів з регульованою зворотно-залежною від струму характеристикою теплового розчіплювача;  $K_3 = 1$  – для автоматичних вимикачів з нерегульованою зворотно-залежною від струму характеристикою теплового розчіплювача.

При захисті від струмів КЗ струм спрацьовування електромагнітного розчеплювача автоматичного вимикача (струмова відсічка) з двоступінчастою, обмежено-залежною від струму захисною характеристикою вибирається за умовою:

$$I_{\text{с.в.}} \geq 1,21 I_{\text{пік}};$$

де  $I_{\text{пік}} = (K_{\text{пуск}} - K_{\text{п}}) I_{\text{ен.мах.}} + I_{\text{розр.}}$

$K_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск.ЕП}} / I_{\text{ном.ЕП}}$  – кратність пускового струму електроприймача по відношенню до номінального струму;

$I_{\text{ен.мах.}}$  – номінальний струм електроприймача, який створює найбільший пусковий струм, А.

Розрахуємо параметри ввідного автоматичного вимикача для будинку, що розглядається.

$$I_{\text{розр.}} = 58,2 \text{ А.}$$

Приймаємо для захисту внутрішньобудинкових мереж автоматичні вимикачі МСВ (мініатюрні автоматичні вимикачі S9, S2, S800) серії S202 виробництва фірми АББ.

Піковий струм електроприймачів:

- електроприймач, який створює найбільший пусковий струм – це пральна машина:

$$P_{\text{НОМ}} = 1500 \text{ Вт}, K_{\text{п}} = 4, \cos\varphi = 0,85, I_{\text{еп.мах.}} = 8 \text{ А};$$

$$I_{\text{еп.мах.}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi} = \frac{1500}{220 \cdot 0,85} = 8 \text{ А};$$

$$I_{\text{пік}} = (4 - 0,75) \cdot 7,5 + 58,2 = 82,5 \text{ А};$$

Вибираємо автоматичний вимикач серії S200:

- за номінальною напругою:

$$220 < 440 \text{ (В)};$$

- за номінальним струмом автомата:

$$58,2 < 63 \text{ (А)};$$

- по номінальному струму розчеплювача:

$$58,2 < 63 \text{ (А)}.$$

Приймаємо автомат типу SH202-C63,  $I_{\text{н.авт.}} = 63 \text{ А}$ ,  $I_{\text{н}} = 63 \text{ А}$ .

Струм захисту від перевантаження дорівнює:

$$I_{\text{спр.п.}} = 1,13 \cdot I_{\text{н}} = 1,13 \cdot 63 = 71,2 \text{ А} \geq 1,25 I_{\text{розр}} = 1,25 \cdot 58,2 = 69 \text{ А}$$

Уставка захисту від КЗ  $I_{\text{св}}$ . Значення уставки вибирається за таким виразом:

$$I_{\text{св}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{пік}} = 1,2 \cdot 82,5 = 99 \text{ А};$$

Приймаємо значення установки

$$5 \cdot I_{\text{н}} < I_{\text{св}} < 10 \cdot I_{\text{н}}$$

$$315 \text{ А} < I_{\text{св}} < 630 \text{ А}$$

- за відповідністю прийнятому провіднику:

$$70 \geq 1 \cdot 69 = 69 \text{ А}$$

Всі умови виконуються, автоматичний вимикач вибрано правильно.

Автоматичні вимикачі та провідники відхідних груп вибираються

аналогічно з урахуванням конкретного набору навантаження, що підключається, і обмежень на вибір електрообладнання, які наведені вище. Результати вибору внутрішньоквартирної мережі представлені у таблиці 2.

Виконаємо вибір реле контролю напруги для захисту електричної мережі квартири за такими умовами:

- за номінальною напругою:

$$U_{\text{ном.РКН}} = U_{\text{мер.}}$$

$$U_{\text{ном.РКН}} = 220 \text{ В}$$

- за номінальним струмом ввідного автомата або потужності навантаження:

$$I_{\text{РКН}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{ном.АВ}} \text{ або } I_{\text{РКН}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{розр.}}$$

$$I_{\text{РКН}} > 1,2 \cdot 63 \text{ А} = 75,6 \text{ А} \text{ або } I_{\text{РКН}} > 1,2 \cdot 58,2 = 69,2 \text{ А}$$

Приймаємо до встановлення цифрове реле напруги V-protector типу VP-80А

Технічні характеристики:

1. Напруга на вході приладу 0-400 Вольт
2. Напруга індикації 50-400 Вольт
3. Максимальний струм на контактах **VP-80А:** 80А (250В) / (60 сек)
4. Час вимикання по верхній межі 0,02 сек
5. Час відключення по нижній межі 1 сек (120-170В) 0,02 сек (<120В)
6. Похибка вольтметра не більш 5 Вольт
7. Ступінь захисту приладу IP20



**Вимикачі диференціального струму ВДС - (ПЗВ)** призначені для захисту людей та електроустановок від замикання на землю. **Пристрій захисного відключення (ПЗВ)** - комутаційний апарат або сукупність елементів, які при досягненні (перевищенні) диференціальним струмом заданого значення за певних умов експлуатації повинні викликати розмикання контактів.

Основні параметри на які звертають увагу при виборі ПЗВ є:

- Напруга мережі 220/380 В;
- Кількість полюсів, для однофазної мережі – двополюсні, для трифазної – чотириполюсні;
- Номінальний струм, на який розраховано УЗО. Випускаються на номінальний струм навантаження 16, 20, 25, 32, 40, 63, 80, 100 А;
- Диференційний струм, на який реагує ПЗВ (струм витоку) – 10, 30, 100, 300, 500 мА;

Основні правила яких треба дотримуватись при виборі ПЗВ:

1. Сумарне значення струму витоку мережі з урахуванням приєднаних стаціонарних та переносних електроприймачів у нормальному режимі роботи повинно перевищувати 1/3 номінального струму ПЗВ. За відсутності даних про струми витоку електроприймачів її слід приймати з розрахунку 0,3 мА на 1А струму навантаження, а струм витоку мережі - з розрахунку 10 мкА на 1 метр довжини фазного провідника.
2. Рекомендується використовувати ПЗВ, при спрацьовуванні яких відбувається відключення всіх робочих провідників, у тому числі й нульового, при цьому наявність захисту від надструму в нульовому полюсі не потрібна.
3. У зоні дії ПЗВ нульовий робочий провідник не повинен мати з'єднань із заземленими елементами та нульовим захисним провідником.
4. ПЗВ повинно зберігати працездатність та характеристики при короткочасних (до п'яти секунд) провалах напруги до 50% від номінальної. Режим виникає при коротких замикання на час спрацьовування АВР.

5. У всіх випадках застосування ПЗВ має забезпечувати надійну комутацію ланцюгів навантаження з урахуванням можливих навантажень.

6. За наявності розчіплювачів ПЗВ випускаються такими, що як мають, так і не мають захисту від надструму. Переважно повинні використовуватися ПЗВ, що представляють єдиний апарат з автоматичним вимикачем, що забезпечує захист від надструму.

7. У житлових будинках, як правило, повинні застосовуватися ПЗВ типу "А", що реагують не тільки на змінні, а й на пульсуючі струми ушкоджень. Джерелом пульсуючого струму є, наприклад, пральні машини з регуляторами швидкості, джерела світла, що регулюються, телевізори, відеомагнітофони, персональні комп'ютери та ін.

8. ПЗВ, як правило, слід встановлювати в групових мережах, що живлять штепсельні розетки, встановлення ПЗВ у лініях, що живлять стаціонарно встановлене обладнання та світильники, а також у загальнобудинкових освітлювальних мережах, як правило, не потрібне.

9. Для сантехкабін, ванних та душових рекомендується встановлювати ПЗВ зі значенням струму спрацьовування до 10 мА, якщо на них виділено окрему лінію; в інших випадках (наприклад, при використанні однієї лінії для сантехкабіни, кухні та коридору) допускається використовувати ПЗВ з номінальним струмом до 30 мА.

10. ПЗВ має відповідати вимогам підключення. Особливу увагу слід звертати при використанні проводів та кабелів з алюмінієвими жилами (багато імпортованих ПЗВ допускають підключення лише мідних проводів).

При неможливості точного визначення сумарного струму витоку електропроводки та навантаження застосовується розрахунковий метод.

Приблизний струм витоку навантаження – 0,3 мА на 1 А струму, споживаного навантаженням.

Приблизний струм витoku проводу – 10 мкА на 1 м довжини фазного проводу.

Розрахунок струму витoku аналізованої мережі:

- довжина 3-жильного дроту електропроводки – 230 м.

- розрахунковий струм електроприймачів – 58,2 А.

Розрахунковий струм витoku електроприймачів:

$$I_{\text{деп}} = 0,3 \cdot 58,2 = 17,46 \text{ мА};$$

Розрахунковий струм витoku проводів:

$$I_{\text{др}} = 10 \frac{\text{мкА}}{\text{м}} \cdot 230 \text{ м} = 2,3 \text{ мА};$$

Сумарне розрахункове значення струму витoku:

$$I_{\text{дс}} = I_{\text{деп}} + I_{\text{др}} = 17,46 + 2,3 = 19,8 \text{ мА};$$

Вибір установки номінального струму витoku ПЗВ:

$$I_{\text{дн}} > 3I_{\text{дс}}$$

$$30 \text{ мА} > 3 \cdot 19,8 = 59,4 \text{ мА} - \text{умова не виконується}$$

Теоретично можна застосувати пристрій захисного відключення на номінальний диференціальний струм 30 мА, оскільки вибір проводиться при врахуванні всіх електроприймачів, включених в квартирну мережу, що в реальних умовах спостерігатиметься рідко. ПЗВ спрацюватиме в діапазоні струмів витoku 15-30 мА, що може теоретично викликати його помилкове спрацювання, проте ймовірність такої ситуації дуже незначна. Виходом із ситуації є поділ мережі на групи та встановлення кількох ПЗВ, що дозволить скоротити довжину провідників, групового струму навантаження і тим самим уникнути помилкових спрацювань.

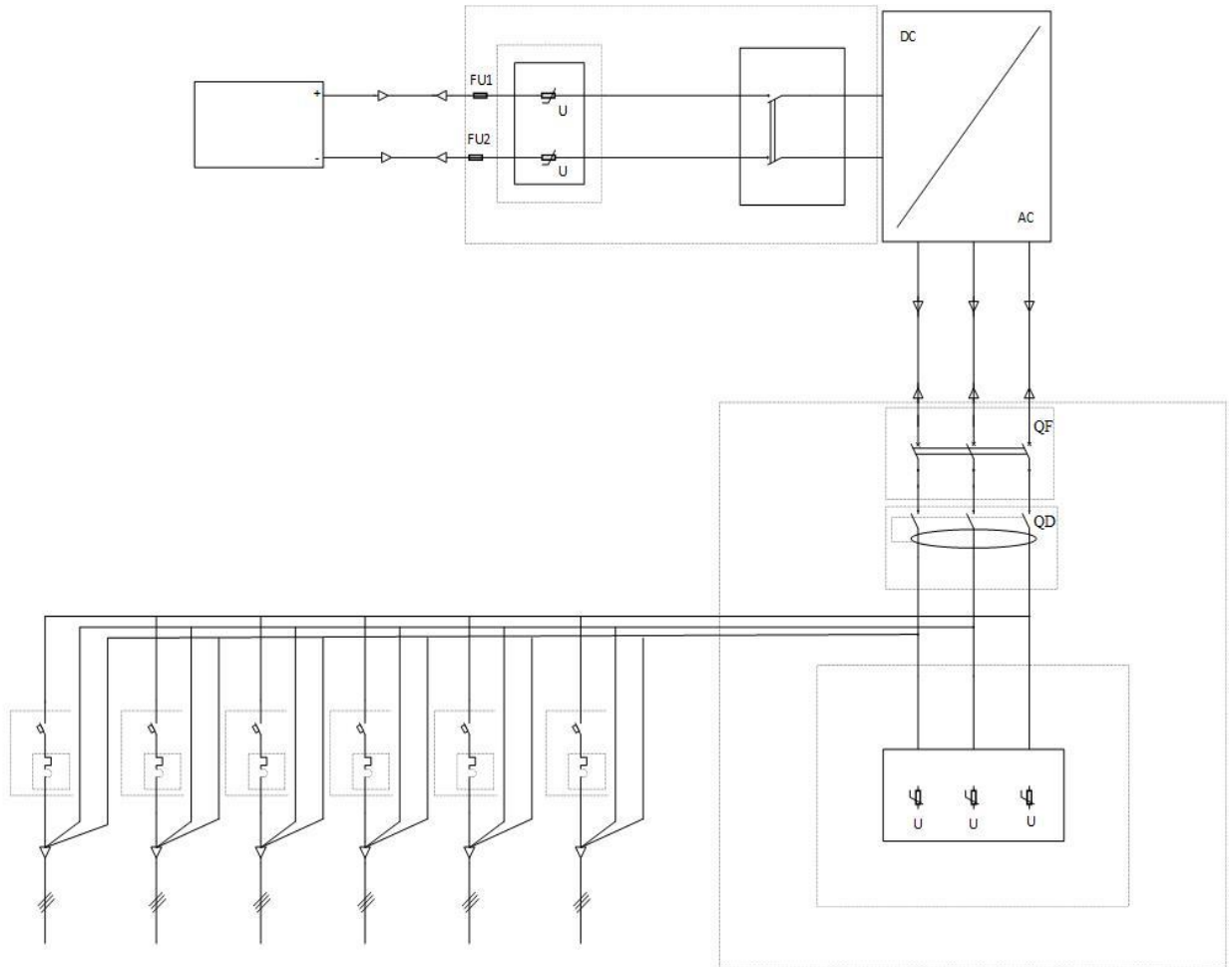
Остаточно приймаємо ПЗВ з  $I_{\text{дн}} = 30 \text{ мА}$ .

Номінальний робочий струм ПЗВ повинен бути більшим за суму робочих струмів підключених до ПЗВ навантаження.

Вибираємо найближчий більший номінал ПЗВ – 63А.

У модельному ряду ABB System pro M compact представлена лінійка для вирішення будь-яких задач з диференціального захисту.

Приймаємо ПЗВ типу F202-A63 с  $I_{\Delta n} = 0,03 \text{ A}$ .



Тип автоматичного вимикача	S 201-B 40 NA	S 201-B 32 NA	S 201-B 10 NA	S 201-B 16 NA	S 201-B 10 NA	S 201-B 10 NA
Номер групи електроприймача	1	2	3	4	5	6
Тип провідника	ВВГ нг-3х10	ВВГ нг-3х10	ПВС-3х2,5	ПВС-3х2,5	ПВС-3х2,5	ПВС-3х2,5

Рисунок 2.3 – Однолінійна схема електропостачання будинку

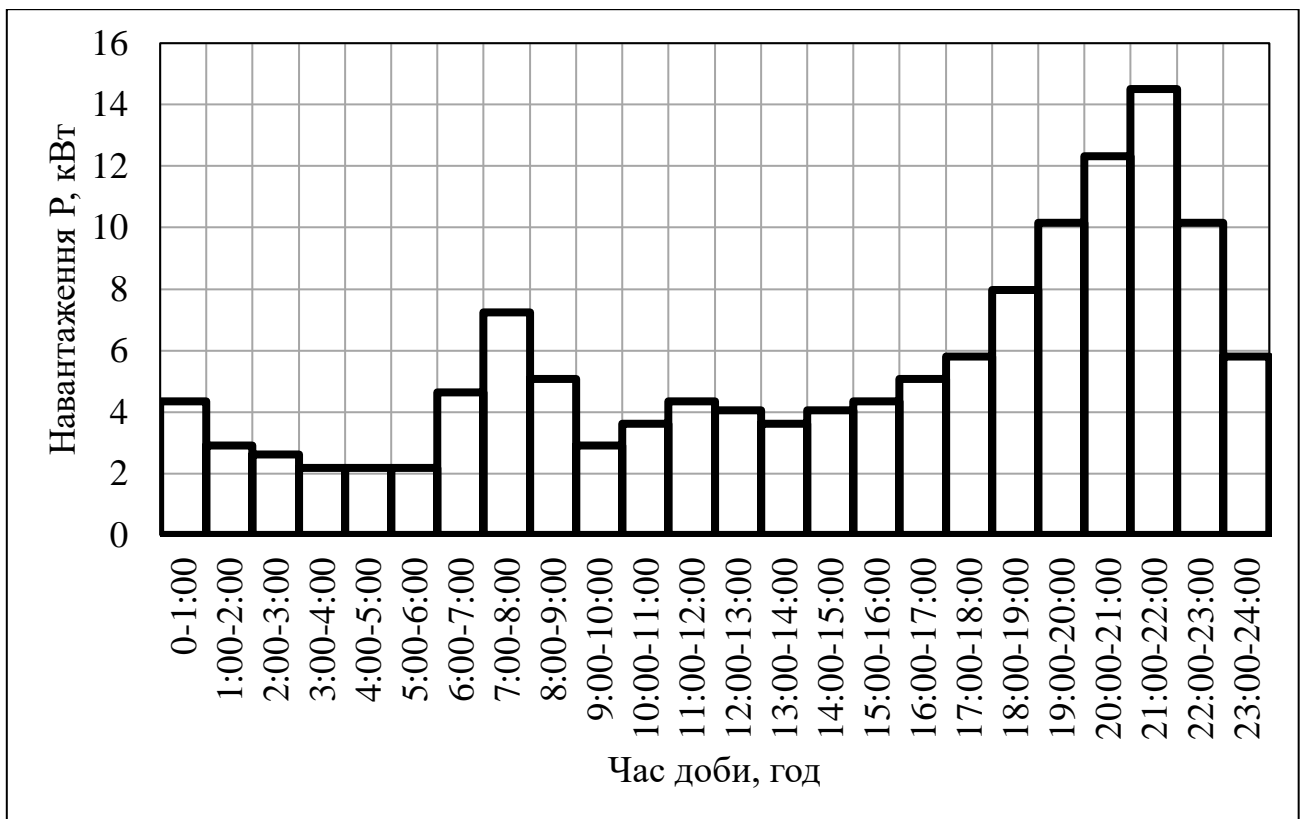


Рисунок 2.4 – ГЕН приватного будинку

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

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

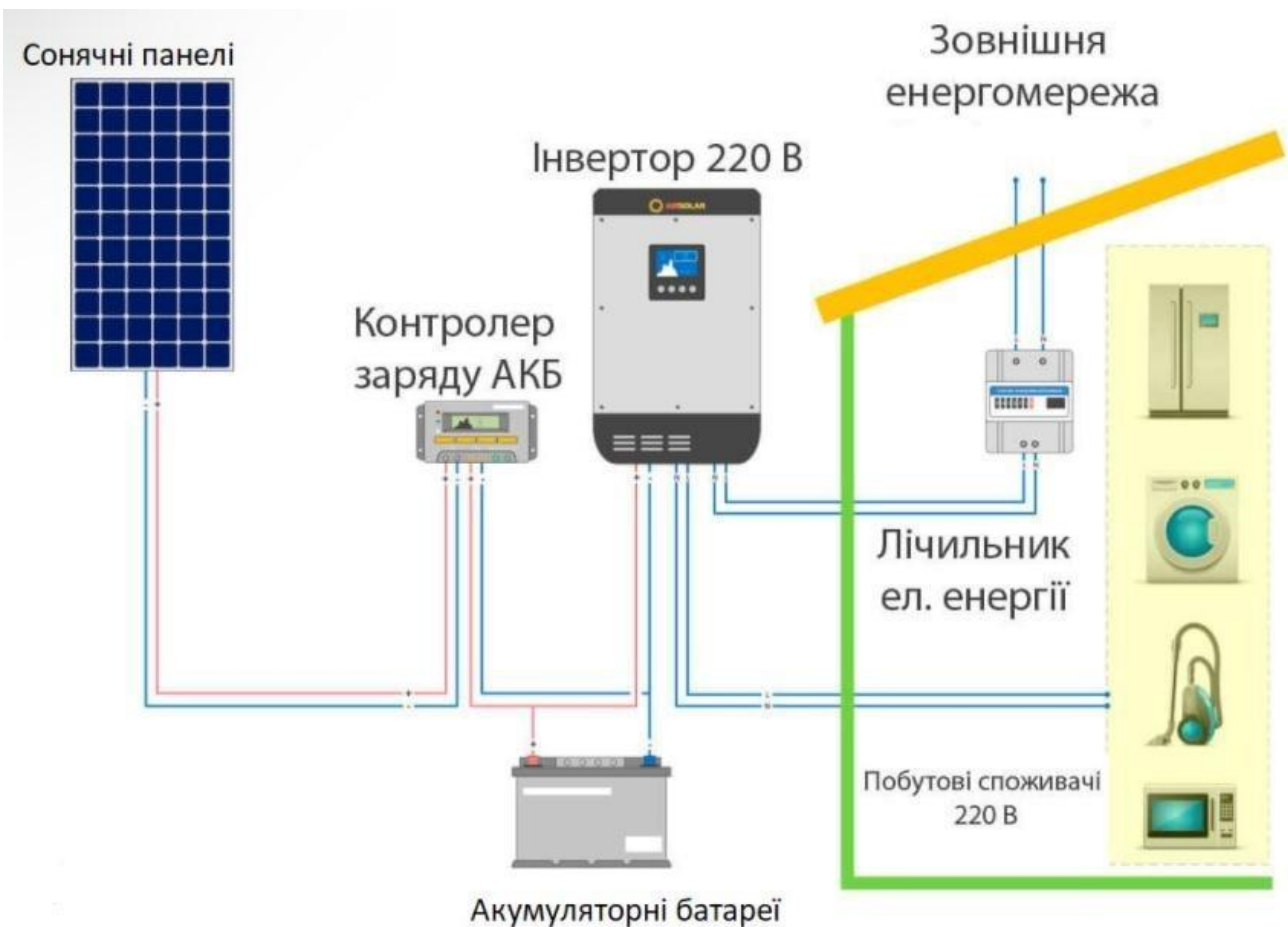


Рисунок 2.5 – Принципова схема сонячної електростанції

### 2.3.1 Кут нахилу панелей

Кут нахилу розраховується за наступною формулою:

$$\beta = 0,76\varphi + 3,1^{\circ} = 0,76 \cdot 48 + 3 = 39,6^{\circ},$$

де  $\beta$  – кут нахилу активної поверхні панелі до горизонту,  $^{\circ}$ ;

$\varphi$  – широта місцевості, де встановлюється ФЕС,  $^{\circ}$ .

ФЕМ встановлюються на дах будинку з кутом нахилу  $40^{\circ}$ . Кут нахилу обрано оптимальним з урахування кута нахилу сонця для майданчика на якому будується фотоелектрична станція.

### 2.3.2 Розрахунок приведених експлуатаційних параметрів ФЕМ

При виборі фотоелектричних модулів слід звернути увагу на такі параметри:

1. STC (Standard Test Conditions), що визначає стандартні тестові умови:

- рівень інсоляції повинен бути 1000 Вт на м<sup>2</sup>;
- температура сонячного модуля – 25°C;
- спектр випромінювання повинен відповідати відносній масі атмосфери 1,5;
- швидкість вітру 0 м/с.

Це відповідає орієнтації панелей на південь під кутом до горизонту в 37 ° і модулює наближені до весняних умов роботи модуля, на який сонячні промені опівдні падають перпендикулярно поверхні. На практиці це означає, що тільки деколи фотопанелі зможуть видавати заявлену виробником потужність, вираховану за стандартом STC. Будь-яке відхилення від стандарту, наприклад, кута падіння сонячних променів або температури модуля буде призводити до зниження фактично вироблюваної потужності.

2. NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) - температура модуля при типових умовах експлуатації, яка стало однією з основних характеристик панелей.

NOCT визначається за таких умов:

- інсоляція 800 Вт/м<sup>2</sup>;
- температура повітря 20°C;
- орієнтації модуля на ПД.

Чим нижче NOCT панелі, тим краще вона буде працювати. Залежно від використовуваних матеріалів і якості монтажу, температура модуля може бути на 15- 30°C вище температури навколишнього середовища. Чим вище це значення, тим більше енергії буде втрачатися. Завжди потрібно звертати увагу на параметр NOCT при виборі фотомодуля – у якісного виробника він не перевищує 47 °C. Так само, дуже важливо знати, що NOCT має на увазі відкриту задню

поверхню модуля для 36 можливості природного охолодження. В іншому випадку, панелі перегріються і їх коефіцієнт корисної дії впаде.

Монокристалічні панелі володіють великим ККД, але працюють тільки, коли сонячні промені потрапляють під прямим кутом 90 °, що підходить для екваторіальних широт. Полікристалічні панелі відмінно працюють під будь-яким нахилом до Сонця, виробляють електрику навіть з відбитого світла. У них менше поріг автоматичного запуску. На підставі вищевикладеного виберемо фото модулі LR4-72HPH-455M. оскільки цей варіант має найбільший ККД (20,9%). Окрім цього, має декілька інноваційних технологій, таких як:

- Half-Cell. Технологія розрізання комірки навпіл, завдяки цьому знижується електричний опір всередині ФЕМ, збільшується вихідна потужність та модуль стає більш стійким до затінення.
- Double-Glass. Скло з обох сторін, завдяки цьому зменшується деградація, збільшується строк служби, модуль менше нагрівається.
- Perc. Технологія базується на обробці задньої поверхні комірки. Завдяки цьому сонячна радіація, яка досягла тильної сторони модуля, відбивається назад до фотоелемента і отримує другий шанс для подальшої її конвертації у струм.

Таблиця 2.7 - Основні характеристики фотомодуля

	Longi LR4-72HPH-455M	Jinko JKM445M-78H-V	Risen RSM156-6445M
Номінальна потужність, Вт	455	445	445
Напруга в розімкнутому контурі, В	49,50	43.72	52.70
Струм КЗ, А	11,66	10.18	10.77
Максимальна напруга живлення, В	41,70	52.04	43.90
Максимальний струм живлення, А	10,92	10.84	10.15
ККД модуля, %	20,9	19,85	20.1



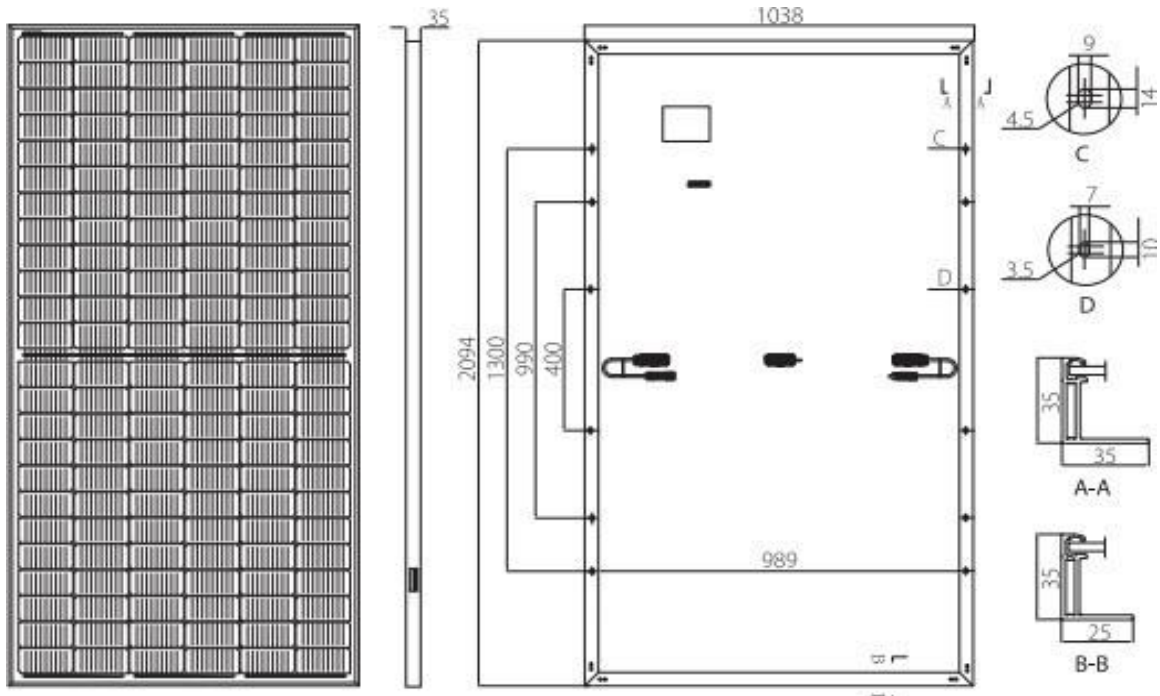


Рисунок 2.6 - Зображення сонячної панелі LR4-72HPH-455M

Очікувана температура модуля обчислюється з NOCT за формулою:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 \cdot (NOCT - 20) \cdot (0,9 - \eta) = 20 + 1,389 \cdot (45-20) \cdot (0,9-0,17) = 39,6^{\circ}\text{C};$$

Значення  $(0,9 - \eta)$  відображає частку сонячної енергії, що досягає модуля і перетвориться в тепло. Передбачається, що 10% енергії відбивається. Частина енергії перетворюється в електрику - це корисна енергія модуля, ККД, відсоток якого вказано в технічних характеристиках.

$$S_{\text{ФЕС}} = S_{\text{фем}} \cdot N_{\text{фем}} = 2,094 \cdot 34 = 71 \text{ м}^2$$

де  $S_{\text{фем}} = 2,094$  - площа фотоелектричного модуля (панелі),  $\text{м}^2$

Знаходимо середньодобову інсоляцію на  $1 \text{ м}^2$  площі по кожному місяцю протягом року.

$$N_{\text{фем}} = P_{\text{ФЕС}} / (P_{\text{PTC.фем}} \cdot \eta_{\text{інв}} \cdot K_w) = 15000 / (445 \cdot 0,97 \cdot 1) = 34 \text{ шт};$$

Сонячні панелі встановлюємо на південній стороні даху двохповерхової будівлі. Дах будинку виконаний з металочерепиці. Площа задіяна панелями займатиме становить  $71 \text{ м}^2$ , що цілком вистачає для розміщення 34 фотопанелей. Кріплення панелей до площини даху виконується за допомогою кронштейнів та S-профілю. Так як 34 панелей поділено на 10 стрінгів по 14-15 сонячних панелей, розташування панелей буде забезпечене з урахуванням затіненностей.

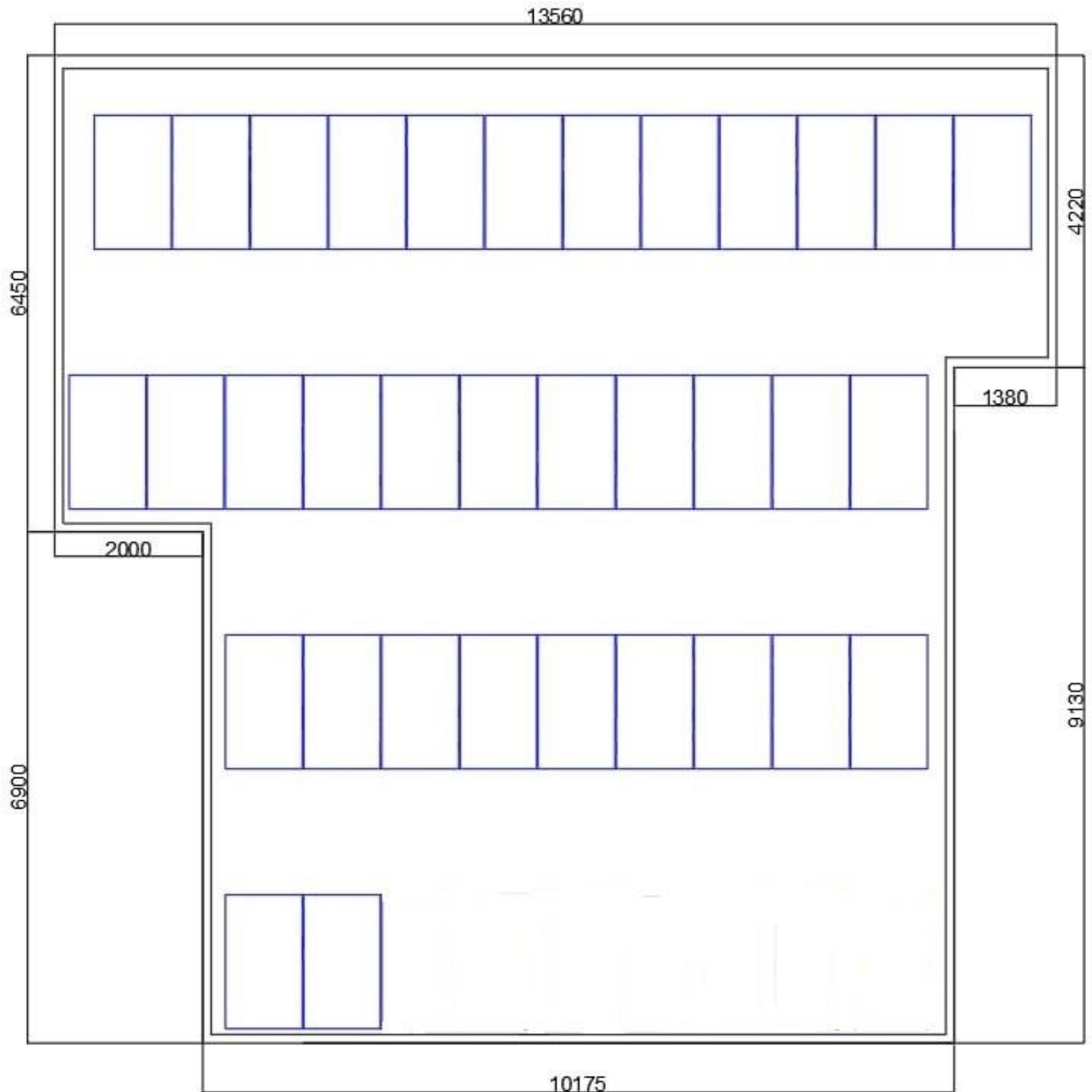


Рисунок 2.7 – Схема розміщення ФЕМ на даху приватного будинку

### 2.3.3 Параметри інвертерного обладнання

Залежно від цілей і сфери застосування розрізняють безліч видів перетворювачів напруги. Що ж стосується інверторів для сонячних батарей, то вони залежать від виду самої станції і можуть бути мережевими, автономними або гібридними:

- автономні — застосовуються для акумуляторних автономних станцій і працюють без зв'язку з зовнішніми мережами;
- мережеві – працюють в контакті з основною електромережею. У таких станціях інвертори не тільки виконують роль перетворювача прямого струму в змінний, але і передають надлишки видобутку в мережу;
- або гібридні – підходять для двох видів підключення (автономне і через мережу).

Всі сучасні інвертори містять приблизно наступний перелік характеристик:

1. ККД. Параметр, який показує отриману при перетворенні кількість електроенергії. Чим вище ККД, тим менше енергії втрачається в процесі. Сучасні інвертори працюють, в середньому, на рівні 90% ККД.

2. Потужність: пікова, номінальна і в режимі очікування. В теорії номінальний параметр повинен відповідати сумі навантажень всіх споживачів енергії. На ділі ж найчастіше в розрахунок беруть максимально можливе навантаження. Що ж стосується режиму очікування, то значення цього параметра має бути приблизно 1% від номінальної потужності.

Вихідна напруга може бути різних типів, найуніверсальнішим з яких вважають синусоїдальний.

Для установки обираємо інвертор 15кВт Ахіома ISGRID 15000



Рисунок 2.8 – Інвертор Ахіома ISGRID 15000

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики інвертора Ахіома ISGRID 15000

<b>Основні характеристики</b>	
Тип інвертора	Гібридний інвертор
Кількість фаз	3
Номінальна потужність навантаження	15000 Вт
Максимальна вхідна потужність	22500 Вт
Кількість МРРТ-трекерів	2
Кількість входів на МРРТ	2
Форма вихідної напруги	Чиста синусоїда
Вихідна напруга на АКБ	48 В
Максимальний струм заряду	200 А
Максимальний струм на 1 вхід	22 А

Максимальна напруга	900 В
Діапазон вхідної напруги АС	184 – 265 В
Оптимальна напруга на МРРТ	320 – 900 В
ККД	91 %
Розміри (д/ш/в)	650/224/820
Вага	62 кг
Робоча температура	– 10°С ... + 55°С
Робоча відносна вологість	0 – 100%

### 2.3.4 Порядок вибору перерізів провідників 0,4 кВ за нагрівом

Виконаємо розрахунок кабелю 0,4 кВ з ізоляцією із зшитого поліетилену для мережі 0,4 кВ від інвертора до КТП з перевітками:

- по допустимому тривалому струму навантаження;
- по допустимому струму короткого замикання по жилі;
- за втратами напруги.

Розраховуємо струмове навантаження на 1 фазу для інвертора потужністю 15 кВт:

$$I_M^{i_{NB}} = \frac{P_{НОМ}^{i_{NB}}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\varphi} = \frac{15}{1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,98} = \frac{15}{1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,98} = 22 \text{ А};$$

Приймаємо кабель марки АПВ 4, Ідоп.пасп = 29 А;

1. Перевірка кабелю по допустимому тривалому струму навантаження

Кабель підходить, якщо виконується умова:

$$I_p < I_{\text{доп}};$$

де  $I_p$  - розрахунковий струм в мережі, А;

$I_{\text{доп}}$  - максимальний розрахунковий струм. Розрахунок виконуємо з урахуванням допоміжних коригувальних коефіцієнтів. (Згідно [14] (Додаток Ж))

$k_2 = 1,0$  поправочний коефіцієнт, що залежить від глибини прокладання кабелю (кабель напругою 0,4 кВ прокладається на глибині 0,8 м);

$k_3 = 0,96$  поправочний коефіцієнт, що залежить від питомого теплового опору ґрунту;

$k_4 = 1,05$  поправочний коефіцієнт, що залежить від відстані між фазами;

$k(m) = 1,1$  – коефіцієнт навантаження.

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.пасп}} \cdot k_2 \cdot k_2 \cdot k_2 \cdot k(m) = 29 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 1,05 \cdot 1,1 = 32 \text{ А};$$

$$29 < 32 \text{ А};$$

Умова виконується.

### 2.3.5 Вибір обмежувача перенапруги

Роз'єднувач перенапруги розраховуємо за наступними умовами:

$$1) I_{\text{н.м}} \leq I_{\text{н.р.п.}}, \text{ А};$$

$$10 < 20, \text{ А};$$

$$2) U_m \leq U_{\text{н.р.п.}}, \text{ В.}$$

$$900 < 1200, \text{ В.}$$

Приймається до установки обмежувач перенапруги ETITEC S C-PV 1000/20 Y RC, його технічні дані занесено до таблиці .



Рисунок 2.9 – Обмежувач перенапруги ETITEC S C-PV 1000/20 Y RC

Таблиця 2.9 - Технічні характеристики ETITEC S C-PV 1000/20 Y RC

Технічні характеристики:	
Напруга (В)	1000
Номінальний струм (кА)	20
Максимальний струм (кА)	40
Рівень захисту по напрузі (кV)	2,8

### 2.3.6 Вибір автоматичного вимикача струму

Автоматичний вимикач струму обирається за наступними умовами :

$$1). U_{н.інв} \leq U_{н.а.в},$$

$$380 = 380 \text{ В};$$

де  $U_{н.інв}$  - номінальна напруга інвертора;

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

$$2). I_{\text{max.AC}} \leq I_{\text{н.а.в.}}$$

$$37 < 50 \text{ A};$$

де  $I_{\text{max.AC}}$  – максимальний струм інвертора на стороні АС;

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

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

$$37 < 0,9 \cdot 50 \text{ A};$$

$$37 < 45 \text{ A};$$

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

Приймається до установки автоматичний вимикач струму CNC ВА-72 .





Рисунок 2.10 - Автоматичний вимикач струму CNC BA-72.

Таблиця 2.10 - Технічні характеристики вимикача струму ABB Formula A1C 125 TMF 70-700 3P FF

Технічні характеристики:	
Номінальний струм (In)	50
Номінальна напруга	380
Номінальна вимикаюча здатність, кА	15
Кількість полюсів	3

### 2.3.7 Вибір обмежувача перенапруги

Обмежувач перенапруги – прилад, який допоможе впоратися з перепадами напруги, що виникають із-за збоїв в електричній мережі, ударів блискавкою і т.

д. Необхідно обов'язково мати захист від подібних аварійних ситуацій, адже вони можуть призводити не тільки до виходу з ладу устаткування, але і пожеж, і навіть вибухів.

Особливо важливо купити пристрій захисту від імпульсних перенапруг для установки в котеджах, приватних будинках та багатоповерхівках. Також, дане реле рекомендується використовувати для захисту від перепадів напруги будівель з наземними комунікаціями, які дуже схильні попадання блискавок.

ОПН вибирається за напругою тривалості роботи :

$$\frac{U_m \cdot 1,1}{1,73} \leq U_c, \text{ В,}$$

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

$$241,6 < 380 \text{ В.}$$

де  $U_m$  – найбільша напруга мережі;

$U_c$  – напруга ОПН.

Приймається до установки обмежувач перенапруги ОПН-М.



Рисунок 2.11 - Обмежувач імпульсно перенапруги ОНП-М

Таблиця 2.11 - Технічні характеристики обмежувача перенапруги ОНП-М

<b>Технічні характеристики:</b>	
Кількість полюсів	3
Номінальна напруга, В	380
Максимальний розрядний струм, кА	40
Номінальний розрядний струм, кА	30

## 2.4 Визначення параметрів та показників виробництва електроенергії сонячної станції протягом року.

Річне виробництво електричної енергії станцією потужністю 15 кВт, яка складається з 34 ФЕМ типу LR4-72HPH-455M складе:

Розраховуємо електричну енергію, яку виробить станція протягом січня (01- місяць) та червня (06 – місяць): попередньо визначимо площу станції, тобто площу поверхні, яка перетворюватиме енергію сонця в електричну:

$$S_{\text{ФЕС}} = S_{\text{фем}} \cdot N_{\text{фем}} = 2,094 \cdot 34 = 71 \text{ м}^2$$

$$W_{\text{ср.доб.01}} = 1,21 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 / \text{день}$$

Де  $W_{\text{ср.доб.01}}$  - місячний рівень сонячної інсоляції.

$$W_{01} = W_{\text{ср.доб.01}} \cdot N_{\text{дiб.01}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{iнв}} \cdot K_w) = 1,21 \cdot 31 \cdot 71 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 1 = 539$$

кВт·год

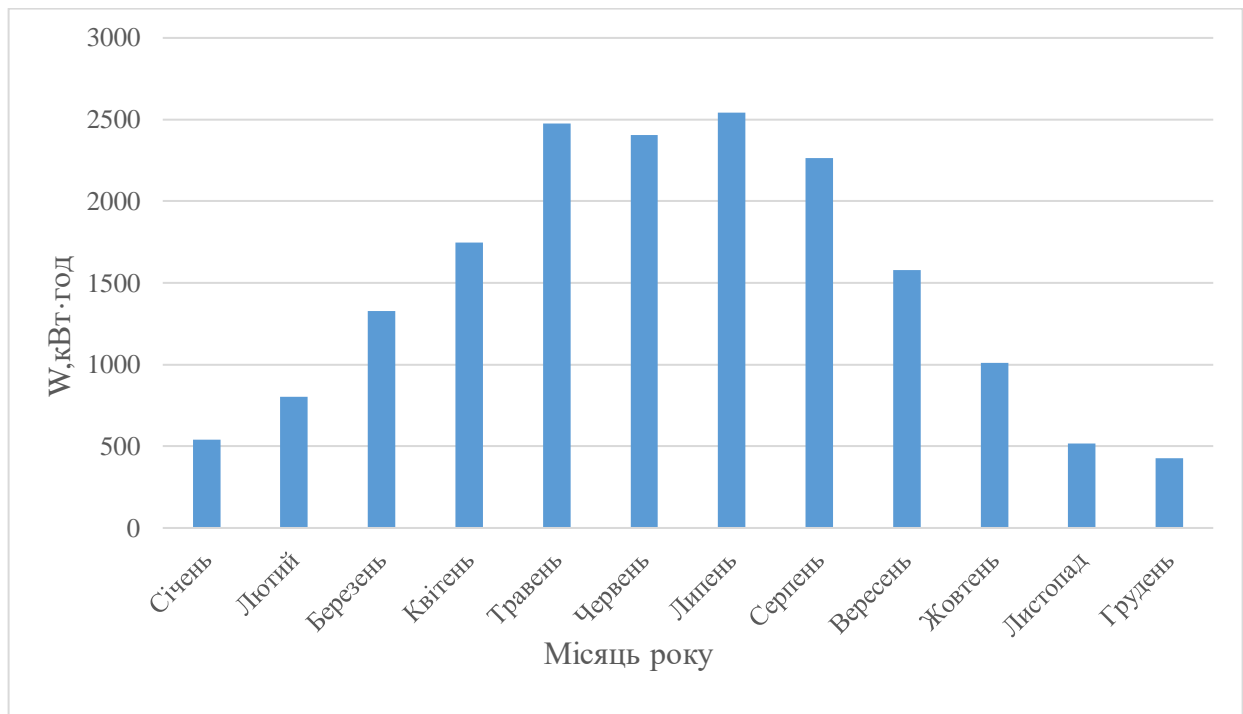


Рисунок 2.12 – Діаграма річного виробництва електроенергії СЕС

## 2.5 Визначення параметрів та показників виробництва електроенергії фотоелектричними модулями/покрівлею протягом року

Середні показники потрапляння електроенергії для смт. Петропавлівки на 1 м<sup>2</sup> площі:

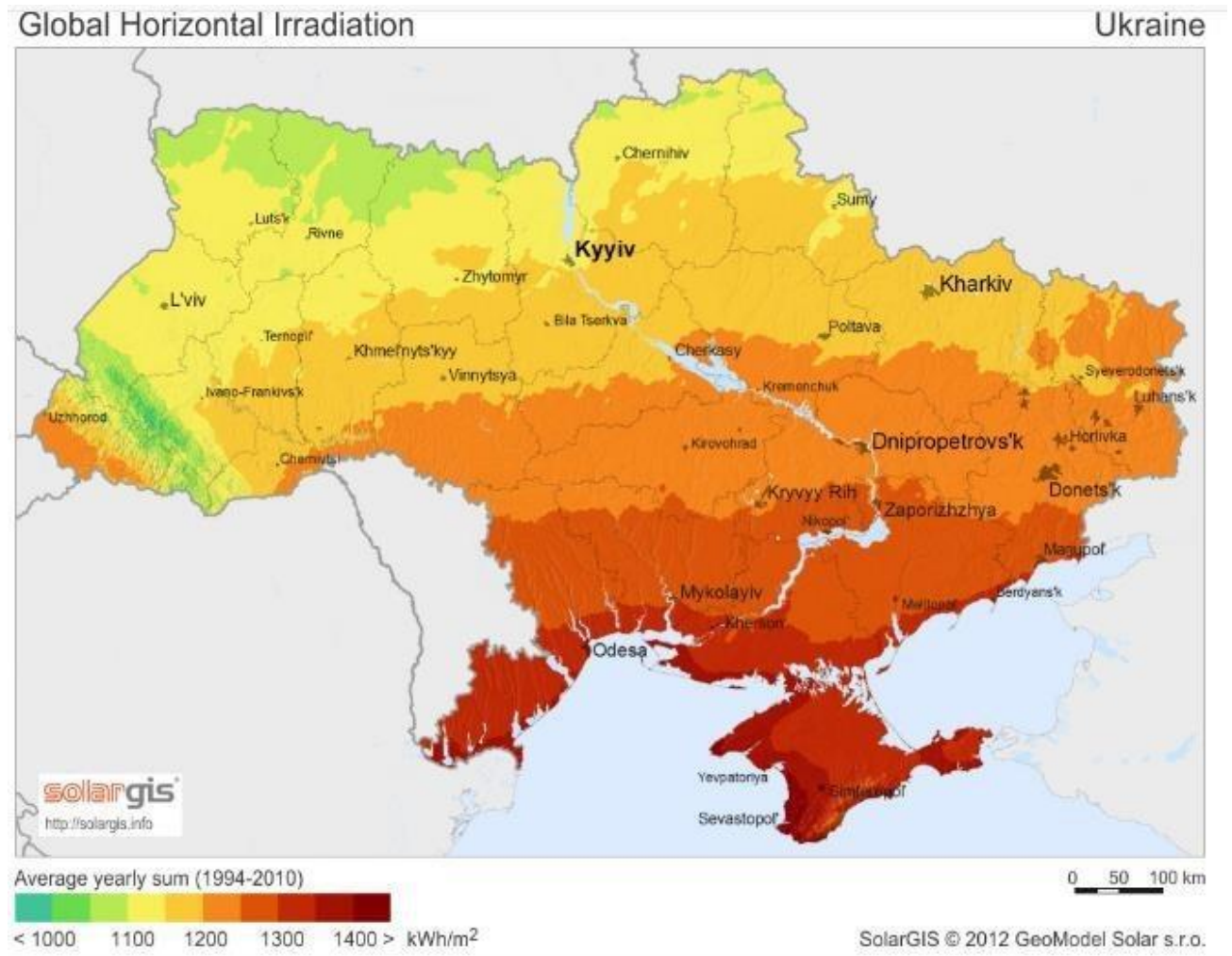


Рисунок 2.13 - Середня сумарна річна інсоляція для умов України, кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)

Середньорічне потрапляння сонячної енергії за добу:

$$W_{\text{ср.доб}} = 3,36 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 ;$$

Сумарне потрапляння сонячної енергії (інсоляція) за рік на 1 м<sup>2</sup> площі:

$$W_{\text{річ}} = W_{\text{ср.доб}} \cdot 365 = 3,36 \cdot 365 = 1226,4 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$$

Таблиця 2.12 - Середньомісячний рівень сонячної іррадіації (інсоляції) в містах України

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

Тобто  $1\text{ м}^2$  фотоелектричного модуля при своєму ККД (для нашого прикладу з  $\eta_{\text{фем}} = 20,9\%$  зможе за рік виробити електричної енергії:

$$W_{\text{ср.доб.фем.}} = W_{\text{ср.доб.}} \cdot \eta_{\text{фем}} \cdot S_{\text{фем}} = 3,36 \cdot 0,209 \cdot 2094 = 1,47 \text{ кВт} \cdot$$

год за добу (в середньому протягом року);

$W_{\text{річ.фем}} = W_{\text{доб.фем}} \cdot 365 = 1,47 \cdot 365 = 536 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  за рік (виробництво електричної енергії одної ФЕМ типу LR4-72NPH-455M за рік).

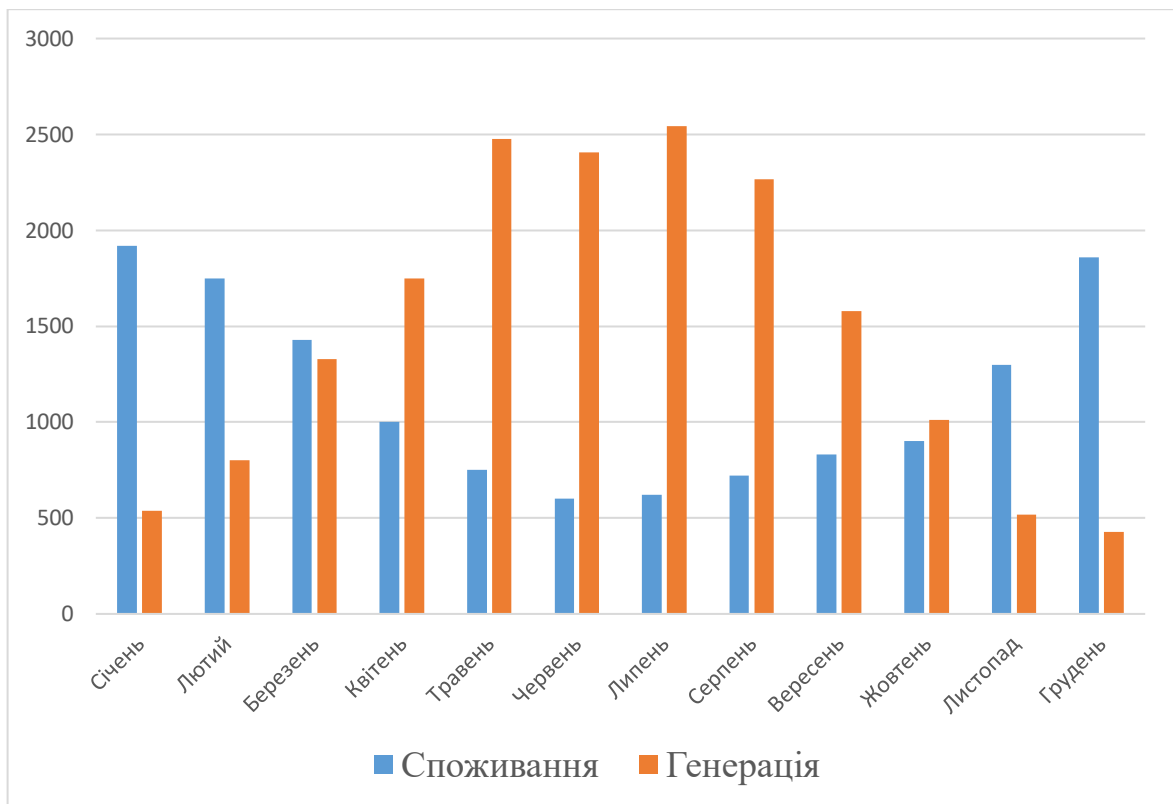


Рисунок 2.14 – Діаграма виробництва електроенергії СЕС та споживання приватного будинку

## 2.6 Вибір раціональних параметрів системи накопичення електричної енергії.

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

Наприклад, при відсутності мережі необхідно щоб протягом 6 годин стабільно працювали холодильник, телевізор і освітлення у вітальні.

Середня потужність холодильника - 400 Вт, телевізора - 150 Вт, освітлення - 10 енергозберігаючі лампи по 28 Вт та бойлер – 2000 Вт.

Будемо вважати що протягом усіх 6 годин усі потрібні електроприлади будуть в роботі. Ми пам'ятаємо, що холодильник споживає свою потужність 15 хвилин на годину.

Разом потрібен запас в електроенергії:

$$\text{WAKB} = 400 \text{ Вт} \times 1,5 \text{ год} + 100 \text{ Вт} \times 6 \text{ год} + 280 \text{ Вт} \times 6 \text{ год} + 2000 \text{ Вт} \times 2 \text{ год} + 800 \text{ Вт} \times 1 \text{ год} = 7680 \text{ Вт}\cdot\text{год}$$

Необхідна ємність акумуляторів:

$$\text{CAKB} = 7680 \text{ Вт}\cdot\text{год} \times 1,2 / 12 \text{ В} = 768 \text{ А}\cdot\text{год} \text{ (20\% ємності - залишковий запас для запобігання повного розряду і зменшення періоду експлуатації)}.$$

Літєві (Li) АКБ мають більший термін експлуатації (близько 3000 циклів проти 800 циклів у свинцево-кислотних), низький рівень саморозряду (< 1,5% за місяць) і також мають більший ККД (близько 95%).

Гібридний інвертор розрахований на систему 48 В. Отже і гілка АКБ має мати 48 В.

Розглянемо літій-залізо-фосфатний (LiFePO<sub>4</sub>, LFP) тип акумуляторів, оскільки він активно застосовується як буферний накопичувач енергії в системах автономного електропостачання з використанням вітрогенераторів і сонячних батарей, а також має ряд переваг, таких як:

- LiFePO<sub>4</sub> забезпечує триваліший термін служби, ніж інші літій-іонні елементи;

- На відміну від інших літій-іонних, LiFePO<sub>4</sub>-акумулятори, як і нікелеві, мають дуже стабільну напругу розряду. Напруга на виході залишається близькою до 3,2 В під час розряду, поки заряд акумулятора не буде вичерпано повністю. І це може значно спростити або навіть усунути необхідність регулювання напруги в електричних колах;

- Використання фосфатів дозволяє уникнути витрат кобальту і екологічних проблем, зокрема, через попадання кобальту в навколишнє середовище за неправильної утилізації;



- LiFePO<sub>4</sub> має більш високий піковий струм (а отже, враховуючи стабільність напруги, — пікову потужність), ніж у LiCoO<sub>2</sub>;

- LiFePO<sub>4</sub>-акумулятори мають меншу швидкість розряду, ніж свинцево-кислотні або літій-іонні. Оскільки швидкість розряду визначається у відсотках від ємності акумулятора, то більшої швидкості розряду можна досягти в акумуляторах більшої ємності (більше ампер-годин). Однак можуть

бути використані LiFePO<sub>4</sub> елементи з високим струмом розряду (мають більшу швидкість розряду, ніж свинцево-кислотні батареї, або LiCoO<sub>2</sub> тієї ж потужності);

- LiFePO<sub>4</sub> елементи повільніше втрачають ємність, ніж літій-іонні (LiCoO<sub>2</sub> [літій-кобальт оксидні], LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> [літій-марганцева шпінель]);

- Однією з важливих переваг у порівнянні з іншими видами літій-іонних акумуляторів, є термічна і хімічна стабільність, що істотно підвищує безпеку батареї;

- Морозостійкі. Діапазон складає – 40...+60°C.

Обрано модель KIJО LiFePo<sub>4</sub>-12V200Ah



Рисунок 2.15 – Аккумулятор KIJO LiFePO<sub>4</sub>-12V200Ah

## **2.7 Обґрунтування технічних параметрів та схемної реалізації гібридної ФЕС для приватного будинку**

Гібридна сонячна електростанція на 15 кВт дозволяє забезпечити основні потреби вашого будинку в електроспоживанні як вдень, так і вночі, завдяки використанню акумуляторів в якості резервного живлення. Також така станція дозволяє продавати надлишки електроенергії по "зеленому тарифу".

Річний показник генерації такої СЕС становить 17600 кВт·год на рік. Площа, яку займають панелі станції - 71 м<sup>2</sup>. Оснащена акумуляторними батареями для резервного живлення у випадку відсутності роботи сонячних панелей або мережі. При стабільному споживанні електроенергії, така система

дозволить жити всі електроприлади близько 6 годин. При цьому, чим меншим буде споживання, тим довше вистачить заряду акумуляторів.

В якості сонячних батарей доцільно використати будь-які панелі потужністю від 400 до 600 Вт. Рекомендовані виробники - Risen Energy, Suntech, Longi Solar, Canadian Solar. Ja Solar, Trina Solar. Як показує практика, рівень якості даних виробників приблизно на одному рівні.

Інвертор станції, 15-кіловатний гібридний AXIOMA energy - ISGRID 15000, використовує функцію резерву. Оснащений 2 MPPT трекерами, що робить його одним з найфункціональніших на ринку. Ефективність перетворення DC/AC сягає 91%.

Оснащений інформаційними LED дисплеєм для відображення показників генерації та кодів помилки для швидкого виправлення неполадок в роботі інвертора. Управління інвертором здійснюється за допомогою функціональних кнопок на пристрої або з'єднання зі смартфонами за допомогою USB входу. Працює з акумуляторними батареями, номінальною напругою 48 В. Максимальний струм заряду від сонячного масиву - 120 А, від мережі - 60А.

СЕС укомплектована 4-ьома гелевими акумуляторними батареями КІЮ LiFePo4-12V200Ah. Розрахована на 3000 циклів глибоких розрядів/зарядів. Гарантія на акумулятор є підвищеною та становить 2 роки, що характеризує його як високонадійний та витривалий. Габаритні розміри акумулятора 523x237x225 мм, вага 59 кг. Номінальна напруга АКБ становить 12 В. Широко використовується у системах безперебійного живлення, резервного освітлення, сонячної енергетики.

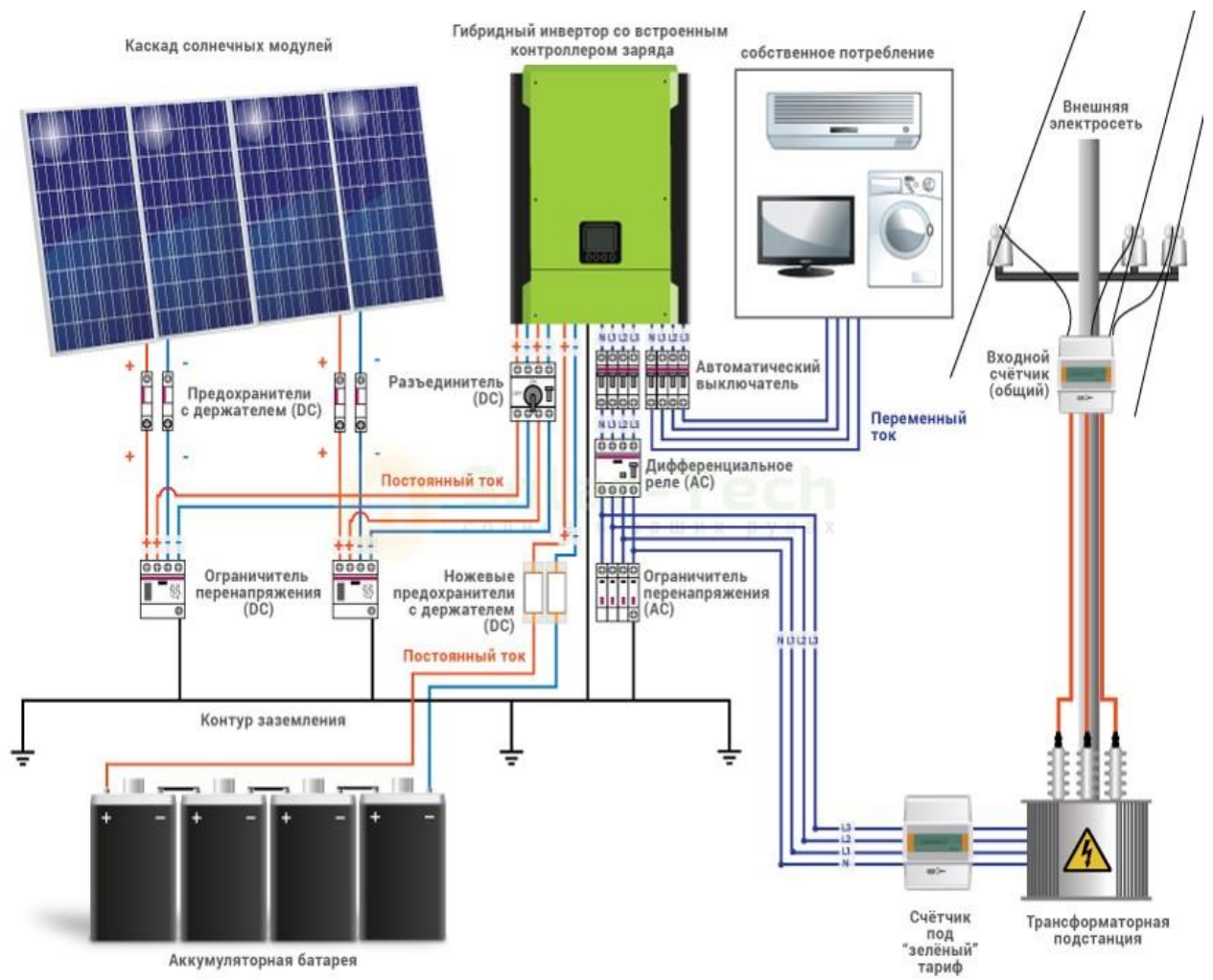


Рисунок 2.16 – Схемна реалізація гібридної ФЕС

### **3. Техніко-економічне обґрунтування**

#### **Вступ**

Відновлювана або регенеративна енергія - енергія з джерел, які, за людськими масштабами, є невичерпними. Основний принцип використання відновлюваної енергії полягає в її вилученні з процесів які постійно відбуваються в навколишньому середовищі. Таким чином, використання поновлюваних джерел енергії, є дуже перспективним завданням не тільки з точки зору економічної вигоди, але і збереження природних ресурсів і екології планети.

В роботі проведено аналіз кліматичних умов Дніпропетровської області. На підставі проведеного аналізу запропоновано впровадження гібридної сонячно електростанції для умов приватного домоволодіння що знаходиться в смт. Петропавлівка.

Впровадження запропонованої системи дозволить частково забезпечити потреби об'єкта в електричній енергії, що дасть автономність системи на відведений час, а також можливість реалізації надлишків електроенергії в мережу за «зеленим тарифом».

Для визначення економічної ефективності в магістерській роботі необхідно визначити капітальні витрати на придбання, доставку, монтаж і налагодження відповідного обладнання, експлуатаційні витрати, показники ефективності капітальних витрат і термін окупності проекту.

### 3.1 Розрахунок капітальних витрат

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

Капітальні інвестиції з реалізації науково-технічного рішення можуть включати витрати:

- на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів контролю та обліку витрачання ресурсів, приладів діагностики стану обладнання тощо;
- пов'язані з виконанням будівельно-монтажних робіт;
- на проведення монтажно-налагоджувальних робіт;
- фінансових коштів на виконання проектно-конструкторських робіт, підготовку персоналу та виконання інших робіт, необхідних для реалізації науково-технічного рішення.

Доцільно витрати на придбання технічних засобів або комплектуючих виробів представити у вигляді зведення капітальних витрат (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

#### Зведення капітальних витрат

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Сонячна панель	34	6200 [4]	210800
2	Інвертор	1	170000 [6]	170000
4	Система кріплень панелей	34	800 [9]	27200
5	АКБ	4	37000 [7]	148000
7	Кабель на стороні АС	20	50 [4]	1000
8	Кабель на стороні DC	12	23 [4]	276
9	Обмежувач перенапруг АС	1	912 [8]	912
10	Пристрій захисного викл.	2	842 [8]	1684
11	Автоматичний вимикач	1	700 [8]	700
12	Роз'єднувач перевантаження	1	1105 [8]	1105
13	Обмежувач перенапруги DC	1	1315 [8]	1315
	ВСЬОГО			563000

При визначенні величини проектних капіталовкладень ( $K_{пр}$ ) можна скористатися формулою:

$$K_{пр} = K_{об} \left( \sum_{i=1}^k C_i \right) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_{пр} , \quad (4.1)$$

де  $K_{об} \left( \sum_{i=1}^k C_i \right)$  – вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів  $i$  - го виду, необхідних для реалізації прийнятого науково-технічного рішення;

$k$  - кількість необхідних комплектуючих елементів;

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

$Z_m$  – витрати на монтажні роботи;

$Z_n$  - витрати на налагоджувальні роботи;

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

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

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

Під час проектування було вирішено встановити вартість транспортно-заготівельних витрат у вартості 3520 грн. Враховуючи відстань із міста до населеного пункту 128 км і час поїздки та розвантаження грузу .

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

$$Z_{м(н)} = \sum (C_i \times a_i \times t_i) \times K_d \times K_{см} \times K_{пр} \quad (4.2)$$

где  $C_i$  – чисельність працівників  $i$ -го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), чол.; При проектуванні було вирішено, що монтаж електрообладнання буде виконувати 3 особи, два будівельника і один електромонтер 3-го розряду;

$a_i$  – годинна тарифна ставка працівника  $i$ -го розряду, грн.; Для електромонтера 3-го розряду тарифна ставка встановлюється 130 грн/год, а для будівельника 100 грн/год;

$t_i$  – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), год.; Під час проектування, було вирішено, що для монтажу і налагодження сонячної електростанції електрику знадобиться 4 доби по 8 робочих годин, а будівельникам 3 доби по 8 годин;

$K_d$  – коефіцієнт, що враховує розмір доплат; премія за якісно виконану роботу буде становити 20 %, тобто  $K_d = 1,2$ ;

$K_{см}$  – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;  $K_{см} = 1,22$ ;

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

$$Z_{м(н)} = (1 \cdot 130 \cdot 32) \cdot 1,2 \cdot 1,22 \cdot 1 + (2 \cdot 100 \cdot 40) \cdot 1,2 \cdot 1,22 \cdot 1 = 17800 \text{ грн.}$$

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

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

Якщо обладнання, що демонтується, може бути повністю або частково реалізовано за договірною ціною або за ціною брухту, то проектні капітальні витрати зменшуються на цю величину.



Під час проектування, було вирішено, що одноразові вкладання грошових коштів для об'єкта проектування не мають необхідності.

$$K_{\text{пр}} = 563000 + 3520 + 17800 = 584322 \text{ грн.}$$

### **3.2 Визначення експлуатаційних витрат**

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за визначений період, що виражені у грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню, а саме комплектних конденсаторних установок :

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж ( $C_T$ );

Так як постійного персоналу для обслуговування комплектних конденсаторних установок не передбачено, до експлуатаційних витрат не виносимо витрати на заробітну платню та єдиний соціальний внесок.

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

$$C = C_a + C_{\text{пр}}, \text{ грн.} \quad (2.3)$$

#### **3.2.1 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, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод амортизації, при якому річна сума амортизації

визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартістю основних засобів і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості:

$$\Phi_a = \Phi_{\text{п}} - Л, \quad (2.4)$$

де  $\Phi_{\text{п}}$  – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$Л$  – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно, то при прямолінійному методі амортизації дозволяється вважати її рівною нулю.

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

$$H_a = \frac{\Phi_{\text{п}} - Л}{\Phi_{\text{п}} \cdot T_{\text{п}}} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

де,  $T_{\text{п}}$  – термін корисного використання (амортизаційний період).

$$H_a = \frac{563000 - 0}{563000 \cdot 12} \cdot 100\% = 8,3\%$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом визначаються:

$$AO = \frac{\Phi_{\text{п}} \cdot H_a}{100}, \text{ грн}; \quad (2.6)$$

$$AO = \frac{563000 \cdot 8,3}{100} = 46729 \text{ тис. грн};$$

$$C = 46729 + 58432 = 105161 \text{ тис. грн.}$$

### **3.2.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт**

Фірма, яка виробляють аналогічне обладнання пропонують гарантійне обслуговування в розмірі 350 грн на сонячну батарею і прикладне обладнання. Для 34 сонячних батарей сума складе 11,9 тис. грн/рік.

Таким чином річні експлуатаційні витрати по об'єктах проектування складуть відповідно:

$$C_{\text{експл.}} = C_a + C_p = 46729 + 11,9 = 58629 \text{ тис. грн};$$

### 3.3 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, економія здійснюється від зменшення активних витрат у мережі, тому знаходимо за наступною формулою:

$$E_{k_n} = E_{k_p} - C, \text{ грн.} \quad (2.7)$$

Знайдемо прибуток за вироблену «зелену» енергію:

$$E_{\text{год}} = W \cdot a, \text{ тис. грн}$$

де,  $a$  – тариф за кВт електроенергії за зеленим тарифом (становить 3 грн 79 коп. За 1 кВт) « Вартість електроенергії на 1 січня 2020 - 31 грудня 2024» за даними [https://pret.com.ua/tariff?hard\\_tag\\_id=5b928d692c8b8311901c3946&type\\_id=5b9299a82c8b8316fe96aee7](https://pret.com.ua/tariff?hard_tag_id=5b928d692c8b8311901c3946&type_id=5b9299a82c8b8316fe96aee7)

Кількість виробленої енергії становитиме:

$$W = n \cdot P \cdot i \cdot t \cdot S, \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

де,  $n$  – кількість панелей в варіанті, шт;

$P$  – потужність панелі, кВт;

$i$  – середньорічні пікові сонце-часи (еквівалентній час при якому панель робить в номінальному режимі, видаючи номінальну потужність), згідно даних NASA.

$t$  – кількість днів у році, дн.

Кількість виробленої енергії становитиме:

$$W = 34 \cdot 0,455 \cdot 4 \cdot 365 \cdot 1,95 = 44043 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Знайдемо прибуток за вироблену енергію:

$$E_{\text{год}} = 44043 \cdot 3,79 = 166923 \text{ тис. грн};$$

Повна річна економія від впровадження прийнятого технічного рішення для першого варіанту складає:

$$E_{k_n} = 166923 - 105161 = 61762 \text{ тис. грн};$$

### 3.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності

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

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

б) терміну окупності капітальних витрат  $T_p$ .

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

$$E_p = E_{k_n} / K_{np}, \text{ долі од.}, \quad (2.8)$$

де  $E_{k_n}$  - загальна річна економія від впровадження об'єкта проектування (формула 2.7), тис. грн.;

$K_{np}$  - капітальні витрати за варіантом, що викликали економію, тис. грн.  $K_{np} = 584322$  грн.

$$E_p = 61762 / 584322 = 0.10, \text{ долі од.},$$

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

$$T_p = K_{np} / E_{k_n}, \text{ років} \quad (2.9)$$

$$T_p = 584322 / 61762 = 9,46 \approx 9 \text{ років};$$

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

Проект (варіант) капітальних вкладень визнається доцільним за умови

$$E_p > E_n . \quad (2.10)$$

При  $E_p < E_n$  варіант є збитковим і більш економічним визнається відмова від його реалізації.

Нормативне значення коефіцієнта ефективності визначається з таких міркувань.

Визначаємо нормативне значення коефіцієнта ефективності виходячи з прийнятної для підприємства індивідуальної норми прибутковості:

$$E_n = 1/T_{oc} , \quad (2.11)$$

де  $T_{oc}$  – очікуваний, прийнятний для підприємства термін окупності капітальних вкладень, років (12 років для гібридної сонячної електростанції).

$$0.10 > 1/13 = 0.10 > 0,083$$

Результати техніко-економічного обґрунтування ефективності впровадження результатів кваліфікаційної роботи оформлюємо у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 3.2 - Порівняльна оцінка техніко-економічних показників

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Базовий варіант	Проектний варіант	Зміни у порівнянні з альтернативним варіантом	
					± (тис. грн)	%
1	2	3	4	5	6	7
1	Капітальні витрати	тис. грн.	-	584322	-	-
2	Експлуатаційні витрати	тис. грн.	-	58629	-	-
	у тому числі: * амортизаційні відрахування	тис. грн.	-	46729	-	-
	* технічне обслуговування та поточний ремонт	тис. грн.	-	58629	-	-
3	Річна економія всього	тис. грн.	-	62642	-	-
4	Розрахунковий коефіцієнт ефективності	долі од.	-	0.10	-	-
5	Розрахунковий термін окупності капітальних вкладень	років	-	9	-	-

### Висновок

В результаті виконання техніко-економічного аналізу був зроблений розрахунок вартості впроваджуваних проектів, які склали 58322 тис. грн. А також розрахована економічна ефективність від його впровадження. Було встановлено, що при використанні такої системи відбувається економія засобів і дана система окупається за 9 років, що не перевищує корисний термін використання обладнання, це говорить про ефективність впровадження даного проекту

## Висновки

У дипломному проекті розглянуто обґрунтування параметрів та режимів роботи гібридної сонячної електростанції для умов приватного будинку розташованого в Дніпропетровській області смт. Петропавлівка.

Проведений в першому розділі аналіз показав, що реалізація проектів по впровадженню відновлюваних джерел енергії в Україні є привабливою не тільки з точки зору екологічних параметрів, а й економічно. Використання «зеленого тарифу» дозволяє значно скоротити терміни окупності проектів по впровадженню ВДЕ, як для великих інвесторів, так і для дрібних індивідуальних господарств.

У зв'язку з тим, що основним завданням роботи є аналіз можливості забезпечити будинок сонячною електростанцією, була обрана саме гібридна сонячна електростанція. А також забезпечено 6-годинне автономне живлення основних приладів будинку.

Крім прямої економічної вигоди запропоноване впровадження гібридної електростанції надає позитивний вплив на екологію, що в сучасних умовах є не менш важливим показником.

## Перелік посилань

1. Луценко І.М., Кошеленко Є.В., Циган П.С. Методичні вказівки до самостійної роботи «Децентралізовані системи електропостачання».
2. Методичні вказівки до самостійної роботи «Децентралізовані системи електропостачання».
3. Гібридна сонячна електростанція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://solarsystem.com.ua/hybrid-solar-power/>.
4. Інтернет магазин «Сонячна енергія». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-panels/lr4-72hph-455m>
5. Сонячна енергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин; под ред. В.И. Виссарионова. М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.
6. Вибір інвертора для сонячних батарей. . [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://alfa.solar.ru/gibridnyj-setevoj-invertor-axioma-isgrid-15000-15kvt-id1067.html#:~:text=Axioma%>.
7. Інтернет магазин «Eco Energie». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecoenergie.com.ua/ru/product/akkumuljator-kijo-fepo4-12v200ah-lithium-iron-phosphate/>
8. Інтернет магазин «Powers needs control». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eti.ua/produksiya-ua/>.
9. Вибір системи кріплення. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://sun-energy.com.ua/solar-power/fastening/fastening\\_system\\_40fotomodules](https://sun-energy.com.ua/solar-power/fastening/fastening_system_40fotomodules).
10. Тарасенко А.Б., Киселева С.В. О выборе оптимального состава



гібридної енергетическої установки для ізолированного поселка // Альтернативная энергетика и экология. 2012. Вып., 02. С. 177-182.

11. Solar soul [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://solarsoul.net/raschet-solnechnoj-batarei>

12. Сонячна панель [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://www.solarroof.ru/products/6/36/%2036.Vitok>

13. Китаева, М.В. Аппаратно-программный комплекс для контроля оптимальной ориентации фотоэлектрических модулей на максимальный поток солнечного излучения: дис. канд. техн. наук: 05.11.13 / Китаева Мария Валерьевна. – Томск, 2014. – 139 с.

14. Технічна енциклопедія TechTrend . [Електронний ресурс]-Режим доступа: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=22969>

15. Л.С. Рибченко, Т.О. Ревера// Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні– с. 99-103.

16. Енергія Сонця. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy> .

17. Як влаштована гібридна сонячна електростанція [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://solar-tech.com.ua/ua/kak-ustroena-gibridnaya-solnechnaya-stanciya-2018-11-26.html> .

18. Принцип роботи та етапи встановлення гібридної сонячної електростанції [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://solarenergo.ua/uk/stati/princip-raboty-i-etapy-ustanovki-gibrdnoi-ses/> .

19. Альтернативні джерела енергії України: навч. посіб. / І.О.Ковальов,  
О.В. Ратушний. - Суми: Вид-во СумДУ, 2015. – 201 с.