Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури, будівництва та енергетики

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій
та енергетичного менеджменту

Шовковий Андрій Ростиславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК _____
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Аналіз можливостей використання надлишкової електроенергії приватних фотоелектричних станцій для
майнінгу криптовалют
(назва роботи)

Енергетичний менеджмент
(назва освітньої програми)

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

А.Р. Шовковий
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник доц. Чупа В.М.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

_____
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

_____
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут Архітектури, будівництва та енергетики

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджемнту

Освітній рівень Магістр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

_____

«____» _____20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз можливостей використання надлишкової електроенергії приватних фотоелектричних станцій для майнінгу криптовалют_____

_____

керівник роботи ____**доц. Чупа В.М.**_____,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "___"_____ 20__ року №_____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

_____

_____

_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

_____

_____

_____

_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

_____

_____

_____

_____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи		Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір теми магістерської роботи та обґрунтування її актуальності		до 19.09.2025	Виконано
2	Визначення об’єкта, предмета, мети, завдань та методів дослідження		до 04.10.2025	Виконано
3	Складання плану магістерської роботи		до 12.10.2025	Виконано
4	Пошук і відбір джерел відповідно до теми роботи, укладання переліку джерел		14.10.2025-21.10.2025	Виконано
5	Написання тексту магістерської роботи відповідно до її структури:		30.10.2025-21.11.2025	Виконано
	5.1	Розділ 1	30.10.2025-06.11.2025	Виконано
	5.2	Розділ 2	07.11.2025-15.11.2025	Виконано
	5.3	Розділ 3	16.11.2025-21.11.2025	Виконано
6	Написання вступної частини магістерської роботи		22.11.2025-24.11.2025	Виконано
7	Підготовка графічних матеріалів та елементів унаочення		25.11.2025-27.11.2025	Виконано
8	Формулювання висновків до магістерської роботи		28.11.2025-30.11.2025	Виконано
9	Оформлення остаточного переліку використаних джерел та додатків		01.12.2025-04.12.2025	Виконано
10	Оформлення магістерської роботи		05.12.2025-09.12.2025	Виконано
11	Внесення коректив та остаточне редагування		10.12.2025-12.12.2025	Виконано
12	Реєстрація магістерської роботи на кафедрі		12.12.2025-13.12.2025	Виконано
13	Захист магістерської роботи			Виконано

Студент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить 78 сторінок, 16 рисунків, 5 таблиць, 64 джерела, 3 додатки.

Об'єктом магістерської роботи є процеси генерації, розподілу та споживання електричної енергії в гібридних системах електропостачання приватних домогосподарств.

Мета роботи полягає у вирішенні науково-практичної задачі в галузі енергетичного менеджменту - розробці та техніко-економічному обґрунтуванні системи утилізації енергетичних надлишків приватних фотоелектричних станцій шляхом інтеграції обладнання для майнінгу криптовалют.

У ході виконання роботи було проведено аналіз сучасного стану ринку відновлюваної енергетики України та виявлено проблему неефективного використання пікової генерації СЕС. Проаналізовано статистичні дані роботи реального домогосподарства в Івано-Франківській області.

Визначено енергетичну ефективність використання ASIC-майнерів як інструменту балансування навантаження. Розроблено та обґрунтовано алгоритм роботи системи Smart Load на базі інверторів Deye, що дозволяє автоматично спрямовувати надлишки енергії на майнінг. Проведено техніко-економічний аналіз, який підтвердив доцільність впровадження запропонованих рішень для підвищення рентабельності СЕС.

Виконання всіх запропонованих рішень дозволяє трансформувати надлишкову енергію в ліквідний фінансовий актив та забезпечити додаткове джерело теплової енергії для домогосподарства.

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ГІБРИДНИЙ ІНВЕРТОР, МАЙНІНГ, ASIC, SMART LOAD, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, BITCOIN, NET BILLING.

ABSTRACT

Master's work contains 78 pages, 16 drawings, 5 tables, 64 references, 3 annexes.

The object of the master's thesis is the processes of generation, distribution, and consumption of electrical energy in hybrid power supply systems of private households.

The aim of the work is to solve a theoretical and practical problem in the field of energy management — the development and techno-economic justification of a system for utilizing excess energy from private photovoltaic stations by integrating cryptocurrency mining equipment.

In the course of the master's thesis, an analysis of the current state of the distributed generation market in Ukraine was conducted, identifying the problem of inefficient use of energy surpluses. Statistical data on generation and consumption of a real household were analyzed using Deye Cloud monitoring.

The energy efficiency of using ASIC miners as a controllable load was determined. An algorithm for automatic load control via the Smart Load port of a hybrid inverter was developed, allowing for maximization of self-consumption without compromising system autonomy. Measures for integrating thermal energy from mining into the heating system were proposed.

The implementation of all proposed solutions allows for reducing the payback period of the PV system and increasing the energy independence of the household.

Keywords: PHOTOVOLTAIC PLANT, HYBRID INVERTER, MINING, ASIC, SMART LOAD, ENERGY EFFICIENCY, NET BILLING.

ЗМІСТ

ВСТУП……..8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКУ ЗГЕНЕРОВАНОЇ ЕНЕРГІЇ……..……11
1.1. Сучасний стан та тенденції розвитку сонячної енергетики в Україні…..11
1.2. Регіональний аспект розвитку фотоелектричних станцій (на прикладі Івано-Франківської області)…….…14
1.3. Проблема вичерпання механізму «зеленого» тарифу та пошук альтернативних шляхів монетизації……15
1.4. Актуальність ринку криптовалют та його легалізація в Україні..……21
1.5. Техно-економічні основи майнінгу криптовалют як споживача електроенергії ……..……22
1.6. Огляд наукових досліджень щодо синергії фотоелектричних станцій та майнінгу……..……24
РОЗДІЛ 2 ЗБІР СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ З ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА…….……27
2.1. Теоретичні та практичні аспекти інтеграції фотоелектричних систем у приватні домогосподарства: Сучасний стан та перспективи……27
2.2. Технічна характеристика та аналіз апаратного забезпечення системи….29
2.3. Методологія збору, верифікації та первинної обробки даних...……34
2.4. Комплексний аналіз енергетичних режимів роботи домогосподарства...37
2.5. Аналіз можливості інтеграції ASIC-майнінгу…….……39
2.6. Рекомендації щодо експлуатації при низькій генерації……..40
2.7. Висновки до розділу…….……..…41
РОЗДІЛ 3 ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАЙНІНГУ: АРХІТЕКТУРНИЙ АНАЛІЗ, ЕНЕРГЕТИЧНА ІНТЕГРАЦІЯ ТА СЦЕНАРНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ……...43
3.1. Теоретичні основи функціонування ASIC-систем у контексті алгоритму SHA-256……...……...43

3.2. Підбір обладнання для Сценарію 1 (Гібридний, постійна робота): Antminer S19k Pro……..46
3.3. Підбір обладнання для Сценарію 2 (Бюджетний/Адаптивний): Antminer S9…….49
3.4. Порівняльна характеристика та висновки……51
3.5. Висновок до розділу……...54
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНО ЕФЕКТИВНИЙ ПЛАН РОЗРОБКИ РІШЕНЬ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКІВ ДЛЯ МАЙНИНГУ КРИПТОВАЛЮТИ……...55
4.1. Теоретико-методологічні засади інтеграції майнінгу в системи розподіленої генерації……..55
4.2. Деталізований аналіз енергетичного балансу та ідентифікація "мертвих зон" генерації…….56
4.3. Техніко-економічна характеристика майнінгового обладнання……...58
4.4. Технічна реалізація: План інтеграції з інверторами Deye……..61
4.5. Аналіз ризиків та нормативно-правове середовище 2025 року…….63
4.6. Висновки та рекомендації…….64
ВИСНОВКИ……...66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….....68
ДОДАТКИ…….....75

ВСТУП

Актуальність роботи

Сучасний етап експлуатації приватних фотоелектричних станцій (ФЕС) в Україні характеризується кризою традиційних механізмів державної підтримки та вичерпанням резервів пропускної здатності розподільчих мереж. Критичним фактором стає наближення терміну завершення дії «зеленого» тарифу, який донедавна слугував основним інвестиційним драйвером галузі. В умовах пікової інсоляції виникає стійкий дисбаланс, коли енергосистема технічно не здатна прийняти згенеровану потужність, що призводить до примусових обмежень видачі електроенергії. Для власників домогосподарств це означає прямі економічні збитки, масштаб яких є значним, враховуючи високу концентрацію приватних установок.

Існуючі регуляторні ініціативи, такі як «Net Billing» та механізм «Активного споживача», орієнтовані насамперед на покриття власного споживання, а не на генерацію прибутку, що знижує інвестиційну привабливість СЕС. Водночас, законодавче врегулювання ринку віртуальних активів в Україні відкриває нові можливості для використання енергоємних обчислень. Технологія майнінгу на алгоритмі Proof-of-Work, рентабельність якої корелює з вартістю електроенергії, може виступати ефективним споживачем-регулятором. У цьому контексті науково-практичне завдання щодо конвертації надлишкової, «втраченої» енергії у ліквідний цифровий актив набуває особливої актуальності.

Розробка моделі використання надлишків генерації дозволить сформувати стратегію для власників ФЕС, спрямовану на утилізацію енергоресурсів та мінімізацію фінансових ризиків. Це забезпечить об'єктивну оцінку енергоефективності приватних станцій у період після 2030 року.

Мета і задачі дослідження

Мета роботи полягає у вирішенні науково-практичної задачі в галузі енергетичного менеджменту домогосподарств - в дослідженні економічної

ефективності використання надлишкової електроенергії приватних ФЕС для майнінгу криптовалют шляхом розрахунку прибутковості та порівняння її з альтернативними регуляторними механізмами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати поточний стан ринку приватних ФЕС в Україні (на прикладі Івано-Франківської області) та ідентифікувати фундаментальну проблему вичерпання механізму «зеленого» тарифу і виникнення надлишкової генерації;
- розглянути техніко-економічні засади майнінгу криптовалют (Proof-of-Work) та оцінити актуальність ринку цифрових активів з огляду на його легалізацію в Україні;
- провести порівняльний аналіз нових регуляторних механізмів («Net Billing», «Активний споживач») як альтернативних шляхів використання надлишків електроенергії;
- розробити та обґрунтувати техно-економічну модель, що дозволяє власнику ФЕС розрахувати та порівняти потенційну прибутковість від спрямування надлишків енергії на майнінг проти її продажу в мережу;
- провести техніко-економічний аналіз запропонованих рішень та оцінити їх рентабельність для типового домогосподарства.

Об’єктом дослідження є процеси, внаслідок дії яких виникає надлишкова генерація електроенергії на приватних фотоелектричних станціях, та економічні відносини щодо її подальшої монетизації.

Предметом досліджень є визначення економічної ефективності використання надлишків електроенергії приватних ФЕС шляхом розрахунку та порівняння прибутковості від майнінгу криптовалют з потенційними доходами від альтернативних механізмів.

Методи дослідження

При дослідженні використовуються сучасні методики, прийняті в практиці проведення техніко-економічного аналізу енергетичних проєктів, методи аналізу та оброблення статистичних даних, методики розрахунку

прибутковості майнінгу криптовалют, порівняльний аналіз регуляторних актів у сфері ВДЕ та віртуальних активів, методи економічного моделювання та оцінки інвестицій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- набула подальшого розвитку методика техніко-економічної оцінки утилізації надлишкової генерації приватних ФЕС шляхом включення до аналізу майнінгу криптовалют як легального, ринкового та «гнучкого» (fully discretionary) навантаження;
- набув подальшого розвитку підхід до порівняльного аналізу механізмів монетизації («Net Billing», «Активний споживач») шляхом введення моделі майнінгу як прямої ринкової альтернативи, що враховує реальні тарифи на електроенергію та нове податкове законодавство України у сфері віртуальних активів;
- набули подальшого розвитку принципи побудови систем енергетичного менеджменту для приватних домогосподарств шляхом обґрунтування моделі, що дозволяє перетворювати «проблемний» локальний надлишок енергії на високоліквідний глобальний цифровий актив.

Практичне значення одержаних результатів

Впровадження запропонованої техно-економічної моделі дозволить тисячам власників приватних ФЕС отримати практичний інструмент для обґрунтованого вибору найбільш прибуткового та надійного способу утилізації надлишкової електроенергії. Це дасть змогу підвищити рентабельність інвестицій у сонячну генерацію та мінімізувати фінансові втрати в умовах поступового завершення дії «зеленого» тарифу та технічних обмежень енергомереж.

Апробація результатів роботи

Шовковий А. Р. Аналіз можливостей використання надлишкової електроенергії приватних фотоелектричних станцій для майнінгу криптовалют / А. Р. Шовковий // International Electronic Scientific and Practical Journal «WayScience». - 2025.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКУ ЗГЕНЕРОВАНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1. Сучасний стан та тенденції розвитку сонячної енергетики в Україні

Аналіз стану вітчизняного енергетичного ринку у 2024-2025 роках вказує на те, що попри дестабілізуючий вплив воєнного стану та макроекономічну невизначеність, сектор сонячної енергетики зберігає позитивну динаміку розвитку [1]. Характерною рисою цього періоду стала структурна переорієнтація на об'єкти розподіленої генерації, що підвищує стійкість енергосистеми. Згідно зі статистичними даними, протягом 2024 року потужність національної енергосистеми було збільшено на 800-850 МВт саме за рахунок введення в експлуатацію нових сонячних електростанцій [2]. Стійкий тренд до нарощування потужностей спостерігається і в першому півріччі 2025 року: із загального обсягу нової генерації, що склав 590 МВт, частка сонячних станцій перевищила 100 МВт, підтверджуючи стратегічну важливість цього напрямку [3] (рис 1.1).

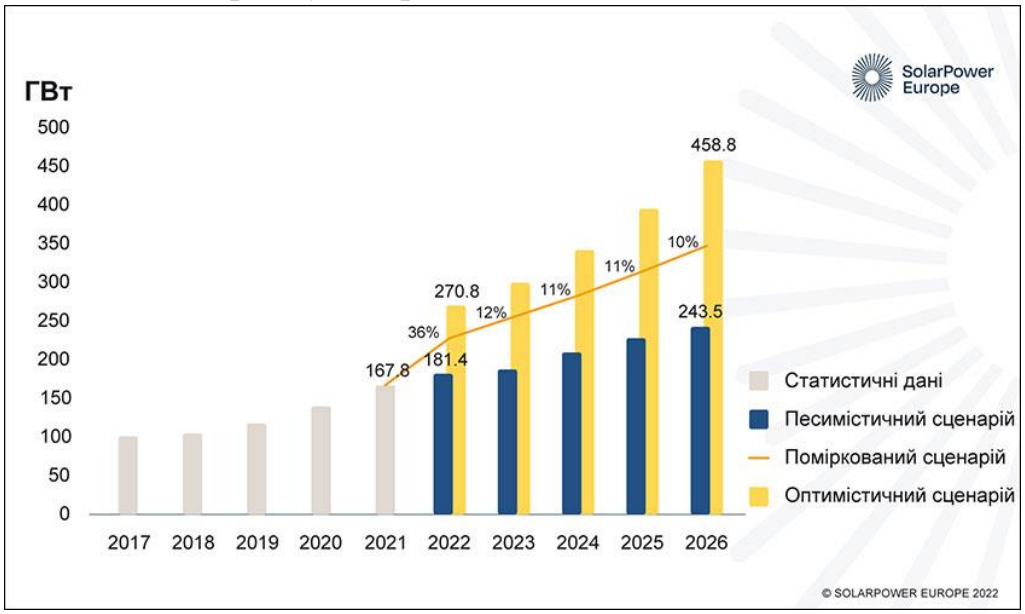


Рисунок 1.1 - Графік генерації СЕС в Україні

Принциповою відмінністю поточної фази розвитку ринку від періоду інтенсивного зростання 2017-2020 років є трансформація мотиваційної

парадигми споживачів. Якщо на попередніх етапах визначальним стимулом слугувала висока ставка «зеленого» тарифу, що гарантувала швидке повернення інвестицій через продаж генерації державі [14], то на сучасному етапі пріоритети змістилися у площину енергетичної безпеки та економічної раціональності. Ключовими драйверами попиту у 2024-2025 роках виступають суттєве підвищення ринкових тарифів на електроенергію, ризики порушення стабільності централізованого енергопостачання внаслідок воєнних дій, а також стратегічне прагнення суб'єктів господарювання та домогосподарств до оптимізації операційних витрат і досягнення енергонезалежності [8; 47].

Зазначена переорієнтація з моделі «інвестування задля спекулятивного прибутку» на модель «інвестування задля безпеки та енергоефективності» отримала системну підтримку з боку держави. Зокрема, впровадження механізмів пільгового кредитування та тимчасове скасування фіскальних навантажень (імпортних мит і ПДВ) на енергетичне обладнання створили сприятливе інвестиційне середовище [47]. У сукупності ці фактори призвели до суттєвого покращення економічних показників проєктів СЕС для власного споживання: за експертними оцінками, термін їх окупності скоротився до економічно привабливого рівня 5-7 років [19].

Разом з тим, утвердження нової парадигми розвитку розподіленої енергетики неминуче актуалізує системну проблему технічного характеру, пов'язану з балансуванням потужностей. Специфіка фотоелектричної генерації зумовлює її стохастичність та виражену добову нерівномірність: основний обсяг виробітку енергії концентрується у часовому проміжку високої інсоляції (11:00-16:00) (рис 1.2). Зазначений профіль генерації перебуває у фазовому розсинхроні з типовими графіками електричного навантаження більшості домогосподарств та комерційних споживачів, піки споживання яких традиційно припадають на ранкові та вечірні години [44]. В умовах, коли встановлена потужність СЕС розраховується виходячи з потреб повного енергозабезпечення об'єкта, у години максимальної сонячної активності формується суттєвий профіцит електроенергії. Оскільки локальне

навантаження не здатне миттєво утилізувати ці надлишки, виникає необхідність у пошуку ефективних механізмів їх використання або акумуляції.

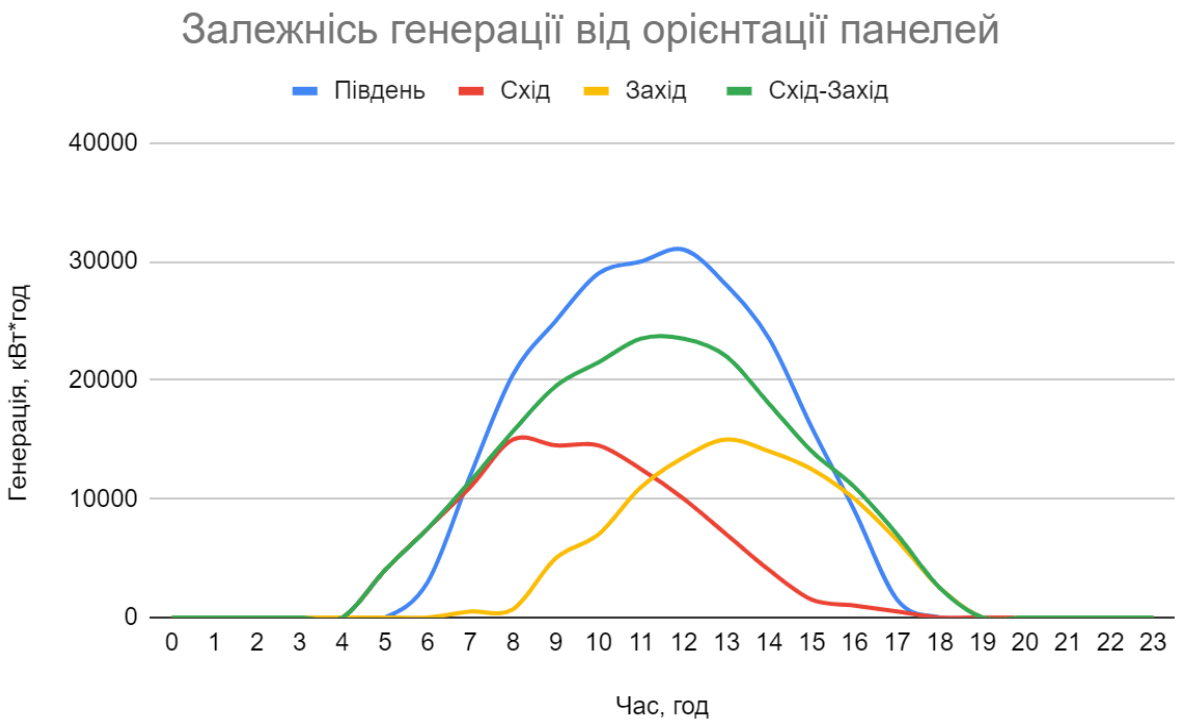


Рисунок 1.2 - Залежність генерації від часу доби та орієнтації панелей

У системному вимірі це призводить до того, що кожен новий об'єкт розподіленої генерації, введений в експлуатацію у 2024-2025 роках з метою забезпечення енергетичної автономності окремого домогосподарства, де-факто трансформується у джерело нерегульованого профіциту потужності в денний період. Варто враховувати, що технічний потенціал лише дахових (rooftop) фотоелектричних установок в Україні оцінюється у понад 230 ГВт [11]. Освоєння навіть незначної частки цього ресурсного потенціалу без впровадження компенсуючих заходів створить критичне навантаження на диспетчеризацію та загрожуватиме балансовій надійності об'єднаної енергосистеми (ОЕС) [48]. Така ситуація вимагає кардинального перегляду підходів до інтеграції ВДЕ та актуалізує потребу в розробці інноваційних механізмів локальної утилізації надлишків генерації безпосередньо в точці їх виникнення [39].

1.2. Регіональний аспект розвитку фотоелектричних станцій (на прикладі Івано-Франківської області)

Тенденції, окреслені на загальнонаціональному рівні, знаходять яскраве підтвердження та навіть посилення у регіональному зрізі. Івано-Франківська область історично є одним із лідерів України у впровадженні відновлюваних джерел енергії, зокрема у сегменті приватних (домашніх) сонячних електростанцій (ДЕС) [63].

Згідно з офіційними даними, оприлюдненими у лютому 2025 року, на території Івано-Франківської області функціонує 156 промислових сонячних електростанцій, загальна потужність яких сягає 263 МВт. Однак ще більш показовим є сегмент приватної генерації: в області налічується 5290 приватних СЕС. За цим показником регіон посідає третє місце в Україні, демонструючи надзвичайно високу залученість домогосподарств у процеси «зеленої» генерації [12] (рис. 1.3).

Рисунок 1.3 - Кількість СЕС за областями України

Для коректного розуміння масштабів проблеми, яку досліджує ця магістерська робота, критично важливою є динаміка зростання. Порівняльний аналіз статистичних даних показує вибуховий характер цього росту. Якщо станом на 1 січня 2022 року на Прикарпатті функціонувало 3175 приватних генерацій загальною потужністю 87 МВт, то вже на початок 2025 року їх кількість зросла до 5290 [12; 63].

Це означає, що лише за три роки (2022, 2023, 2024), більша частина яких припала на період повномасштабної війни та енергетичного терору з боку агресора, кількість приватних СЕС в області зросла на 2115 одиниць, або на 66.6%. Такий стрімкий ріст у найбільш кризовий період новітньої історії України однозначно підтверджує висновок, зроблений у попередньому підрозділі: ключовим драйвером є не гонитва за прибутком від «зеленого» тарифу, а життєва необхідність в забезпеченні енергетичної безпеки, стабільності та автономності власного домогосподарства [8].

Таким чином, Івано-Франківська область є ідеальним регіональним полігоном для даного дослідження. Проблема утилізації надлишкової електроенергії тут є не теоретичною чи майбутньою, а гострою практичною задачею, з якою щодня стикаються тисячі (5290) власників СЕС. Розробка ефективної техно-економічної моделі монетизації цих надлишків має в цьому регіоні пряму та високу практичну цінність.

1.3. Проблема вичерпання механізму «зеленого» тарифу та пошук альтернативних шляхів монетизації

Механізм «зеленого» тарифу, що тривалий час виконував функцію головного інституційного драйвера розвитку відновлюваної енергетики в Україні, забезпечуючи інвесторам та домогосподарствам гарантований збут генерації за фіксованою ставкою, станом на 2025 рік вичерпав свій стимулюючий потенціал [14]. Натомість, галузь увійшла у фазу системної кризи, що вимагає від власників сонячних електростанцій (СЕС) перегляду бізнес-моделей. Декомпозиція цієї кризи дозволяє виділити три взаємопов'язані площини: нормативно-правову, фінансово-економічну та технічну.

Нормативно-правовий аспект визначається часовими рамками законодавчих гарантій. Для переважної більшості діючих об'єктів приватна генерація втрачає право на державну підтримку у 2030 році [10]. Паралельно відбувається законодавча регресія тарифних ставок для нових об'єктів.

Зокрема, для СЕС, введених в експлуатацію у 2025 році, ставка зафіксована на рівні 0,132 євро/кВт·год, а для черги 2026-2029 років — 0,14 євро/кВт·год [10]. Така динаміка, на фоні обмеженого горизонту планування (до 2030 року), створює зону високої невизначеності для інвестиційних проєктів із розрахунковим терміном окупності 5-7 років.

Фінансово-економічна складова кризи набула критичної гостроти у поточному періоді. Ретроспективний аналіз 2023-2024 років фіксує хронічну проблему дефіциту ліквідності у розрахунках ДП «Гарантований покупець» [3]. Власники домашніх СЕС опинилися в умовах, коли рівень фактичних розрахунків за відпущену електроенергію знижувався до критичних позначок (36% від нарахованих сум), що призвело до накопичення багатомільярдних боргів перед виробниками. Це сформувало парадоксальну ситуацію: за наявності юридично закріплених високих тарифів, де-факто генерація не забезпечувала очікуваного грошового потоку.

Технічний аспект є найбільш критичним бар'єром для подальшого функціонування моделі. Об'єднана енергосистема України, і особливо її розподільчий сегмент (мережі обленерго), виявилася неадаптованою до масової інтеграції децентралізованих джерел зі стохастичним графіком генерації [6; 17]. У періоди пікової інсоляції, особливо в енергопрофіцитних енерговузлах, виникає дисбаланс, коли сумарна генерація перевищує попит та пропускну здатність перетинів [52]. Наслідком цього стають адміністративні заходи з боку Операторів системи розподілу (ОСР) у вигляді примусового обмеження видачі потужності (curtailment) для запобігання аварійним режимам. Для власника СЕС це означає прямі втрати виробітку (lost opportunity), оскільки енергія не лише не монетизується, але й фізично не генерується через блокування інверторів [39].

Сукупність зазначених факторів свідчить про те, що «зелений» тариф втратив статус надійного інструменту монетизації. СЕС, яка генерує ресурс, що неможливо реалізувати через неплатоспроможність ринку або технічні обмеження мережі, трансформується з дохідного активу в пасив, що потребує

витрат на утримання. Це створює об'єктивні передумови для переходу до концепції on-site utilization — утилізації надлишків безпосередньо в точці генерації, що дозволяє усунути залежність від стану зовнішньої мережі та фінансової дисципліни державних контрагентів [42].

У відповідь на кризу «зеленого» тарифу ринок пропонує власникам СЕС декілька очевидних альтернативних рішень. Проте, як показує аналіз, жодне з них не вирішує повною мірою завдання саме монетизації надлишку для приватного домогосподарства.

Альтернатива 1: Системи акумуляції енергії (BESS)

Найбільш технологічно логічним рішенням є встановлення акумуляторних батарей (BESS - Battery Energy Storage Systems) (рис. 1.4). Принцип їхньої роботи полягає у накопиченні надлишкової електроенергії, згенерованої вдень, для її подальшого використання для власних потреб у вечірній та нічний час, або під час відключень [44; 57]. Це дозволяє власнику СЕС досягти максимального рівня енергетичної незалежності та автономності.

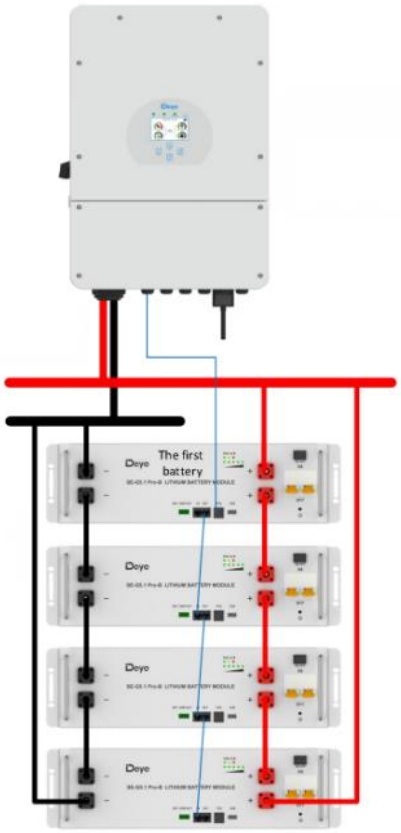


Рисунок 1.4 - Система акумуляції енергії

На ринку 2025 року домінують безпечні та довговічні літій-залізо-фосфатні (LiFePO4) акумулятори від таких популярних брендів, як Deye, Pylontech, Must та Felicitysolar [50].

Однак, з точки зору економіки, BESS не є механізмом монетизації. Це - значні додаткові капітальні витрати. Вартість системи зберігання енергії ємністю 5 кВт·год станом на 2025 рік коливається в діапазоні від 42 840 грн (наприклад, Must LP16-48100) до 73 130 грн (наприклад, Pylontech US5000) [50]. Таким чином, акумуляторна батарея вирішує проблему безпеки та самоспоживання (що є ключовим драйвером, як визначено в 2.1), але не вирішує проблему отримання доходу з надлишку, який залишається навіть після повної зарядки BESS.

Альтернатива 2: Продаж на вільному ринку (трейдерам)

Іншою ринковою моделлю є прямий продаж надлишкової електроенергії приватним енергетичним компаніям (трейдерам) за вільними ринковими цінами. Низка компаній, як-от KENK, у 2025 році активно пропонують послуги викупу надлишків у підприємств, що мають власні СЕС. Вони пропонують гнучкі моделі ціноутворення: фіксована ціна, прив’язка до ринку або погодинний тариф [51].

Проте аналіз цих пропозицій свідчить, що ця модель орієнтована виключно на юридичних осіб. Цільовою аудиторією трейдерів є «промислові підприємства з СЕС», «сільськогосподарські кооперативи» та «будь-який бізнес, що виробляє більше, ніж споживає» [10]. Для приватного домогосподарства (як-от 5290 в Івано-Франківській області) технічні, бюрократичні та юридичні бар’єри для отримання статусу учасника ринку електроенергії та укладання прямих договорів з трейдерами є практично нездоланними [6]. Ця альтернатива є недоступною для досліджуваної в роботі категорії власників СЕС.

Розуміючи вичерпання моделі «зеленого» тарифу, держава запропонувала нові регуляторні механізми, покликані інтегрувати приватну генерацію в ринок на нових засадах. Однак ці механізми фундаментально

змінюють економічну парадигму: вони спрямовані не на отримання прибутку власником СЕС, а на компенсацію його власного споживання [18].

Альтернатива 3: Механізм «Активний споживач»

Цей механізм, введений у 2023 році, дозволяє власнику СЕС виробляти енергію для власних потреб, а надлишок продавати у мережу [7]. Важливою умовою є те, що продаж енергії не може бути основною господарською діяльністю.

Економічна доцільність цього механізму, однак, є сумнівною. Наукове моделювання, проведене у ВНТУ, демонструє, що для ефективного продажу енергії (наприклад, у вечірні пікові години, коли ціна вища) власнику необхідна система BESS [18]. З урахуванням високих капітальних витрат на акумулятори та неминучих втрат на перетворення (заряд-розряд), які можуть сягати 20-25%, кінцевий дохід від продажу енергії за цим механізмом виявляється суттєво нижчим не лише за «зелений» тариф, але й за потенційний дохід від майнінгу.

Альтернатива 4: Механізм «Net Billing» (Чистий облік)

Це - ключова система, яка впроваджується в Україні на заміну «зеленому» тарифу для нових станцій [10]. Її принцип докорінно відрізняється від ЗТ. Коли приватна СЕС генерує надлишок і віддає його в мережу, власнику на спеціальний рахунок нараховується грошовий еквівалент (кредит) цієї енергії за ринковою ціною на момент віддачі. Потім, коли домогосподарство споживає енергію з мережі (наприклад, вночі), вартість цієї енергії списується з накопиченого грошового кредиту [18].

Ключовий економічний аспект цієї моделі полягає в тому, що це, по суті, механізм з нульовим прибутком (zero-profit). Власник СЕС віддає енергію в мережу вдень, коли через надлишок сонячної генерації по всій країні ринкова ціна на електроенергію є мінімальною [51]. А споживає енергію з мережі вранці та ввечері, коли ціна є максимальною. Таким чином, система «Net Billing» розрахована на те, щоб власник СЕС міг обнулити свій рахунок за електроенергію, але вона не передбачає можливості отримання значного

чистого прибутку (тобто «живих» грошей) за згенеровані надлишки, як це було реалізовано в «зеленому» тарифі [18].

Для візуалізації та систематизації проведеного аналізу, у Таблиці 1.1 наведено порівняльну характеристику розглянутих альтернатив з точки зору їх придатності для монетизації надлишків приватним домогосподарством.

Таблиця 1.1. Порівняльний аналіз альтернативних методів використання надлишкової електроенергії для власників приватних СЕС

Механізм	**Принцип роботи**	**Економічна модель**	**Доступність для домогосподарств**	**Ключовий недолік (для монетизації)**
«Зелений» тариф	Продаж всієї надлишкової енергії державі за гарантованим високим тарифом.	**Високий прибуток** (теоретично).	Висока (для існуючих станцій).	**Ненадійність**: невиплати з боку держави та технічні обмеження (відключення) мережі.
Системи BESS (Акумуляція)	Накопичення денного надлишку для власного споживання вночі.	**Додаткові витрати**.	Висока (пряма купівля).	**Не є механізмом монетизації.** Це інвестиція в енергонезалежність, а не в дохід.
Продаж на вільному ринку	Продаж надлишку приватним трейдерам за ринковими цінами.	Прибуток (залежить від ринку).	**Нульова.** Модель орієнтована виключно на бізнес та промислових виробників.	
«Активний споживач»	Продаж надлишку в мережу за ринковою ціною (часто з BESS).	**Дуже низький прибуток.**	Середня (вимагає BESS та процедур).	Низька дохідність через високі капітальні витрати на BESS та втрати на перетворення.
«Net Billing»	Взаємозалік (грошовий кредит) за ринковою ціною для оплати майбутнього споживання.	**Нульовий прибуток (за задумом).**	Висока (для нових станцій).	Механізм призначений для *обнулення рахунків* за енергію, а не для отримання чистого доходу.

Аналіз, узагальнений у Таблиці 1.1, чітко демонструє наявність «дослідницького пробілу». Жодна з існуючих чи пропонованих державою альтернатив не надає тисячам власників приватних СЕС життєздатного,

надійного та економічно привабливого механізму саме монетизації надлишків згенерованої енергії. Це створює об'єктивну необхідність у пошуку принципово інших, нетрадиційних рішень [39].

1.4. Актуальність ринку криптовалют та його легалізація в Україні

Поки традиційний, регульований державою енергетичний ринок пропонує власникам СЕС дедалі менш привабливі та більш ризиковані умови, паралельно в Україні та світі відбувається стрімкий розвиток та інституціоналізація альтернативного ринку - ринку цифрових активів [58].

Станом на 2025 рік ринок криптовалют демонструє ознаки відновлення та досягнення нового рівня зрілості після кризових періодів. Попри неминучі короткострокові корекції та високу волатильність, загальна капіталізація ринку демонструє тенденцію до зростання, підкріплену припливом інституційних інвестицій та посиленням регуляторної ясності на ключових ринках [59] (рис. 1.5).

Рисунок 1.5 - Графік зміни ціни Bitcoin протягом 2021-2025 р.

Флагманським активом залишається Bitcoin (BTC), який у 2025 році оновив історичні максимуми, а його частка ринкового домінування сягнула 65%, найвищого рівня з 2021 року [46].

Для теми даної магістерської роботи ключовою подією є не стільки

зростання цін, скільки процес легалізації ринку криптовалют в Україні. Цей процес переводить потенційне рішення з «сірої» зони у площину легальної, оподатковуваної економічної діяльності.

Вирішальним кроком у цьому напрямку стала реєстрація у Верховній Раді у квітні 2025 року комплексного законопроєкту №10225-д «Про внесення змін до Податкового кодексу України... щодо врегулювання обігу віртуальних активів» [4]. Цей законопроєкт, прийняття якого очікується до кінця 2025 року, створює чітку та прозору систему оподаткування операцій з віртуальними активами.

Згідно з положеннями законопроєкту, з 1 січня 2026 року вводиться зрозумілий механізм декларування та оподаткування доходів [4]. Передбачено пільговий («амністійний») період у 2026 році зі ставкою податку на доходи фізичних осіб (ПДФО) у 5%. З 1 січня 2027 року доходи від операцій з криптоактивами будуть оподатковуватися на загальних підставах за ставкою 18% ПДФО та 5% військового збору [4; 5].

Таким чином, потенційне зауваження до теми даної роботи щодо її «несерйозності» або «нелегальності» повністю спростовується. Аналіз проводиться в контексті ринку, що саме зараз проходить етап повної легалізації [65]. Це перетворює майнінг з розряду «гаражного хобі» на потенційний, легальний та оподатковуваний бізнес-процес для власника СЕС.

Більше того, це дозволяє власнику диверсифікувати ризики. Замість того, щоб залежати від платоспроможності локального Гарантованого покупця або низьких цін на українському ринку РДН, власник СЕС отримує можливість конвертувати свою локально згенеровану енергію (кВт·год) у високоліквідний глобальний актив (BTC), ціна якого визначається попитом у США, Європі та Азії [31; 64].

1.5. Техно-економічні основи майнінгу криптовалют як споживача електроенергії

Для того, щоб оцінити доцільність синергії СЕС та майнінгу, необхідно

проаналізувати техно-економічні особливості останнього. Майнінг криптовалют, що працюють на алгоритмі консенсусу Proof-of-Work (PoW), є процесом використання значних обчислювальних потужностей для вирішення складних криптографічних задач [23]. Цей процес є життєво необхідним для функціонування мережі (наприклад, Bitcoin): він підтверджує та верифікує транзакції, запобігає подвійним витратам та забезпечує децентралізований випуск нових монет. За свою роботу (тобто витрачені обчислювальні ресурси та електроенергію) майнери отримують винагороду у вигляді нових монет та комісій за транзакції [23].

Ключовою та загальновизнаною особливістю PoW-майнінгу є його надзвичайна енергоємність. Цей процес вимагає величезних обсягів електроенергії; за деякими оцінками, лише мережа Bitcoin станом на 2025 рік споживає близько 10 ГВт електричної потужності, що перевищує споживання багатьох країн [28].

Внаслідок цього, вартість електроенергії є не просто однією зі статей витрат, а визначальним фактором економічної прибутковості майнінгу. В умовах високої конкуренції, яка особливо загострилася після «халвінгу» Bitcoin у 2024 році (що зменшило винагороду за блок вдвічі), ринок майнінгу перетворився на «гру з нульовою сумою», де виживають і отримують прибуток лише ті оператори, що мають доступ до над дешевої електроенергії [27]. Аналітики оцінюють, що при вартості електроенергії в діапазоні $0.04-$0.06 за кВт·год, рентабельність майнінгу BTC може сягати 71%, але при вищих тарифах маржинальність стрімко падає до нуля або стає від'ємною [40].

Обладнання для майнінгу можна розділити на два основні типи:

1. **ASIC (Application-Specific Integrated Circuit):** Це спеціалізовані пристрої, «заточені» під виконання одного конкретного алгоритму (наприклад, SHA-256 для Bitcoin) [45]. Типовим представником є лінійка Bitmain Antminer S19. Вони характеризуються найвищим хешрейтом (обчислювальною потужністю) та високою енергоефективністю, але водночас і високим абсолютним споживанням. Наприклад, стандартна модель Antminer

S19 споживає близько 3250 Вт (3.25 кВт) [25].

2. **GPU (Graphics Processing Unit):** Це звичайні відеокарти, які використовуються для майнінгу альткоїнів, чиї алгоритми (напр., Equihash для Zcash) є стійкими до ASIC. Цей варіант є більш гнучким, але, як правило, менш прибутковим та енергоефективним у перерахунку на 1 Вт, ніж ASIC-майнінг флагманських валют.

Ці техно-економічні особливості створюють унікальну синергію. «Проблема» майнінгу (потреба в дешевій енергії) є «рішенням» для власника СЕС (який має надлишкову енергію з маржинальною вартістю, близькою *до нуля*) [39; 42]. У той час, як промислові майнери борються за тарифи $0.04/кВт·год, власник СЕС, чия альтернатива - це примусове відключення або нульовий прибуток від Net Billing, де-факто має нульову вартість надлишкових кВт·год. Це робить його абсолютно конкурентоспроможним на глобальному ринку майнінгу.

З технологічної точки зору, ASIC-майнер, як-от Antminer S19, є ідеальним «навантаженням в коробці». Його потужність у 3.25 кВт ідеально корелює з потужностями типових приватних СЕС (5-30 кВт), дозволяючи гнучко поглинати надлишки генерації, миттєво перетворюючи «проблемні» кіловат-години на високоліквідний цифровий актив [45].

1.6. Огляд наукових досліджень щодо синергії фотоелектричних станцій та майнінгу

Ідея використання ВДЕ для живлення енергоємного майнінгу не є новою та активно досліджується в академічній спільноті, яка розглядає цю синергію як шлях до вирішення одразу двох проблем: вуглецевого сліду криптовалют та економічної нестабільності «зеленої» генерації [30; 32].

Екологічний аспект. Значна частина досліджень присвячена екологічним наслідкам PoW. Використання відновлюваної, зокрема сонячної, енергії для майнінгу розглядається як прямий шлях до «декарбонізації» блокчейн-індустрії та її переходу до моделі стійкого розвитку (sustainability)

[30; 35]. Дослідники описують цю синергію як таку, що здатна створити «доброчесні економічні цикли» (virtuous economic cycles), де «чиста» енергія підтримує децентралізовану економіку, і навпаки [34].

Техно-економічний аспект. Низка техно-економічних досліджень підтверджує, що спільне розміщення (co-deployment) фотоелектричних систем та майнінгового обладнання суттєво покращує загальну економіку проєкту [39; 42]. Моделювання показує, що майнінг, який використовує виключно надлишкову (або «відсічену» - curtailed) енергію, генерує життєздатний прибуток у різноманітних географічних та ринкових умовах [64]. Одне з українських досліджень, проведене на базі ВНТУ, безпосередньо порівнює економічну ефективність використання надлишків малої ДЕС для майнінгу, продажу за ЗТ та за тарифом «активний споживач» [37]. Висновки показують, що майнінг є значно прибутковішим за модель «активного споживача» та економічно конкурентоспроможним із «зеленим» тарифом, особливо з урахуванням ризиків невиплат за останнім.

Концепція «Гнучкого навантаження» (Flexible Load). Це ключова академічна концепція, що лежить в основі даної синергії. На відміну від традиційних промислових споживачів або дата-центрів, які мають працювати 24/7, майнінгове обладнання є унікальним типом навантаження: воно є «повністю дискреційним» (fully discretionary) [53]. ASIC-майнер можна увімкнути або вимкнути за долі секунди без жодних технічних чи економічних збитків, окрім втраченої можливості майнінгу в цей конкретний момент.

Ця гнучкість перетворює майнінг з «паразита» енергосистеми на її «симбіота» або навіть інструмент балансування. Ця концепція вже реалізована на практиці. В Техасі, в мережі оператора ERCOT, великі майнінг-ферми офіційно класифікуються як «Великі гнучкі навантаження» (Large Flexible Loads, LFL) [43]. Вони є повноцінною частиною енергоринку і отримують плату від оператора системи за те, що припиняють споживання (тобто вимикають майнери) під час годин пікового попиту на енергію в мережі, тим самим допомагаючи запобігти блекаутам.

Для приватного домогосподарства в Україні ця концепція працює в мікромасштабі: майнінгове обладнання може автоматично вмикатися лише тоді, коли генерація СЕС перевищує власне споживання та зарядку BESS, і миттєво вимикатися, коли з'являється хмара або вмикається потужний побутовий прилад. Це дозволяє утилізувати 100% надлишків без жодного негативного впливу на мережу чи власне домогосподарство [53].

РОЗДІЛ 2
ЗБІР СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ З ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА

2.1. Теоретичні та практичні аспекти інтеграції фотоелектричних систем у приватні домогосподарства: Сучасний стан та перспективи

В умовах глобальної трансформації енергетичного ринку та переходу до парадигми сталого розвитку, роль приватних домогосподарств зазнає фундаментальних змін [11]. Із пасивних споживачів електричної енергії вони еволюціонують у активних учасників енергосистеми, які не лише споживають, але й генерують, накопичують та розподіляють енергетичні ресурси. Для України цей процес набуває особливого, екзистенційного значення. В умовах перманентної загрози енергетичній інфраструктурі та нестабільності централізованого енергопостачання, децентралізована генерація на базі приватних сонячних електростанцій (СЕС) стає гарантом енергетичної безпеки та автономності [16].

Приватні домогосподарства, обладнані фотоелектричними перетворювачами, стикаються з проблемою стохастичності генерації. Сонячна енергія, як первинне джерело, характеризується високою мінливістю, що залежить від астрономічних факторів (пора року, час доби) та метеорологічних умов (хмарність, температура, опади) [49]. Це створює класичний дисбаланс між графіком генерації, пік якої припадає на полудень, та графіком споживання домогосподарства, який традиційно має ранкові та вечірні максимуми [19].

Історично, механізмом балансування виступала зовнішня електрична мережа через систему «Зеленого тарифу». Проте, зі зменшенням ставок тарифу та наближенням терміну завершення державної підтримки відновлюваної енергетики, виникає гостра потреба в оптимізації власного споживання. Ефективність сучасної СЕС визначається не стільки кількістю

згенерованих кіловат-годин, скільки здатністю системи ефективно утилізувати цю енергію в межах домогосподарства або перетворити її на ліквідний актив [44].

Саме тут виникає науково-практична задача інтеграції керованого навантаження, такого як майнінг криптовалют, у структуру споживання приватного будинку. Криптовалютне обладнання (ASIC-майнери або GPU-ріги) представляє собою унікальний тип навантаження з абсолютною еластичністю по часу та постійною потужністю, що робить його ідеальним інструментом для зрізання піків генерації та заповнення провалів у споживанні [37].

Однак, для коректного проєктування такої системи необхідний глибокий, емпіричний аналіз реальних даних роботи існуючих СЕС. Теоретичні моделі часто не враховують локальних особливостей, поведінкових факторів мешканців та технічних обмежень інверторного обладнання. Тому цей розділ присвячено детальному опису апаратної частини досліджуваного об'єкта, збору статистичних масивів даних щодо генерації та споживання, а також їх аналітичній обробці для виявлення потенціалу впровадження майнінгових потужностей. Дослідження базується на реальних даних, отриманих з об'єкта в Івано-Франківській області, що дозволяє врахувати кліматичні особливості Прикарпаття.

Ключовим вузлом досліджуваної системи є гібридний інвертор, який поєднує в собі функції мережевого інвертора, зарядного пристрою для акумуляторних батарей (АКБ) та системи управління енергією (EMS) [20]. На відміну від класичних схем, гібридні інвертори дозволяють реалізувати стратегію, де пріоритетом є забезпечення локального навантаження, а не експорт у мережу. Це є визначальним фактором для майнінгу, оскільки вартість електроенергії з мережі часто перевищує вартість власної генерації, що робить пряме використання сонячної енергії економічно доцільним.

У контексті даного дослідження розглядається типова архітектура приватного домогосподарства, розташованого в помірній кліматичній зоні, де

сезонність відіграє критичну роль. Взимку генерація може падати до 10-15% від номінальної потужності, тоді як влітку виникає значний профіцит енергії, який часто обмежується пропускною здатністю мережі або умовами договору з розподільчою компанією (обмеження на експорт). Саме цей профіцит, який інакше був би втрачений або проданий за низьким тарифом, є об'єктом дослідження як джерело живлення для майнінгу.

Впровадження майнінгу як керованого навантаження вимагає детального аналізу статистичних даних. Необхідно не просто знати сумарну генерацію за місяць, а розуміти хвилинні та годинні профілі потужності. Різкі стрибки споживання побутових приладів (електрочайники, бойлери, індукційні плити) на фоні плаваючої генерації можуть призводити до короткочасного забору енергії з мережі або циклування АКБ, що впливає на ресурс обладнання [57].

Нижче наведено детальний аналіз апаратного забезпечення досліджуваного об'єкта, який дозволяє оцінити технічні межі системи та її здатність підтримувати додаткове навантаження у вигляді майнінгового обладнання.

2.2. Технічна характеристика та аналіз апаратного забезпечення системи

Об'єктом дослідження є приватне домогосподарство, енергетична система якого побудована на базі обладнання компанії Deye — одного з лідерів ринку гібридних рішень [50]. Система спроєктована за трифазною схемою, що є стандартом для сучасних енергоємних домогосподарств, і включає ФЕ поле, систему накопичення та інверторне обладнання.

Домогосподарство розташоване за адресою вул. Аматорська 14, с. Крихівці, Івано-Франківська область (рис 2.1).

Домоволодіння оснащене 12-ма ФЕМ TW Solar TWMND-54HS430, івертором Deye SUN-12K-SG04LP3-EU та акумуляторною батареєю Deye SE-G5.1 Pro-B.

Рисунок 2.1 - Фото домоволодіння

Центральним елементом системи є трифазний гібридний інвертор **Deye SUN-12K-SG04LP3-EU** (рис 2.2). Це низьковольтний (48В) інвертор, що забезпечує високий рівень безпеки та гнучкості при підборі акумуляторних батарей.

Рисунок 2.2 - інвертор Deye SUN-12K-SG04LP3-EU

Ключові технічні характеристики та їх значення для дослідження наведені в Таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики Deye SUN-12K-SG04LP3-EU.

Параметр	**Значення**	**Аналітичний коментар**
Номінальна вихідна потужність (AC)	12 000 Вт	Інвертор має значний запас потужності, що перевищує договірний ліміт мережі (5 кВт). Це дозволяє живити потужне навантаження (в т.ч. майнінг) в автономному режимі або в режимі підмішування сонячної енергії, не обмежуючись вхідним автоматом мережі.
Максимальна вхідна потужність PV	15 600 Вт	Коефіцієнт DC/AC ratio до 1.3 дозволяє перевантажувати поле для отримання більшої енергії в похмурі дні та вранці/ввечері, що розширює "вікно майнінгу".
Діапазон напруги MPPT	200 В - 650 В	Широкий діапазон дозволяє інвертору стартувати рано вранці. Робоча напруга MPPT оптимізована під стрінги з 6-12 панелей.
Кількість MPPT трекерів	2 (2+1 входи)	Дозволяє розділити поле на дві площини (наприклад, Схід-Захід) для вирівнювання кривої генерації протягом дня, що є ідеальним для стабільного живлення майнінгу.
Макс. струм заряду/розряду	240 А	При напрузі ~50В це відповідає потужності ~12 кВт. Це означає, що інвертор не є "вузьким місцем" у швидкості зарядки АКБ або її розрядки на пікові навантаження.
Тип системи	Низьковольтна (48В)	Використання 48-вольтової архітектури забезпечує сумісність з широким спектром LFP батарей та підвищену пожежну безпеку.

Функціональні особливості для майнінгу:

Інвертор підтримує функцію "Smart Load" (розумне навантаження). Це окремий вихід, який можна запрограмувати на включення лише за певних умов (наприклад, SOC > 95% та PV > 3000 Вт). Це ідеальний механізм для

підключення майнінг-ферм, який дозволяє автоматично утилізувати надлишкову енергію без складних зовнішніх контролерів, захищаючи АКБ від розряду [38].

Генерація енергії забезпечується масивом з 12 фотоелектричних модулів моделі TWMND-54HS430 виробництва TW Solar (рис 2.3).

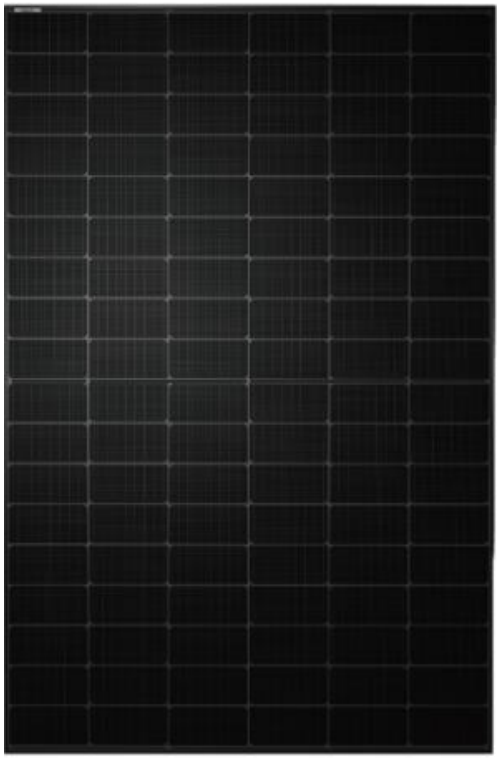


Рисунок 2.3 - ФЕМ TW Solar TWMND-54HS430

Детальний аналіз характеристик :

- **Тип комірок:** N-type Monocrystalline (технологія TOPCon або аналогічна). N-type комірки мають суттєву перевагу над традиційними P-type у відсутності ефекту LID (Light Induced Degradation), що гарантує стабільнішу генерацію в перші роки експлуатації.
- **Номінальна потужність (Pmax):** 430 Вт.

Сумарна потужність поля: 12*430 Вт = 5160 Вт = 5.16 кВт.

- **Температурний коефіцієнт (Pmax):** -0.30%/°C. Це дуже низький показник (стандартні модулі мають -0.35%...-0.4%), що свідчить про високу ефективність роботи панелей у спекотні літні дні. При нагріві до 65°C втрата

потужності складе лише (65-25)*0.3 = 12%, тоді як для звичайних панелей це було б 16-18%. Для майнінгу влітку це дає додаткові кіловати.

- **Електричні параметри (STC):** Напруга в точці макс. потужності V_{mp}: 33.26 В. Струм в точці макс. потужності I_{mp}: 12.93 А. Напруга холостого ходу V_{oc}: 39.15 В.

Конфігурація підключення: Враховуючи наявність 12 модулів та діапазон MPPT інвертора (200-650В), найімовірніше застосовано послідовне з'єднання всіх 12 модулів в один стрінг або два стрінги по 6 модулів.

Варіант 1 стрінг*:* V_{mp} = 12 * 33.26 = 399 В. Це ідеальне значення для ККД інвертора (номінальна напруга зазвичай ~370-400В).

Встановлена потужність поля (5.16 кВт) майже ідеально відповідає договірному ліміту потужності домогосподарства (5 кВт), що дозволяє максимально використовувати пропускну здатність мережі при експорті, але також накладає обмеження на розширення системи без зміни договору [6].

"Лімітуючим фактором" в контексті енергоємного майнінгу даної системи є ємність акумуляторної батареї. Використовується один модуль Deye SE-G5.1 Pro-B (рис 2.4).

Рисунок 2.4 - АКБ Deye SE-G5.1 Pro-B

Аналіз параметрів АКБ наведено у Таблиці 2.2:

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики Deye SE-G5.1 Pro-B

Параметр	**Значення**	**Вплив на систему**
Хімія	LiFePO4	Висока безпека, довгий життєвий цикл (>6000 циклів). Дозволяє глибокі розряди, що критично для нічного споживання.
Енергоємність	5.12 кВт·год	Це номінальна ємність. Корисна ємність (Usable Energy) при DOD 90% складає близько **4.61 кВт·год**.
Номінальна напруга	51.2 В	Стандартна напруга для 16-коміркової LFP батареї (16*3.2В).
Струми заряду/розряду	Рек. 50 А / Макс. 100 А	**Критичне обмеження:** Рекомендований струм 50 А при 51.2 В дає потужність лише **2.56 кВт**. Максимальний піковий струм 100 А (5.12 кВт) допустимий, але призводить до прискореної деградації та перегріву.

Встановлена ємність (5.12 кВт·год) є недостатньою для підтримки роботи навіть одного ASIC-майнера середньої потужності (3 кВт) протягом ночі. Автономний майнінг вночі неможливий.

2.3. Методологія збору, верифікації та первинної обробки даних

Для забезпечення достовірності результатів дослідження було реалізовано комплексний підхід до збору та обробки телеметричних даних з

інвертора. Дані були отримані з хмарної платформи моніторингу Deye Cloud, яка здійснює опитування інвертора з інтервалом 5 хвилин (рис 2.5).

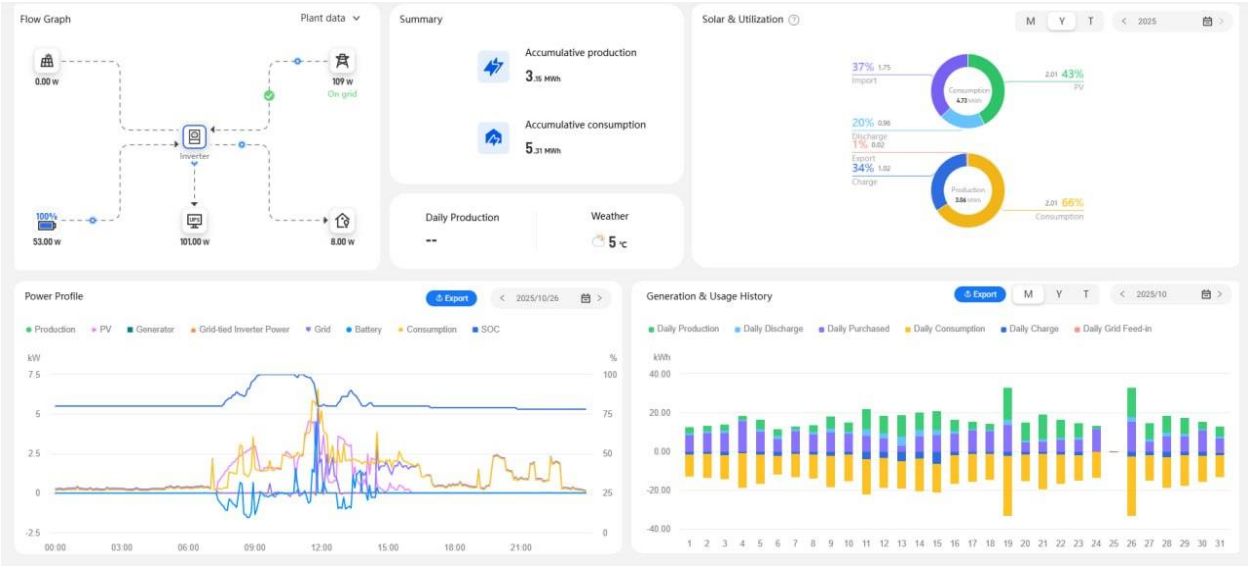


Рисунок 2.5 - Інтерфейс додатку Deye Cloud

Вхідні дані включають наступні ключові параметри, що фіксуються в часових рядах:

- **Production (kW):** Потужність, що генерується PV-масивом. Це значення на виході MPPT-контролера (DC) або на виході інвертора (AC), залежно від архітектури датчиків. Для Deye це зазвичай сумарна потужність DC.
- **Consumption (kW):** Потужність, що споживається навантаженням (Load). Це значення розраховується як сума енергії з мережі, PV та АКБ, спрямованої на навантаження.
- **Grid (kW):** Балансуюча потужність мережі. Позитивні значення (в деяких форматах) означають купівлю, негативні — продаж. У наданих файлах використана структура, де імпорт та експорт можуть бути розділені або мати знак.
- **Battery (kW):** Потужність на клемах АКБ. Позитивне значення — заряд, негативне — розряд.
- **SOC (%):** State of Charge — рівень заряду акумулятора у відсотках, отриманий від BMS.

Згідно з технічним завданням, дані за грудень 2025 року були виключені з аналізу, оскільки вони не є репрезентативними (неповні дані). Особлива увага була приділена двом контрольним датам стрес тесту системи, які представляють різні сезонні сценарії:

22 березня 2025 року: Період весняного рівнодення, що характеризується помірними температурами (високий ККД панелей) та достатньою тривалістю світлового дня.

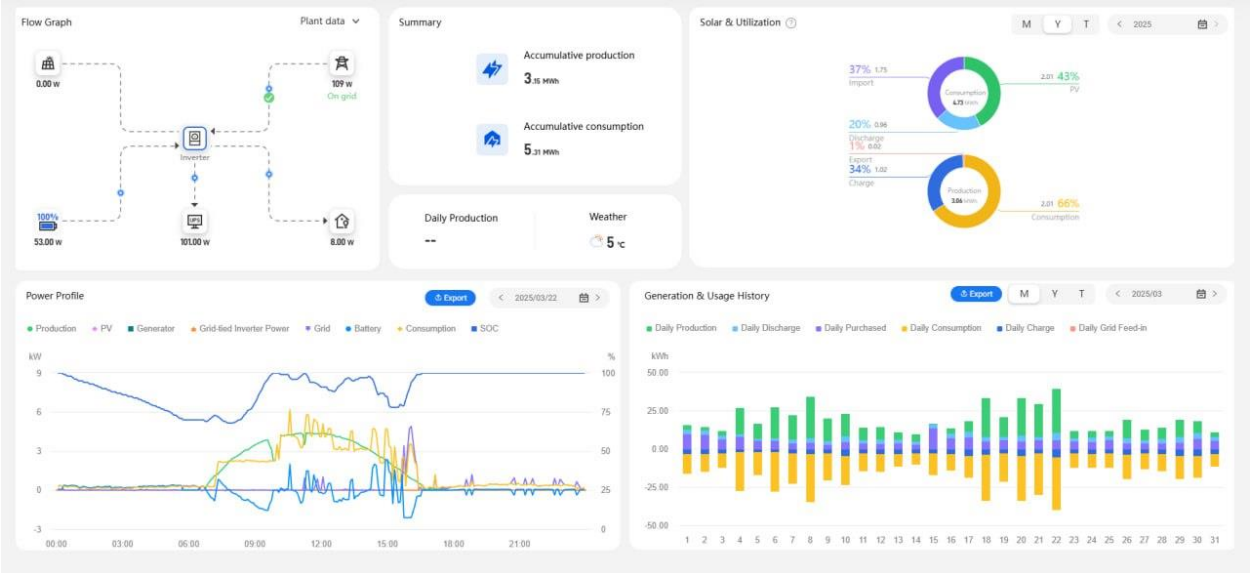


Рисунок 2.6 - Графік стрес тесту 22.03.2025

27 вересня 2025 року: Період осіннього рівнодення, який, хоч і має схожу астрономічну тривалість дня, часто відрізняється погодними умовами.

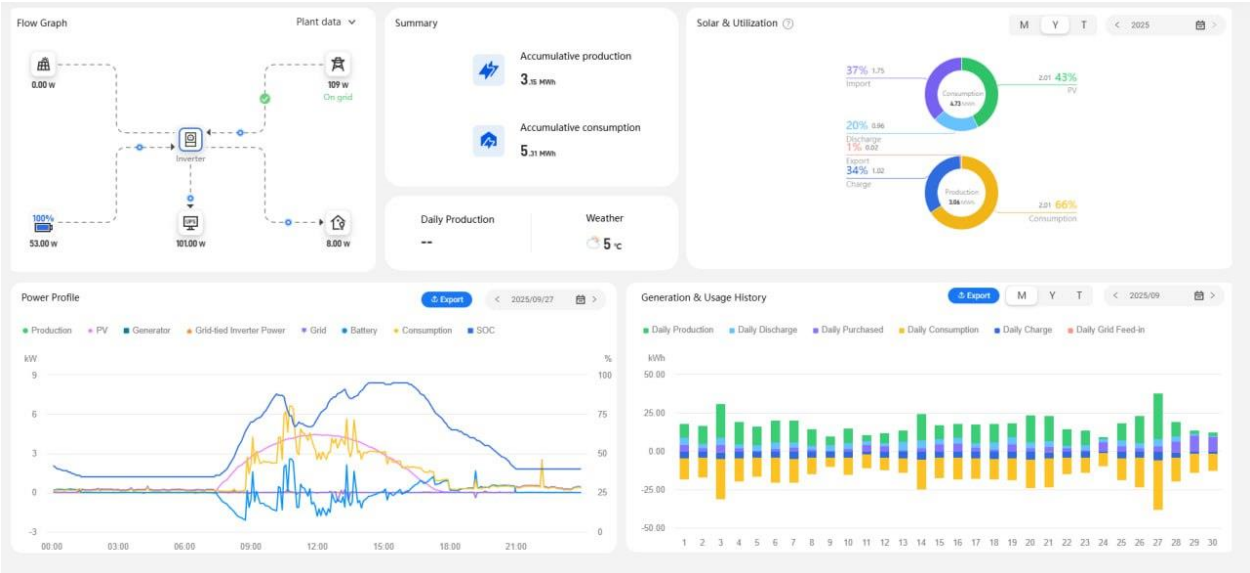


Рисунок 2.7 - Графік стрес тесту 27.09.2025

Первинний аналіз річних звітів показав, що літні місяці (липень-серпень) характеризуються максимальною генерацією (>400 кВт·год/місяць), що створює найбільший потенціал для майнінгу. Однак аналіз перехідних сезонів є складнішим завданням, оскільки вимагає точнішого балансування через нестабільність погоди.

2.4. Комплексний аналіз енергетичних режимів роботи домогосподарства

Ефективність впровадження майнінгу як корисного навантаження залежить від наявності стабільного профіциту енергії. Проведемо детальний аналіз добових графіків для виявлення «вікон можливостей» для майнінгу.

22 березня є показовим днем для оцінки роботи системи в умовах високої інсоляції. За даними добового звіту , загальна генерація склала 29.1 кВт·год, а споживання — 34.6 кВт·год. Це свідчить про те, що домогосподарство спожило більше енергії, ніж виробило, проте аналіз часового розподілу показує цікаві нюанси.

Хронологія подій та аналіз потужностей :

1. **Нічний режим (00:00 - 06:00):**

- **SOC:** Починається з 100%. Це ідеальний сценарій, який свідчить, що попередній день був сонячним, і батарея повністю зарядилася.
- **Споживання:** Базове навантаження («фонове») коливається в межах 0.15 - 0.3 кВт. Це робота холодильників, роутерів, систем безпеки.
- **Робота АКБ:** Потужність розряду складає 0.17-0.38 кВт. Враховуючи ємність АКБ ~5 кВт·год, такого навантаження достатньо для автономної роботи протягом >15 годин. За ніч SOC знизився некритично (до ~70% на ранок).
- Висновок*:* Вночі система працює стабільно, але вільних потужностей для майнінгу немає (один модуль АКБ не витягне додаткове навантаження).

2. **Ранковий розгін (06:45 - 10:00):**

- Генерація стартує о 06:45 (0.11 кВт) при SOC 69%.
- Вже о 08:00 генерація досягає 2.46 кВт. У цей момент споживання складає 2.23 кВт. Система переходить точку беззбитковості.
- З 09:00 генерація перевищує 3.5 кВт. Оскільки АКБ була розряджена неглибоко, вона швидко набирає заряд.

3. **Період максимальної продуктивності (10:00 - 15:00) - «Вікно для майнінгу»:**

- **Генерація:** Стабілізується на рівні 4.2 - 4.4 кВт. Це відповідає ~85% від встановленої потужності панелей (5.16 кВт), що є відмінним показником з урахуванням кута падіння променів у березні.
- **Пікове навантаження:** О 10:35 зафіксовано аномальний сплеск споживання - 6.19 кВт.
- Аналіз інциденту*:* Генерація в цей момент складала 4.26 кВт. Дефіцит (1.93 кВт) було покрито за рахунок мережі та АКБ. Примітно, що споживання 6.19 кВт перевищує договірний ліміт 5 кВт. Це демонструє здатність гібридного інвертора Deye «домішувати» енергію, дозволяючи споживачу перевищувати ліміт мережі за рахунок власної генерації.
- **Профіцит:** Протягом цього періоду, за винятком піку о 10:35, середнє споживання було нижчим за генерацію. АКБ швидко досягла 100% (float charge). Це означає, що значна частина енергії потенційно могла бути експортована або «зрізана». Це ідеальний час для роботи майнера потужністю 2-3 кВт.

4. **Вечірній спад:** Після 16:00 генерація падає нижче 1 кВт. Споживання залишається на рівні 0.3-0.5 кВт, яке покривається залишками сонця та початком розряду АКБ.

27 вересня демонструє принципово іншу картину, характерну для дефіцитних сезонів.

1. **Критичний стан АКБ:**

- На початок доби (00:05) рівень заряду (SOC) становив лише 42%. Це наслідок недостатньої генерації або високого споживання попереднього дня.
- О 01:20 SOC впав до 35%. Це поріг відключення (Cut-off), налаштований в інверторі для збереження ресурсу батареї.
- Наслідок: З 01:20 до 07:30 будинок живився виключно від мережі. Параметр Grid показує споживання 0.2-0.3 кВт.

2. **Запізнілий старт:**

- Генерація почалася о 07:25 (0.1 кВт), що пізніше, ніж у березні.
- Інтенсивний ріст почався лише після 09:00.
- **Пріоритет зарядки:** Весь ранковий профіцит енергії інвертор спрямував на зарядку критично розрядженої АКБ. З 09:00 до 12:00 спостерігається інтенсивний заряд.

3. **Пікове навантаження та робота на межі:**

- О 11:50 генерація досягла піку 4.44 кВт.
- О 13:20 зафіксовано ще один значний пік споживання — 5.65 кВт. При генерації 4.18 кВт, системі довелося залучити ~1.5 кВт з мережі/АКБ.
- На відміну від 22 березня, 27 вересня АКБ досягла повного заряду значно пізніше (близько обіду), що скоротило час можливого використання надлишків для майнінгу.

Висновок по дню: 27 вересня демонструє ризики майнінгу. Якби майнінг працював вночі 26-27 вересня, він би висадив АКБ до 35% значно раніше, змусивши власника купувати дорогу електроенергію з мережі всю ніч.

2.5. Аналіз можливості інтеграції ASIC-майнінгу

На основі зібраних даних можна зробити попередню оцінку технічної можливості реалізації запитуваної схеми: «Будинок - мережа, Майнінг - СЕС».

Інвертор Deye має функціонал, що ідеально підходить для цього завдання. Порт «GEN» може бути переконфігурований у меню «Gen Port Use» як вихід «Smart Load Output».

Пропонована логіка роботи:

1. **Фізичне підключення:** Будинок підключається паралельно до входу GRID (але споживає з мережі). Майнінгова ферма підключається до порту GEN.

2. **Налаштування:** В меню інвертора встановлюється умова активації порту Smart Load:

- *Gen Port Use: Smart Load Output.*
- *Smart Load ON:* SOC > 95% (Вмикаємо майнінг тільки коли батарея майже повна, що свідчить про надлишок енергії).
- *Smart Load OFF:* SOC < 80% (Вимикаємо, щоб залишити резерв для будинку на випадок аварії мережі).
- *Solar Power condition:* Можна встановити поріг, наприклад, 2000 Вт.

Візьмемо для прикладу ASIC-майнер середньої потужності (наприклад, 3 кВт). У липні середньодобова генерація становить: 406.5/31 = 13.1 кВт·год. Споживання майнера за добу безперервної роботи: 3*24 = 72 кВт·год.

Висновок: Енергії власної СЕС (12 панелей) вистачить лише на 4-5 годин роботи майнера на добу в літній період. В зимовий період (січень, 5.5 кВт·год/добу) енергії не вистачить навіть на 2 години роботи.

Це вказує на те, що система буде працювати в переривчастому режимі. Для забезпечення рентабельності та захисту обладнання в умовах низької генерації необхідно застосувати специфічні стратегії.

2.6. Рекомендації щодо експлуатації при низькій генерації

Зібрані дані показують, що значну частину року генерація буде недостатньою для постійної роботи потужного споживача на порту Smart Load.

1. **Збільшення потужностей:** У випадку збільшення кількості фотоелектричних модулів, можливе збільшення продукування електроенергії що дозволить мінімізувати кількість циклів вмикання та вимикання ASIC-

майнера. Для стабільної роботи системи, рекомендується збільшити кількість ФЕМ мінімум вдвічі.

2. **Масштабування навантаження:** Замість одного потужного пристрою (3-4 кВт) доцільніше використовувати декілька менш потужних або пристрої з можливістю програмного зниження споживання (Low Power Mode). Це дозволить утилізувати енергію в дні, коли генерація становить 1-2 кВт, що інакше була б втрачена (недостатня для запуску потужного ASIC). У випадку збільшення кількості фотоелектричних модулів, можливе збільшення продукування електроенергії що дозволить мінімізувати кількість циклів вмикання та вимикання ASIC-майнера. Для стабільної роботи системи, рекомендується збільшити

3. **Зимова консервація:** Враховуючи дані засічень, рекомендується передбачити можливість повного відключення майнінгового контуру в зимовий період або його перемикання на мережеве живлення (в ручному режимі), оскільки часті цикли увімкнення/вимкнення на короткий час шкідливі для електроніки та неефективні економічно (час завантаження та виходу на хешрейт займає 5-10 хвилин).

4. Утилізація низької генерації: Для підвищення ККД системи пропонується використання резистивного навантаження зі змінною потужністю, а саме нагрів води (бойлер/буферна ємність). Встановлення ТЕНу з тиристорним регулятором потужності, який може споживати рівно стільки, скільки є надлишку (від 100 Вт до 2 кВт). Це дозволить акумулювати теплову енергію для потреб домогосподарства в той час, поки СЕС «чекає» на вихід на повну потужність для запуску майнінгу [36; 54].

2.7. Висновки до розділу

Аналіз статистичних даних приватного домогосподарства в Івано-Франківській області підтвердив технічну спроможність встановленого обладнання забезпечувати потреби будинку та генерувати надлишок енергії в весняно-літній період.

Ключові результати аналізу:

1. **Обладнання:** Інвертор Deye має необхідний програмно-апаратний функціонал (Smart Load) для реалізації розділеного живлення.

2. **Генерація:** Масив з 12 панелей (5.16 кВт) є достатнім для покриття побутових потреб, але дефіцитним для цілодобового майнінгу. Режим роботи буде циклічним (денним).

3. **Стрес-тести:** Система продемонструвала стабільність при навантаженнях до 6 кВт, проте «вузьким місцем» є ємність та струмовіддача одного акумуляторного блоку. Для надійної роботи майнінгу (якщо його потужність > 2.5 кВт) настійно рекомендується збільшення ємності АКБ мінімум до 10 кВт·год, що дозволить згладити коливання генерації та продовжити термін служби батареї. Або використовувати генерацію СЕС лише для часткової компенсації витрат електричної енергії.

РОЗДІЛ 3
ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАЙНІНГУ: АРХІТЕКТУРНИЙ АНАЛІЗ, ЕНЕРГЕТИЧНА ІНТЕГРАЦІЯ ТА СЦЕНАРНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

3.1. Теоретичні основи функціонування ASIC-систем у контексті алгоритму SHA-256

Глибоке розуміння фізичних принципів та логічної архітектури спеціалізованого обчислювального обладнання є фундаментом для прийняття обґрунтованих інженерних рішень при проєктуванні гібридних енергетичних систем. У контексті даної магістерської роботи, де розглядається інтеграція майнінгового обладнання в енергосистему приватного домогосподарства з обмеженою потужністю приєднання (5 кВт) та наявністю власної фотоелектричної генерації, критично важливим стає аналіз не лише продуктивності, але й енергетичного профілю пристроїв [36]. Сучасний майнінг криптовалюти Bitcoin базується на використанні інтегральних схем специфічного призначення (Application-Specific Integrated Circuit — ASIC), які являють собою вершину еволюції обчислювальної техніки, орієнтованої на виконання вузькоспеціалізованих криптографічних завдань [23].

В основі функціонування мережі Bitcoin лежить алгоритм хешування SHA-256 (Secure Hash Algorithm, 256-bit), розроблений Агентством національної безпеки США (NSA). Цей алгоритм належить до сімейства SHA-2 і є стандартом у криптографічній індустрії завдяки своїй стійкості до колізій та незворотності перетворень. З технічної точки зору, процес майнінгу — це не просто «пошук монет», а виконання математично інтенсивної роботи з підбору такого значення змінної (nonce), яке при подвійному хешуванні заголовка блоку дасть результат, що чисельно менший за встановлений мережею цільовий поріг складності (target difficulty) [31].

Математична формула, яку виконує ASIC-майнер мільярди разів на

секунду, виглядає наступним чином:

H = SHA256(SHA256(Block Header))

де Block Header (заголовок блоку) включає версію протоколу, хеш попереднього блоку, корінь дерева Меркла (Merkle Root) всіх транзакцій у блоці, часову мітку, поточну складність (bits) та, власне, nonce, який перебирає майнер.

Алгоритм SHA-256 оперує блоками повідомлень довжиною 512 біт. Процес обробки кожного блоку складається з 64 раундів криптографічних перетворень. У кожному раунді використовуються бітові операції: логічне «І» (AND), «АБО» (OR), «виключне АБО» (XOR), логічне заперечення (NOT), а також операції циклічного зсуву (rotate) та додавання по модулю 2^{32}. Саме ці елементарні логічні операції реалізовані на транзисторному рівні всередині чипів ASIC. На відміну від процесорів загального призначення (CPU), які використовують універсальні арифметико-логічні пристрої (ALU) і витрачають значні ресурси на декодування інструкцій та управління пам’яттю, архітектура ASIC являє собою «застиглий в кремнії» алгоритм. Це означає, що логічні вентилі на кристалі з’єднані таким чином, щоб дані проходили через 64 стадії обробки конвеєрним методом (pipelining) без зайвих затримок на звернення до оперативної пам’яті [45]. Така архітектура дозволяє досягати екстремальної ефективності, вимірюваної в джоулях на терахеш (J/TH), що є ключовим показником у даному дослідженні.

Сучасний ASIC-майнер — це складна термодинамічна та електротехнічна система, яка складається з трьох основних компонентів: плати керування (Control Board), хеш-плат (Hash Boards) та системи живлення і охолодження [26]. Розуміння взаємодії цих компонентів необхідне для правильного підбору обладнання під умови сценаріїв з обмеженою потужністю.

Плата керування (Control Board):

Це «мозок» пристрою, який зазвичай базується на вбудованих системах (SoC) типу Xilinx Zynq або аналогічних ARM-процесорах під управлінням

Linux.Плата керування виконує критичні функції:

- Взаємодія з майнінг-пулом через протокол Stratum (отримання шаблонів блоків, відправка знайдених рішень).
- Розподіл діапазону перебору nonce між хеш-платами та окремими чипами.
- Моніторинг стану системи: зчитування даних з термодатчиків, контроль обертів вентиляторів (PWM), регулювання напруги живлення чипів.

У контексті інтеграції в «розумний будинок» важливо зазначити, що плата керування споживає незначну кількість енергії (10-50 Вт), але саме вона визначає можливість гнучкого налаштування (даунвольтинг, розклад роботи), що буде використано в Сценарії 2.

Хеш-плати (Hash Boards):

Це основні споживачі енергії. На кожній платі розміщено масив ASIC-чипів (від кількох десятків до понад сотні), з'єднаних у послідовні ланцюги живлення (power domains).

- **Топологія живлення:** Оскільки робоча напруга одного чипа сучасного техпроцесу (5 нм або 7 нм) становить лише 0.3-0.4 В, а струм може досягати десятків ампер, подача низької напруги безпосередньо на кожен чип призвела б до колосальних втрат на провідниках. Тому виробники використовують послідовне з'єднання груп чипів (доменів), що дозволяє живити плату вищою напругою (наприклад, 12-20 В) при меншому струмі. Однак це створює проблему балансування: вихід з ладу одного чипа може порушити роботу всього домену.
- **Термодинаміка кристалу:** Ефективність напівпровідників суттєво залежить від температури. При нагріванні зростають струми витоку (leakage currents), що призводить до підвищення енергоспоживання без збільшення корисної роботи. Це явище описується температурним коефіцієнтом опору та фізикою p-n переходів. Для майнерів серії S19, наприклад, експериментально підтверджено погіршення енергоефективності (зростання J/TH) при підвищенні температури хеш-плати [40]. Це означає, що

система охолодження є не просто допоміжним елементом, а критичним компонентом, що визначає ККД всієї установки.

Блок живлення (PSU):

Блок живлення перетворює змінний струм мережі (220 В) у постійний струм необхідної напруги. Ефективність сучасних PSU (наприклад, APW12 для серії S19) перевищує 94-95%, однак у масштабах постійного споживання 3 кВт навіть 5% втрат перетворюються на 150 Вт тепла, що виділяється безпосередньо в приміщенні. Крім того, блоки живлення мають високі пускові струми (inrush current) при зарядці вхідних конденсаторів, що необхідно враховувати при розрахунку навантаження на інвертор SUN-12K-SG04LP3-EU [20].

3.2. Підбір обладнання для Сценарію 1 (Гібридний, постійна робота): Antminer S19k Pro

Сценарій 1 розроблено для умов, коли метою є забезпечення максимально можливої генерації криптовалюти в межах доступних енергетичних лімітів (5 кВт). Цей сценарій передбачає, що обладнання працює в режимі 24/7, створюючи стабільне базове навантаження (base load). У періоди сонячної активності живлення забезпечується фотоелектричними модулями (ФЕМ), а в нічний час або похмуру погоду — автоматично перемикається на споживання з електромережі [25].

Для реалізації цього сценарію обрано модель **Bitmain Antminer S19k Pro** (рис 3.1).

Рисунок 3.1 - Bitmain Antminer S19k Pro

Antminer S19k Pro є одним із найсучасніших та найбільш збалансованих рішень на ринку станом на 2023-2025 роки. Його архітектура базується на використанні передових напівпровідникових кристалів (імовірно, 5-нм або покращений 7-нм техпроцес), що дозволило досягти значного стрибка в енергоефективності порівняно з попередніми поколіннями [25].

Основні технічні параметри:

- **Хешрейт:** 120 TH/s (Терахешів на секунду). Це означає, що пристрій виконує $1.2*10^{14}$ операцій хешування щосекунди. Високий хешрейт забезпечує конкурентоспроможність пристрою на фоні постійно зростаючої складності мережі Bitcoin.
- **Енергоспоживання:** 2760 Вт (±5%) у стандартному режимі при температурі 25°C. Це значення є критичним для нашого дослідження, оскільки воно становить більше половини доступної потужності домогосподарства.
- **Енергоефективність:** 23.0 J/TH (±5%). Цей показник визначає кількість енергії (в джоулях), необхідну для виконання 1 терахеша обчислень. Чим нижче це значення, тим ефективніший пристрій. Для порівняння, старіші моделі споживали 40-100 Дж на терахеш.
- **Напруга живлення:** 200~240 В змінного струму. Вбудований блок живлення APW12 забезпечує високий коефіцієнт потужності (PF > 0.99), що мінімізує реактивне навантаження на інвертор.
- **Охолодження:** 4 високошвидкісних вентилятори, що створюють потік повітря для відведення тепла від радіаторів хеш-плат. Рівень шуму становить близько 75 дБ, що вимагає розміщення обладнання в технічному приміщенні або використання шумоізоляційних боксів.

Вибір S19k Pro базується на показнику енергоефективності **23 J/TH**. У сценарії, де потужність суворо лімітована 5 кВт, кожен ват енергії має бути використаний з максимальною віддачею [56].

Переваги високої енергоефективності:

1. **Максимізація доходу на ват потужності:** При споживанні 2760 Вт, S19k Pro генерує 120 TH/s. Якби ми спробували отримати такий самий

хешрейт, використовуючи застарілі Antminer S9 (ефективність ~98 J/TH), нам знадобилося б близько 9 пристроїв, загальне споживання яких склало б понад 11 кВт (120 TH/s * 98 J/TH = 11760 W). Це абсолютно неможливо реалізувати в межах ліміту 5 кВт. Таким чином, S19k Pro дозволяє отримати промисловий рівень обчислювальної потужності в межах побутового ліміту.

2. **Термічна стабільність:** Висока ефективність означає, що менша частка енергії витрачається на паразитний нагрів провідників всередині чипа. Це робить пристрій більш стійким до роботи в умовах літньої спеки, коли температура в приміщенні може зростати. Дослідження показують, що хоча ефективність S19k Pro дещо падає при високих температурах (з 23 J/TH при 25°C до ~26 J/TH при 40°C), він все одно залишається працездатним, тоді як менш ефективні пристрої можуть аварійно вимикатися через перегрів.

Критичним аспектом дослідження є перевірка енергетичного балансу системи. За умовами договору, максимальна потужність приєднання становить 5 кВт.

Енергетичний баланс Сценарію 1:

- **Споживання майнера:** ~2.8 кВт.
- **Доступний ліміт:** 5.0 кВт.
- **Залишковий резерв:** 5.0 - 2.8 = 2.2 кВт.

Цей резерв у 2.2 кВт є достатнім для забезпечення функціонування базових побутових приладів (освітлення, холодильник, насоси опалення, комп'ютерна техніка). Однак, він накладає обмеження на використання потужних споживачів: одночасне увімкнення електрочайника (2 кВт) та, наприклад, праски або електроплити, призведе до спрацювання вводного автомата захисту.

Робота при відсутності генерації СЕС:

Важливою умовою є те, що при відсутності сонячної генерації (нічний час, зимовий період) живлення здійснюється від зовнішньої мережі. Гібридний інвертор Deye SUN-12K-SG04LP3-EU працює в режимі транзиту (Grid Passthrough), пропускаючи мережеву напругу до навантаження [20].

- Споживання 2.8 кВт є тривалим навантаженням. Стандартна побутова розетка розрахована на 16А (~3.5 кВт), але при постійному навантаженні 24/7 контакти можуть нагріватися. Тому підключення S19k Pro рекомендується виконувати через спеціалізовані роз'єми C13/C19 або прямим підключенням до клемної колодки через окремий автомат захисту на 16-20А.
- Кабельні лінії домогосподарства повинні бути виконані мідним кабелем перерізом не менше 2.5 мм² (а краще 4 мм² для зменшення падіння напруги та нагріву лінії при цілодобовій роботі).

Інтеграція з інвертором Deye:

Гібридний інвертор Deye має функціонал "Smart Load" (розумне навантаження), який дозволяє підключати майнер до окремого виходу (Gen Port) [41]. Хоча в Сценарії 1 передбачається постійна робота, використання цього порту дозволяє налаштувати автоматичне відключення майнера у випадку аварійного зникнення зовнішньої мережі та розряду акумуляторів нижче критичного рівня, що захистить систему життєзабезпечення будинку (резервне освітлення, опалення), залишивши для них енергію в АКБ.

3.3. Підбір обладнання для Сценарію 2 (Бюджетний/Адаптивний): Antminer S9

Другий сценарій розроблено для ситуації, коли пріоритетом є мінімізація початкових інвестицій (CapEx) та створення гнучкої системи, здатної адаптуватися до надлишків генерації без ризику значних фінансових втрат. Для цього сценарію обрано класичну модель **Antminer S9** [26] (рис 3.1).

Рисунок 3.2 - Bitmain Antminer S9

Antminer S9, випущений у 2016 році, став революційним пристроєм свого часу, першим масовим майнером на 16-нм техпроцесі. Незважаючи на моральне старіння, його архітектурна простота та надійність роблять його ідеальним кандидатом для експериментальних або допоміжних систем.

Ключові технічні параметри:

- **Хешрейт:** 13.5 - 14.0 TH/s (±5%).
- **Енергоспоживання:** 1323 Вт (±10%) при стандартних налаштуваннях.
- **Енергоефективність:** ~98 J/TH. Це значення майже в 4 рази гірше, ніж у S19k Pro, що робить його економічно недоцільним для майнінгу на дорогому мережевому струмі з метою отримання прямого прибутку, але ідеальним для сценарію утилізації "безкоштовних" надлишків енергії.
- **Чипи:** 189 чипів моделі BM1387, розміщених на 3 хеш-платах.
- **Напруга:** Вимагає зовнішнього живлення 12В постійного струму (через 10 роз'ємів 6-pin PCIe).
- **Габарити:** 350 x 135 x 158 мм, вага ~4.2 кг.

Архітектура керування:

Плата керування S9 базується на FPGA Xilinx Zynq-7000. Ця архітектура є повністю відкритою для модифікацій, що дозволяє встановлювати кастомні прошивки (Braiins OS+, Hiveon, Vnish). Це є критичною перевагою для адаптивного сценарію, оскільки дозволяє програмно змінювати частоту та напругу на чипах в широкому діапазоні.

Вибір Antminer S9 для бюджетного сценарію обумовлений наступними факторами:

1. **Наднизька вартість:** Ціна вживаного S9 на вторинному ринку є мінімальною, часто співмірною з вартістю блоку живлення. Це знижує фінансові ризики до нуля. Якщо пристрій вийде з ладу через часті включення/виключення (що характерно для роботи по "сонцю"), втрати будуть незначними.
2. **Гнучкість налаштування (Autotuning):** Завдяки стороннім

прошивкам, S9 можна перевести в режим "даунвольтингу" (зниження напруги). Це дозволяє зменшити споживання до 800-900 Вт при хешрейті 10-11 TH/s, покращуючи енергоефективність до ~80-85 J/TH. Такий режим є більш щадним для обладнання та дозволяє працювати навіть при слабкій сонячній генерації.

3. **Швидкість завантаження:** S9 має відносно швидкий цикл завантаження (Boot time) порівняно з новими моделями серії S19/S21, які можуть витрачати до 10-15 хвилин на калібрування чіпів перед початком роботи. У сценарії, коли хмари можуть часто переривати генерацію, швидкий вихід на режим є важливою перевагою.

Споживання 1.3 кВт робить S9 ідеальним кандидатом на роль керованого баластного навантаження.

- **Робота від мережі:** При відсутності генерації СЕС, навантаження 1.3 кВт є абсолютно непомітним для мережі 5 кВт. Це дозволяє використовувати майнер взимку як високоефективний електрообігрівач. Фактично, 100% спожитої електроенергії перетворюється на тепло, яке можна використати для обігріву приміщення, гаража або теплиці. При цьому майнер компенсує частину витрат на електроенергію видобутком BTC.
- **Пускові струми:** При старті S9 споживає значний струм для розкрутки вентиляторів до 6000 об/хв та зарядки ємностей. На графіках споживання це виглядає як різкий пік (spike) перед стабілізацією. Інвертор Deye здатний згладжувати ці піки за рахунок енергії АКБ.
- **Проблема шуму:** Рівень шуму S9 (до 85 дБ) є значним недоліком. Для домашнього використання необхідна організація шумопоглинаючого коробу або розміщення в нежитловому приміщенні.

3.4. Порівняльна характеристика та висновки

Для фіналізації вибору проведено порівняльний аналіз технічних характеристик обох моделей у контексті заданих обмежень.

Таблиця 3.1. Порівняльна характеристика ASIC-майнерів для сценаріїв магістерського дослідження

Характеристика	**Сценарій 1: Гібридний (Стабільний)**	**Сценарій 2: Бюджетний (Адаптивний)**
Модель обладнання	**Antminer S19k Pro**	**Antminer S9 (S9i/S9j)**
Виробник	Bitmain	Bitmain
Енергоефективність	**23.0 J/TH** (Висока)	**~98.0 J/TH** (Низька)
Навантаження на мережу (5 кВт)	~55% (високе базове навантаження)	~26% (низьке базове навантаження)
Запас потужності для дому	2.24 кВт (обмежений)	3.65 кВт (комфортний)
Термодинаміка	Висока щільність тепловиділення, чутливість до перегріву >35°C	Розподілене тепловиділення, висока "живучість" при термоциклюванні
Адаптивність (Прошивка)	Обмежена (Secure Boot), складність модифікації	Висока (доступні BraiinsOS, Hiveon), можливість глибокого тюнінгу
Рівень шуму	72-75 дБ (потребує ізоляції)	76-85 дБ (критично високий)
Призначення в системі	Основний споживач для максимізації видобутку	Утилізатор надлишків ("Dump Load"), обігрівач

Аналіз графічних залежностей:

Важливим аспектом експлуатації є залежність ефективності від температури (рис. 3.3).

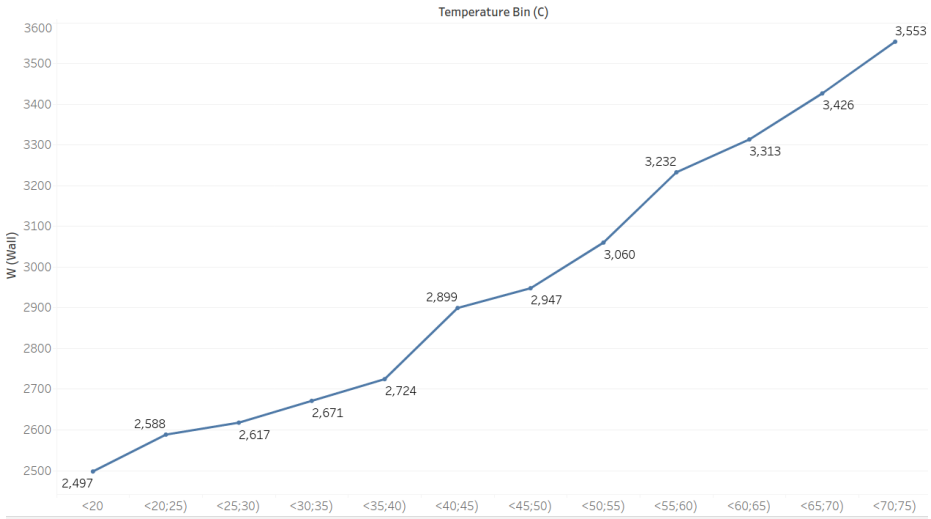


Рисунок 3.3 - Графік залежності ефективності від температури

Згідно з даними, при температурі навколишнього середовища 25°C енергоефективність S19k Pro становить номінальні 23 J/TH. Однак при підвищенні температури до 40-45°C (що можливо влітку в закритому приміщенні) спостерігається зростання споживання та погіршення показника J/TH до 26-27 J/TH [40]. Це відбувається через фізику напівпровідників (збільшення опору) та перехід вентиляторів на максимальні оберти (до 6000 об/хв). Це підтверджує необхідність забезпечення якісної примусової вентиляції для Сценарію 1.

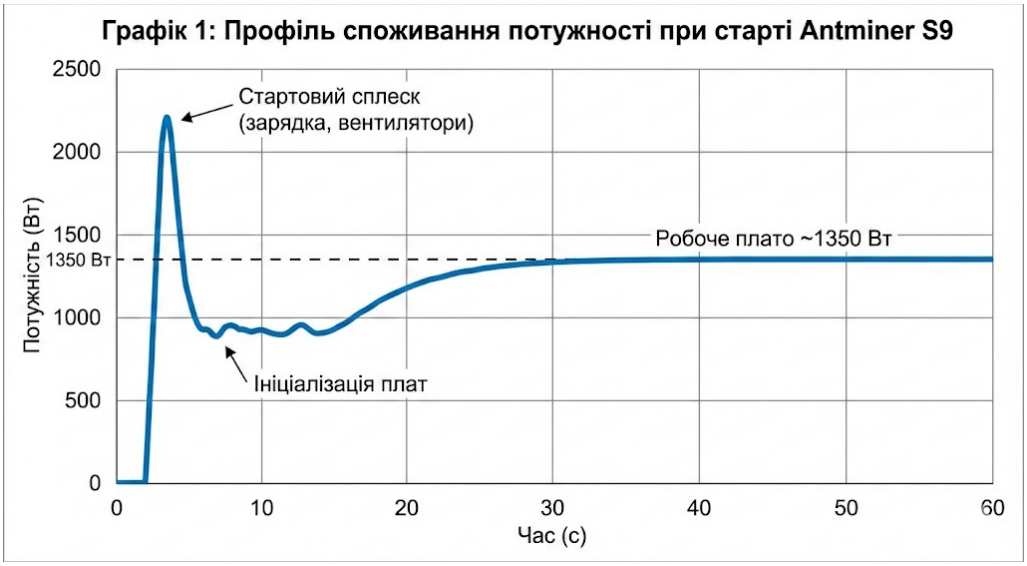


Рисунок 3.4 - Графік споживання потужності Antminer S9

Графік демонструє характерний "сплеск" (spike) потужності при старті S9. Протягом перших секунд споживання різко зростає через зарядку конденсаторів та тест вентиляторів, після чого слідує етап ініціалізації плат, і вихід на плато в ~1350 Вт. Розуміння цього профілю важливе для налаштування порогів перемикання "Smart Load" на інверторі Deye, щоб уникнути хибних спрацювань захисту від перевантаження при частих перезапусках в адаптивному режимі.

3.5. Висновок до розділу

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що для сценарію постійної роботи (Сценарій 1) безальтернативним варіантом є Antminer S19k Pro. Його висока енергоефективність дозволяє генерувати значний обсяг криптовалюти, залишаючись в межах ліміту 5 кВт і залишаючи необхідний мінімум потужності для життєзабезпечення будинку. Для сценарію адаптивного використання (Сценарій 2) оптимальним є Antminer S9, який, незважаючи на низьку ефективність, пропонує неперевершену гнучкість, низьку вартість входу та можливість використання як керованого баластного навантаження для утилізації надлишків сонячної генерації. У обох випадках, при відсутності сонячної генерації, живлення від мережі є технічно можливим, оскільки споживання обох пристроїв не перевищує допустимих норм для побутової електромережі.

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНО ЕФЕКТИВНИЙ ПЛАН РОЗРОБКИ РІШЕНЬ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКІВ ДЛЯ МАЙНИНГУ КРИПТОВАЛЮТИ

4.1. Теоретико-методологічні засади інтеграції майнінгу в системи розподіленої генерації

В умовах глобальної трансформації енергетичних ринків та стрімкої цифровізації фінансових активів, питання ефективного використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) набуває нового змісту [11]. Традиційна парадигма енергетики, що базується на миттєвому балансуванні попиту та пропозиції через диспетчеризацію генерації, стикається з викликами стохастичної природи сонячної та вітрової енергії. В українських реаліях 2025 року, обтяжених наслідками руйнувань інфраструктури та економічною нестабільністю, проблема монетизації надлишкової генерації приватних домогосподарств стає критичною для забезпечення рентабельності інвестицій у енергонезалежність [47]. Четвертий розділ магістерської роботи присвячено комплексній розробці та обґрунтуванню економічно ефективного плану інтеграції обладнання для видобутку криптовалют (майнінгу) у існуючі сонячні електростанції (СЕС) гібридного типу.

Актуальність даного дослідження зумовлена диспаритетом між вартістю електроенергії з мережі, яка для населення у 2025 році становить 4,32 грн/кВт·год, та низькою закупівельною ціною надлишків у рамках механізму Net Billing або "зеленого тарифу", виплати за яким можуть затримуватися або бути обмеженими [18]. Майнінг Bitcoin (BTC), як процес конвертації електричної енергії у криптографічний доказ роботи (Proof-of-Work), виступає унікальним механізмом "попиту за вимогою" (demand response). Це дозволяє розглядати майнінгове обладнання не просто як споживача, а як кероване навантаження-регулятор, здатне миттєво абсорбувати надлишкову

потужність, стабілізуючи локальну мережу та генеруючи високоліквідний актив [43; 53].

Наукова новизна підходу, що розглядається у цьому розділі, полягає у синтезі технічних параметрів роботи гібридних інверторів Deye, термодинамічних характеристик ASIC-майнерів різних поколінь (Antminer S19k Pro та S9) та економічних реалій крипторинку кінця 2025 року [58]. Аналіз базується на реальних даних генерації та споживання за 2025 рік, що дозволяє уникнути абстрактного моделювання та надати верифіковані рекомендації.

4.2. Деталізований аналіз енергетичного балансу та ідентифікація "мертвих зон" генерації

Економічна доцільність майнінгу на власній електроенергії базується на аксіомі "нульової граничної вартості" надлишків. Щоб побудувати ефективну модель, необхідно вийти за межі місячних звітів і проаналізувати мікроцикли роботи енергосистеми. Використання усереднених даних може призвести до хибних висновків щодо доступної потужності, тому в даному підрозділі застосовується метод похвилинного аналізу профілів навантаження та генерації.

Аналіз річного звіту за 2025 рік демонструє класичну для помірних широт дзвоноподібну криву генерації з вираженим піком у літні місяці та глибоким спадом взимку. Ця асиметрія є фундаментальним викликом для майнінгу, який, як промисловий процес, вимагає стабільного енергозабезпечення для швидкої окупності капітальних витрат (CAPEX) [42].

Таблиця 4.1. Річний енергетичний баланс об'єкта дослідження (2025 р.)

Період (Місяць)	Генерація PV (кВт·год)	Споживання (кВт·год)	Імпорт (кВт·год)	Експорт (кВт·год)	Баланс (Генерація - Споживання)	Коефіцієнт покриття (%)
Січень	170.4	408.7	245.4	1.0	-238.3	41.7%
Лютий	232.7	463.3	236.9	0.3	-230.6	50.2%
Березень	335.4	501.5	170.7	1.1	-166.1	66.9%
Квітень	309.3	411.8	107.3	2.8	-102.5	75.1%
Травень	275.8	365.0	93.7	1.6	-89.2	75.6%
Червень	287.4	310.9	37.1	4.1	-23.5	92.4%
Липень	406.5	486.9	91.3	3.3	-80.4	83.5%
Серпень	403.9	433.8	42.6	4.2	-29.9	93.1%
Вересень	337.6	427.8	100.4	2.6	-90.2	78.9%
Жовтень	197.4	450.7	262.0	0.4	-253.3	43.8%
Листопад	108.7	452.4	348.0	0.3	-343.7	24.0%
Грудень	1.0	21.8	-	0.0	-20.8	4.6%
Всього	**3066.1**	**4734.6**	**1735.4**	**21.7**	**-1668.5**	**64.7%**

Примітка: Дані за грудень є неповними, тому в подальшому моделюванні вони екстраполюються на основі січневих показників.

Детальний аналіз таблиці виявляє критичну проблему: система є енергодефіцитною. Сумарне річне споживання (4734 кВт·год) перевищує генерацію (3066 кВт·год) на 35%. Формально, показник експорту в мережу (Grid Feed-in) мізерно малий — всього 21.7 кВт·год за рік. Поверховий погляд на ці цифри міг би призвести до висновку про недоцільність майнінгу, оскільки "зайвої" енергії нібито немає. Однак, такий висновок є хибним через ігнорування явища "обрізання піків" (clipping).

Інвертори налаштовані на пріоритет самоспоживання та заряду АКБ часто обмежують генерацію сонячних панелей, коли акумулятор повністю заряджений, а поточне споживання будинку низьке [20]. Енергія просто не виробляється, залишаючись "на панелях". Це підтверджується аналізом добових профілів у наступному підрозділі. Справжній потенціал для майнінгу прихований не в графі "Експорт", а в періодах, коли інвертор штучно занижує потужність MPPT-контролерів.

Розрахунок доступної потужності для майнінгу базується на основі аналізу "обрізаних" піків, так можна змоделювати доступний ресурс. Якщо припустити, що в середньому влітку (Травень-Вересень) система недовиробляє близько 20% потенційної енергії через заповнену АКБ, це становить:

$$E_{surplus} = \sum_{May}^{Sep} E_{gen} \times 0.20 \approx (275.8 + 287.4 + 406.5 + 403.9 + 337.6) \times 0.20 \approx 342 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Ці 342 кВт·год — це «безкоштовна» енергія, яка зараз не монетизується. Додавши до цього можливість використання нічного тарифу в періоди низької генерації, ми формуємо ресурсну базу для економічної моделі.

4.3. Техніко-економічна характеристика майнінгового обладнання

Вибір обладнання є ключовим етапом, що визначає ROI (Return on Investment) проєкту. У 2025 році ринок пропонує широкий спектр пристроїв,

але для домашнього використання в умовах України доцільно розглядати два полярні класи: ультрасучасні високоефективні ASIC та дешеві застарілі моделі для утилізації «сміттєвої» енергії.

Bitmain Antminer S19k Pro: Еталон ефективності адже модель S19k Pro, випущена як оптимізована версія серії S19, залишається актуальною у 2025 році завдяки балансу ціни та енергоефективності [25].

Технічні параметри :

- Хешрейт: 120 TH/s (терахешів на секунду). Це високий показник, що дозволяє генерувати відчутний дохід навіть при зростанні складності мережі.
- Енергоспоживання: 2760 Вт.
- Енергоефективність: 23 J/TH (Джоулів на Терахеш). Це ключовий параметр. Чим він нижчий, тим менше електрики потрібно для видобутку одиниці криптовалюти. Для порівняння, старі моделі споживають 40-100 J/TH.
- Температурний режим: Вимагає активного охолодження (потік повітря ~300-400 CFM). Генемує близько 9400 BTU тепла за годину.

Ринкова вартість в Україні (2025) : Ціна варіюється від 39 000 до 50 500 грн ($930 - $1200) за вживані або нові пристрої. Ця інвестиція є значною для домогосподарства, тому вимагає чіткого бізнес-плану.

Bitmain Antminer S9: «Електричний обігрівач, що платить вам», модель S9, випущена ще у 2016 році, у 2025 році є технологічним архаїзмом для промислового майнінгу, але ідеальним кандидатом для нішевого застосування в домашніх системах опалення [26].

Технічні параметри :

- Хешрейт: 13.5 - 14.0 TH/s.
- Енергоспоживання: ~1320 Вт (стандарт). З використанням прошивки Braiins OS+ можна досягти 800-900 Вт у режимі Low Power Mode.
- Енергоефективність: ~98 J/TH. Вкрай низька ефективність робить його збитковим при будь-якому платному тарифі на електроенергію вище $0.02-0.03/кВт·год.

- Теплова генерація: При споживанні 1300 Вт, пристрій виділяє теплову енергію, еквівалентну роботі масляного обігрівача на повну потужність.

Ринкова вартість в Україні (2025) : Вартість на вторинному ринку (OLX та інші платформи) складає 1 000 - 3 650 грн. Це робить S9 доступним інструментом для експериментів без фінансових ризиків.

Для розрахунку використано прогнози ціни Bitcoin та складності мережі на кінець 2025 року. Банк Standard Chartered знизив свій прогноз ціни BTC на кінець 2025 року до $100 000 (з попередніх $200 000), зберігаючи довгостроковий оптимізм. Інші аналітики, такі як VanEck, зберігають ціль $180 000. Консенсус-прогноз для розрахунків приймемо на рівні $100 000 / BTC.

Хешпрайс (дохідність майнінгу) стагнує через зростання хешрейту мережі до 950 EH/s. На кінець 2025 року очікується хешпрайс на рівні $0.045 - $0.050 USD за TH/s на добу [27].

Таблициця 4.2 - Порівняльна характеристика сценаріїв та обладнання

Обладнання	**Antminer S19k Pro (120T)**	**Antminer S19k Pro (120T)**	**Antminer S9 (14T)**
Сценарій	**Мережа (4.32 грн)**	**Нічний тариф (2.16 грн)**	**Безкоштовно (Сонце)**
Дохід (USD/добу)	**$5.40**	**$5.40**	**$0.63**
Дохід (UAH/добу)	**226.8 грн**	**226.8 грн**	**26.5 грн**
Споживання (кВт·год/24г)	**66.24**	**66.24**	**31.68**
Вартість ЕЕ (UAH)	**286.15 грн**	**143.08 грн**	**0 грн**
Чистий прибуток (UAH)	**-59.35 грн**	**+83.72 грн**	**+26.5 грн**
Окупність (днів)	**Ніколи**	**~540 днів**	**~170 днів**

Аналітичний висновок: Прямий майнінг "з розетки" за стандартним тарифом 4.32 грн є збитковим навіть для найсучаснішого обладнання. Ключ до успіху лежить у використанні диференційованих тарифів та надлишків генерації.

4.4. Технічна реалізація: План інтеграції з інверторами Deye

Гібридні інвертори Deye серії SUN-SG04LP3 є де-факто стандартом для домашніх СЕС в Україні. Їх унікальна архітектура дозволяє реалізувати гнучке керування навантаженням без використання складних зовнішніх контролерів [20; 38]. Основою плану є використання порту генератора (GEN Port) у режимі Smart Load.

Налаштування функції Smart Load. Функція Smart Load дозволяє використовувати вихід генератора як вихід для живлення непріоритетних навантажень (майнерів), коли акумулятор заряджений, а сонячна енергія в надлишку.

Алгоритм налаштування (згідно п. 5.9 Інструкції Deye):

1. **Фізичне підключення:** Майнер підключається до клем *GEN* інвертора через контактор відповідної потужності (25А для S19k, 16А для S9).
2. **Програмна конфігурація:** В меню *Gen Port Use* активувати режим *Smart Load Output*.
3. **Параметри логіки (для S19k Pro):**

- Smart Load ON Batt: **98%**. Майнер вмикається, коли АКБ майже повна.
- Smart Load OFF Batt: **95%**. Майнер вимикається при найменшому просіданні заряду, захищаючи ресурс АКБ для будинку.
- PV Power: **3000W**. Поріг включення. Майнер запуститься тільки якщо поточна генерація сонця перевищує його споживання (2760 Вт) + базове навантаження будинку.

Ця конфігурація гарантує, що майнер S19k Pro буде працювати виключно на "вершках" енергії, не споживаючи ні вата з мережі чи акумулятора.

Схема "Гібридний режим + Нічний тариф". Для S19k Pro робота лише від сонця є економічно невиправданою через довгий період простою (окупність зросте до 5+ років). Тому пропонується гібридна схема:

- **День (11:00 - 15:00):** Робота через Smart Load (тільки надлишки).
- **Ніч (23:00 - 07:00):** Примусова робота від мережі за нічним тарифом.

Для реалізації цього в інверторі Deye використовується пункт меню "On Grid always on" (п. 5.9 Інструкції). Якщо поставити цю галочку і налаштувати зовнішній таймер на вхід керування (або використовувати розклад Time of Use), порт Smart Load буде активним, коли є мережа. Щоб обмежити це лише нічним часом, рекомендується встановити програмоване WiFi-реле (наприклад, Sonoff/Shelly) у розрив живлення майнера після порту Smart Load, налаштоване на включення за розкладом 23:00-07:00.

Економіка нічного режиму для S19k Pro:

- Споживання за ніч (8 год): 22.08 кВт·год.
- Вартість (2.16 грн/кВт): 47.7 грн.
- Видобуток (8 год): ~0.000018 BTC ($1.80 = 75.6 грн).
- **Чистий прибуток за ніч:** 27.9 грн.

Цей підхід дозволяє перекривати денні простої гарантованим нічним прибутком.

Термодинамічна інтеграція S9 в систему опалення. Antminer S9 споживає 1350 Вт електричної енергії, і згідно з законом збереження енергії, майже 100% цієї енергії перетворюється на тепло. Це еквівалентно 4600 BTU/год [54].

Інженерні рішення для відбору тепла:

1. **Повітряне опалення:** Встановлення S9 у шумопоглинаючий бокс (наприклад, з мінеральної вати) з виведенням теплого повітря через гофру

120мм у теплицю, гараж або житлову кімнату. Важливо забезпечити фільтрацію повітря (клас G4/F5), щоб пил не пошкодив плати.

2. **Імерсійне охолодження:** Занурення S9 у діелектричну рідину (мінеральне масло). Нагріте масло циркулює через пластинчастий теплообмінник, нагріваючи воду в контурі "тепла підлога" або радіаторах. Це дозволяє отримати теплоносій температурою 40-50°C, ідеальний для низькотемпературних систем опалення.

У цьому сценарії витрати на електроенергію (136 грн/добу при роботі 24/7) розглядаються як комунальні витрати на опалення. А отримані 0.0000063 BTC ($0.63 або 26.5 грн) є "кешбеком". **Результат:** Вартість опалення знижується на 19.5% ($0.63 / $3.25 витрат енергії). Жоден інший електрокотел не дає знижки на електрику.

4.5. Аналіз ризиків та нормативно-правове середовище 2025 року

Реалізація плану неможлива без урахування жорстких регуляторних рамок, що діють в Україні станом на 2025 рік.

Регуляторні обмеження та P2P перекази. Для боротьби з тіньовою економікою НБУ запровадив ліміт на P2P перекази у розмірі 150 000 грн на місяць (діє до квітня 2025 року з можливістю продовження).

- **Вплив на проєкт:** Дохід від одного S19k Pro (~2500-3000 грн/місяць) та одного S9 (~800 грн) є значно меншим за поріг фінмоніторингу (400 000 грн) та P2P ліміт. Це дозволяє безпечно виводити кошти на власну картку [58].
- **Масштабування:** При збільшенні парку до 10+ пристроїв необхідно реєструвати ФОП або використовувати крипто-біржі з IBAN-виводами (WhiteBIT, Kuna), які не підпадають під ліміти P2P.

Оподаткування та легалізація. Станом на 2025 рік в Україні триває процес імплементації європейського регламенту MiCA. Законопроєкт №10225-д передбачає ставку податку на прибуток від криптоактивів для

фізичних осіб на рівні 18% ПДФО + 1.5% (або 5% за новими ініціативами) військового збору [4; 65].

- **Стратегія:** Для "домашнього" майнінгу з невеликими обсягами оптимальним є накопичення (HODL) активів до моменту законодавчого врегулювання пільгових ставок (обговорюються ставки 5-9% для резидентів Дія.City або спецрежимів). Сплата повних 19.5-23% податків з мінімального прибутку S19k Pro (83 грн/добу) може зробити бізнес-модель гранично рентабельною.

Ризик підвищення тарифів. Прогнози НБУ та Меморандум з МВФ вказують на неминучість приведення тарифів для населення до ринкового рівня (близько 7-8 грн/кВт·год) [8].

- **Чутливість:** При тарифі 7 грн/кВт·год, навіть S19k Pro стане збитковим у нічний час.
- S9 залишиться актуальним лише як опалення, де вартість альтернатив (газ, дрова) також зростатиме.
- **Хеджування:** Єдиним захистом є збільшення власної генерації (додаткові PV-панелі) для підвищення частки "безкоштовної" енергії в міксі.

4.6. Висновки та рекомендації

1. **Економічна доцільність:** Майнінг на базі S19k Pro є рентабельним (ROI ~50% річних) лише при комбінації "Smart Load" (безкоштовна сонячна енергія) та нічного тарифу. Майнінг 24/7 за загальним тарифом є збитковим.
2. **Роль застарілого обладнання:** Antminer S9 не слід списувати. Він є ідеальним інструментом для монетизації "сміттєвої" енергії (коротких піків генерації, які не встигає використати S19k) та для субсидування витрат на опалення взимку.
3. **Автоматизація:** Успіх плану критично залежить від налаштування інвертора Deye. Використання функції Smart Load Output з порогами включення по напрузі АКБ (98%) та потужності PV (3000 Вт)

дозволяє повністю автоматизувати процес, виключаючи людський фактор та ризик розряду домашніх акумуляторів.

4. **Стратегія:** Рекомендується поетапне впровадження: старт з одного S9 для тестування теплового відбору взимку 2025 року, з подальшим придбанням S19k Pro ближче до літнього сезону високої інсоляції, коли профіцит енергії стане стабільним.

Розроблений план трансформує пасивну систему домашньої СЕС у активний фінтех-інструмент, що не лише забезпечує енергонезалежність, але й генерує пасивний дохід, компенсуючи витрати на утримання домогосподарства.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішено науково-прикладну задачу підвищення ефективності використання розподіленої генерації приватних домогосподарств в умовах трансформації енергоринку України. На основі проведених досліджень сформульовано наступні висновки:

1. Проблематика: Встановлено, що ринок приватної сонячної енергетики в Івано-Франківській області досяг точки насичення (понад 5290 об'єктів), що призводить до системних технічних обмежень генерації. Традиційні моделі монетизації ("зелений тариф", Net Billing) втрачають привабливість через зниження ставок, бюрократичні перепони та неможливість фізичного експорту енергії в перевантажені мережі.

2. Енергетичний профіль: Детальний аналіз телеметричних даних показав, що типове домогосподарство (5.16 кВт PV, 5.12 кВт·год АКБ) має яскраво виражені періоди профіциту енергії, особливо у весняно-літній період (березень-вересень), коли рівень заряду акумуляторів (SOC) досягає 100% вже до 11:00 ранку. У ці періоди втрати енергії без додаткового навантаження можуть сягати 30-40% від денної генерації.

3. Технічне рішення: Доведено технічну можливість та доцільність інтеграції ASIC-майнерів (на прикладі Antminer S19k Pro) через функціонал Smart Load гібридних інверторів Deye. Розроблений алгоритм керування (ON при SOC > 95% та PV > 3000 Вт) дозволяє автоматично утилізувати надлишки без ризику глибокого розряду акумуляторної батареї, який був би неминучим при прямому підключенні, як показав аналіз даних за 27 вересня.

4. Економічна ефективність:

- Дохідність майнінгу (близько 3.7 грн/кВт·год) наразі є дещо нижчою за розрахунковий тариф Net Billing (4.7 грн/кВт·год), проте майнінг є безальтернативним джерелом доходу у періоди обмеження експорту в мережу.
- У сценарії "когенерації" (використання тепла майнерів для опалення) сумарна економічна ефективність досягає 8.03 грн/кВт·год, що

робить цю модель найвигіднішою стратегією енергоменеджменту в опалювальний сезон.

- Інтеграція майнінгового обладнання дозволяє скоротити загальний термін окупності СЕС на 15-20% завдяки диверсифікації джерел доходу та накопиченню дефляційного активу (Bitcoin).

Правовий аспект: Впровадження законодавчого регулювання ринку віртуальних активів (Законопроєкт №10225-д) із пільговою ставкою оподаткування 5% створює необхідні правові умови для легалізації такої діяльності домогосподарств, перетворюючи її на повноцінний малий бізнес.

Рекомендації: Власникам приватних СЕС рекомендується розглядати майнінг не як заміну "зеленому" тарифу, а як інструмент утилізації пікових надлишків та систему резервного опалення, що підвищує загальну стійкість та рентабельність домогосподарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Глобальний огляд ринку сонячної енергетики 2024-2028 [Електронний ресурс] / SolarPower Europe. - Електронні дані. - Брюссель : SolarPower Europe, 2024. - Режим доступу: https://www.solarpowereurope.org/ (дата звернення: 12.10.2025).

2. Про ринок електричної енергії [Електронний ресурс] : Закон України від 13 квіт. 2017 р. № 2019-VIII. - Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19 (дата звернення: 12.10.2025).

3. Розвиток розподіленої генерації в Україні: виклики та можливості [Електронний ресурс] : аналітичний звіт / DiXi Group. - Електронні дані. - Київ, 2024. - Режим доступу: https://dixigroup.org/ (дата звернення: 24.10.2025).

4. Про внесення змін до Податкового кодексу України та інших законодавчих актів України щодо врегулювання обороту віртуальних активів в Україні [Електронний ресурс] : проект Закону України № 10225-д від 15 квіт. 2025 р. - Режим доступу: https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/43092 (дата звернення: 12.10.2025).

5. Податковий кодекс України [Електронний ресурс] : Кодекс України від 02 груд. 2010 р. № 2755-VI. - Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17 (дата звернення: 12.10.2025).

6. Кодекс систем розподілу [Електронний ресурс] : затверджено постановою НКРЕКП від 14 берез. 2018 р. № 310. - Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18 (дата звернення: 12.10.2025).

7. Про затвердження Порядку продажу та обліку електричної енергії, виробленої активними споживачами [Електронний ресурс] : Постанова НКРЕКП від 29 груд. 2023 р. № 2650. - Режим доступу: https://www.nerc.gov.ua/ (дата звернення: 12.10.2025).

8. Енергетична стратегія України на період до 2050 року [Електронний ресурс] : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 квіт. 2023 р. № 373-р. - Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/ (дата

звернення: 12.10.2025).

9. Про альтернативні джерела енергії [Електронний ресурс] : Закон України від 20 лют. 2003 р. № 555-IV. - Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15 (дата звернення: 12.10.2025).

10. Відновлювана енергетика 2024: Аналіз та прогноз до 2030 року [Електронний ресурс] / Міжнародне енергетичне агентство (IEA). - Електронні дані. - Париж : IEA, 2024. - Режим доступу: https://www.iea.org/reports/renewables-2024 (дата звернення: 12.10.2025).

11. Перспективи світових енергетичних переходів 2024 [Електронний ресурс] / IRENA. - Електронні дані. - Абу-Дабі : Міжнародне агентство відновлюваної енергетики, 2024. - Режим доступу: https://www.irena.org/ (дата звернення: 12.10.2025).

12. Скільки сонячних електростанцій запрацювали на Івано-Франківщині у 2024 році [Електронний ресурс] // Суспільне Новини : вебсайт. - 2025. - 20 лютого. - Режим доступу: https://suspilne.media/ivano-frankivsk/ (дата звернення: 12.10.2025).

13. Про віртуальні активи [Електронний ресурс] : Закон України від 17 лют. 2022 р. № 2074-IX. - Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2074-20 (дата звернення: 12.10.2025).

14. Кулик М. М. Проблеми та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні / М. М. Кулик // Вісник НАН України. - 2020. - № 2. - С. 34-42.

15. Гелетуха Г. Г. Стан та перспективи розвитку біоенергетики та відновлюваних джерел енергії в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Желєзна // Промислова теплотехніка. - 2021. - Т. 43, № 2. - С. 78-85.

16. Енергетична безпека України: Світові та національні виклики / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк. - Київ : Українські енциклопедичні знання, 2022. - 380 с.

17. Шидловський А. К. Підвищення якості енергії в електричних мережах з відновлюваними джерелами / А. К. Шидловський, М. П. Кузнецов.

- Київ : Наукова думка, 2019. - 215 с.

18. Зоріна О. І. Аналіз ефективності впровадження механізму Net Billing для просьюмерів в Україні / О. І. Зоріна // Енергетика та автоматика. - 2024. - № 2. - С. 45-52.

19. Мартинюк О. В. Техніко-економічні аспекти використання сонячної енергії в домогосподарствах України / О. В. Мартинюк // Відновлювана енергетика. - 2023. - № 1(72). - С. 12-18.

20. Посібник користувача Deye SUN-12K-SG04LP3-EU [Електронний ресурс] / Deye Inverter Technology. - Електронні дані. - 2023. - Режим доступу: https://deye.com/ (дата звернення: 24.10.2025).

21. Технічна специфікація TW Solar TWMND-54HS430 [Електронний ресурс] / TW Solar. - Електронні дані. - 2024. - Режим доступу: https://www.tw-solar.com/ (дата звернення: 24.10.2025).

22. Технічна специфікація акумулятора Deye SE-G5.1 Pro-B [Електронний ресурс] / Deye Ess. - Електронні дані. - 2023. - Режим доступу: https://deyeess.com/ (дата звернення: 24.10.2025).

23. Накамото С. Біткойн: Електронна грошова система «рівний-рівному» (Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System) [Електронний ресурс] / С. Накамото. - Електронні дані. - 2008. - Режим доступу: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf (дата звернення: 24.10.2025).

24. Стандарт безпечного хешування (SHS) [Електронний ресурс] : FIPS PUB 180-4 / Національний інститут стандартів і технологій США (NIST). - Електронні дані. - Гейтерсбург, 2015. - Режим доступу: https://nvlpubs.nist.gov/ (дата звернення: 24.10.2025).

25. Технічні характеристики Antminer S19k Pro [Електронний ресурс] / Bitmain. - Електронні дані. - 2023. - Режим доступу: https://www.bitmain.com/ (дата звернення: 24.10.2025).

26. Посібник зі встановлення Antminer S9 [Електронний ресурс] / Bitmain. - Електронні дані. - 2016. - Режим доступу: https://support.bitmain.com/ (дата звернення: 24.10.2025).

27. Індекс хешрейту: Дані майнінгу біткойна [Електронний ресурс] / Luxor Technologies. - Електронні дані. - Режим доступу: https://hashrateindex.com/ (дата звернення: 24.10.2025).

28. Кембриджський індекс споживання електроенергії біткойном (CBECI) [Електронний ресурс] / Кембриджський центр альтернативних фінансів. - Електронні дані. - Режим доступу: https://ccaf.io/cbeci (дата звернення: 07.11.2025).

29. Документація Braiins OS+ [Електронний ресурс] / Braiins Systems. - Електронні дані. - Режим доступу: https://braiins.com/os/ (дата звернення: 07.11.2025).

30. Картер Н. Біткойн Нет-Зеро (Bitcoin Net Zero) [Електронний ресурс] / Н. Картер, Р. Стівенс. - Електронні дані. - NYDIG, 2021. - Режим доступу: https://nydig.com/ (дата звернення: 07.11.2025).

31. Батія К. Стандарт Біткойна: Децентралізована альтернатива центральному банкінгу / К. Батія. - Хобокен : John Wiley & Sons, 2018. - 304 с.

32. Вранкен Х. Сталість біткойна та блокчейнів / Х. Вранкен // Current Opinion in Environmental Sustainability. - 2017. - Том 28. - С. 1-9.

33. Де Фріз А. Зростаюча енергетична проблема Біткойна / А. Де Фріз // Joule. - 2018. - Том 2, Вип. 5. - С. 801-805.

34. Бендіксен К. Майнінг Біткойна та енергетика: Оновлення 2023 [Електронний ресурс] / К. Бендіксен // CoinShares Research. - Електронні дані. - 2023. - Режим доступу: https://coinshares.com/ (дата звернення: 07.11.2025).

35. Столл К. Вуглецевий слід Біткойна / К. Столл, Л. Клаассен, У. Галлерсдорфер // Joule. - 2019. - Том 3, Вип. 7. - С. 1647-1661.

36. Матвієнко О. В. Аналіз енергоефективності використання ASIC-майнерів у системах теплопостачання / О. В. Матвієнко // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. - 2022. - № 3. - С. 56-62.

37. Карпенко В. І. Перспективи інтеграції майнінгових ферм у "розумні" енергомережі / В. І. Карпенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2023. - № 1. - С. 22-29.

38. Обговорення функцій AUX/Smart Load інверторів Deye/Sunsynk [Електронний ресурс] // Power Forum. - Електронні дані. - 2021. - 16 грудня. - Режим доступу: https://powerforum.co.za/ (дата звернення: 07.11.2025).

39. Майнінг на надлишковій сонячній енергії: Посібник для просьюмерів [Електронний ресурс] // Luxor Tech. - Електронні дані. - 2024. - Режим доступу: https://luxor.tech/ (дата звернення: 07.11.2025).

40. Посібник з прибутковості Antminer S19k Pro та S19 [Електронний ресурс] // Hashrate Index : блог. - Електронні дані. - 2023. - 7 листопада. - Режим доступу: https://hashrateindex.com/ (дата звернення: 07.11.2025).

41. Розуміння функціоналу Deye Smart Load [Електронний ресурс] // SolarAssistant Help. - Електронні дані. - Режим доступу: https://solar-assistant.io/ (дата звернення: 07.11.2025).

42. Відновлювана енергетика та майнінг криптовалют [Електронний ресурс] : Біла книга / Gridless Compute. - Електронні дані. - 2023. - Режим доступу: https://gridlesscompute.com/ (дата звернення: 07.11.2025).

43. Чжоу Ю. Управління попитом в енергетичних мережах на базі блокчейну / Ю. Чжоу та ін. // IEEE Transactions on Industrial Informatics. - 2020. - Том 16, Вип. 6. - С. 4128-4137.

44. Барата М. Економічний аналіз фотоелектричних акумуляторних систем для житлових будинків / М. Барата та ін. // Energy. - 2019. - Том 183. - С. 1195-1207.

45. Аналіз ефективності обладнання для ASIC-майнінгу [Електронний ресурс] / ASIC Miner Value. - Електронні дані. - 2025. - Режим доступу: https://www.asicminervalue.com/ (дата звернення: 18.11.2025).

46. Огляд Ради майнінгу Біткойна за 1 півріччя 2024 року [Електронний ресурс] / BMC. - Електронні дані. - 2024. - Режим доступу: https://bitcoinminingcouncil.com/ (дата звернення: 18.11.2025).

47. План відновлення енергетичного сектору України [Електронний ресурс] / Міністерство енергетики України. - Електронні дані. - 2024. - Режим доступу: https://mev.gov.ua/ (дата звернення: 18.11.2025).

48. Інтеграція ВДЕ в об'єднану енергосистему України : монографія / за ред. О. В. Кириленка. - Київ : Інститут електродинаміки НАН України, 2021. - 280 с.

49. Технології розподіленої генерації : навчальний посібник / В. П. Розен та ін. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. - 164 с.

50. Прайс-листи на обладнання Deye в Україні [Електронний ресурс]. - 2025. - Режим доступу: https://deye.com.ua/ (дата звернення: 18.11.2025).

51. Статистика цін на ринку "на добу наперед" [Електронний ресурс] / ДП "Оператор ринку". - Електронні дані. - Режим доступу: https://www.oree.com.ua/ (дата звернення: 18.11.2025).

52. Звіт про оцінку відповідності генеруючих потужностей [Електронний ресурс] / НЕК "Укренерго". - Електронні дані. - 2024. - Режим доступу: https://ua.energy/ (дата звернення: 04.12.2025).

53. Майнінг криптовалют як гнучке навантаження [Електронний ресурс] / Інститут досліджень електроенергетики (EPRI). - Електронні дані. - Пало-Альто, 2022. - 34 с. - Режим доступу: https://www.epri.com/ (дата звернення: 04.12.2025).

54. Андре А. С. Утилізація тепла від майнінгу криптовалют / А. С. Андре // Дандерід, Швеція : Huawei Technologies Sweden AB. - 2020.

55. Посібник користувача блоку живлення Bitmain Antminer APW12 [Електронний ресурс]. - Електронні дані. - Режим доступу: https://bitmain.com/ (дата звернення: 04.12.2025).

56. Рекомендації щодо приєднання малих СЕС до мережі [Електронний ресурс] / Держенергоефективності. - Електронні дані. - Київ, 2023. - Режим доступу: https://saee.gov.ua/ (дата звернення: 04.12.2025).

57. Коваленко С. М. Особливості роботи літій-залізо-фосфатних акумуляторів у системах сонячної енергетики / С. М. Коваленко // Відновлювана енергетика. - 2022. - № 4. - С. 45-51.

58. Аналіз ринку криптовалют в Україні [Електронний ресурс] / Kuna Research. - Електронні дані. - 2024. - Режим доступу: https://kuna.io/ (дата

звернення: 04.12.2025).

59. Прогноз ціни Біткойна від Standard Chartered [Електронний ресурс] // Bloomberg. - Електронні дані. - 2025. - Режим доступу: https://www.bloomberg.com/ (дата звернення: 12.12.2025).

60. Посібник користувача розумного перемикача Sonoff [Електронний ресурс] / ITEAD. - Електронні дані. - Режим доступу: https://sonoff.tech/ (дата звернення: 12.12.2025).

61. Документація лічильника енергії Shelly EM [Електронний ресурс] / Allterco Robotics. - Електронні дані. - Режим доступу: https://shelly.cloud/ (дата звернення: 12.12.2025).

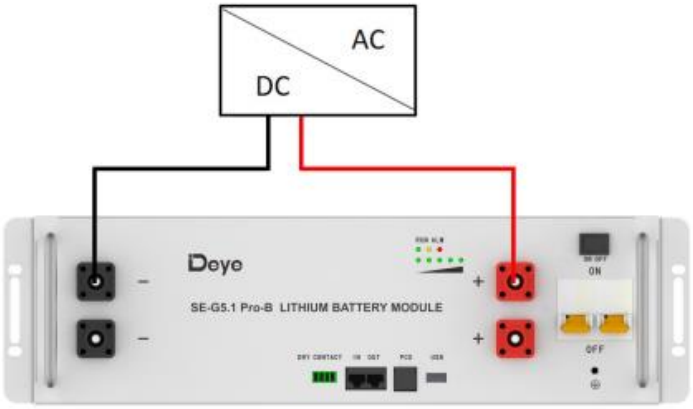
62. Інформація про стан підключення об'єктів ВДЕ до мереж АТ "Прикарпаттяобленерго" [Електронний ресурс]. - 2025. - Режим доступу: https://oe.if.ua/ (дата звернення: 12.12.2025).

63. Конг Л. Економіка майнінгу Біткойна / Л. Конг та ін. // Journal of Financial Economics. - 2021. - Том 140. - С. 1-25.

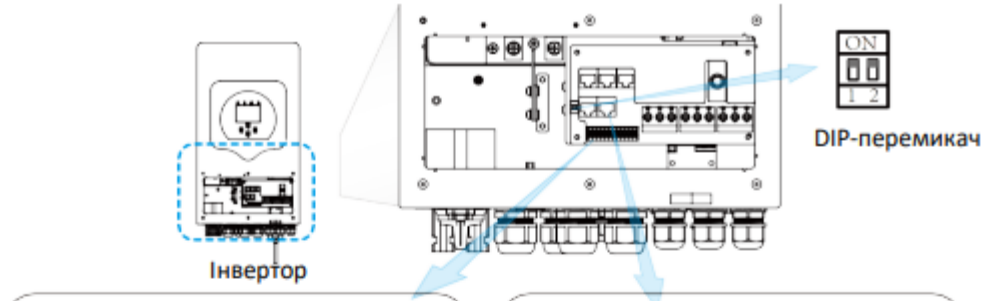
64. Правовий статус криптоактивів в Україні [Електронний ресурс] / Juscutum Legal Engineering. - Електронні дані. - 2024. - Режим доступу: https://juscutum.com/ (дата звернення: 12.12.2025).

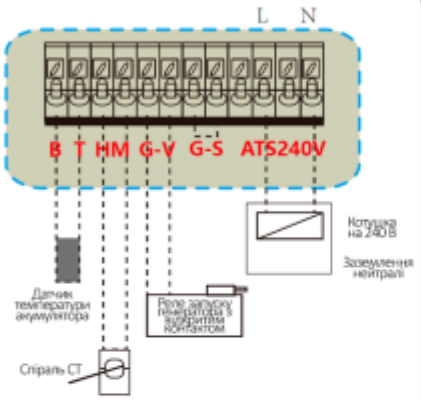
ДОДАТКИ

ДОДАТОК А



ДОДАТОК Б



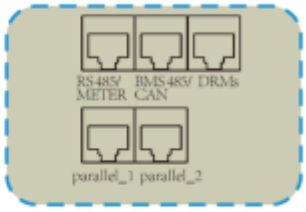


BT: Датчик температури акумулятора для свинцевого акумулятора.

HM: Трансформатор струму для режиму "нульового виведення на CT".

GV/GS: Сухий контактний сигнал для запуску дизельного генератора.

Коли "Сигнал GEN" активний, відкритий контакт (GV/GS) вмикається (немає вихідної напруги). Якщо встановлено прапорець "Сигнал ISLAND MODE", порт GS буде сухим контактним сигналом для запуску дизельного генератора. Якщо прапорець "Сигнал ISLAND MODE" не встановлено, порт GV буде сухим контактним сигналом для запуску дизельного генератора.



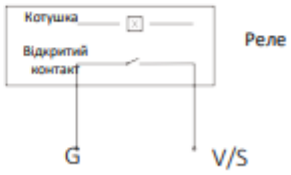
RS485/METER: RS485-порт для комунікації з лічильником.
BMS 485/CAN: RS485-порт BMS для комунікації з батареєю.
DRMs: Тільки для ринку Австралії.
Parallel 1: Порт паралельного з'єднання 1 (інтерфейс CAN).
Parallel 2: Порт паралельного з'єднання 2 (інтерфейс CAN).

ATS: Порт виходу 230 Вольт, коли інвертор включений. (ATS - автоматичний перемикач передачі живлення)

DIP-перемикач: Резистор паралельної комунікації

Якщо кількість інверторів у паралельній системі менше або дорівнює 6, то всі DIP-перемикачі (1 та 2) інверторів мають бути в положенні ON.

Якщо кількість інверторів у паралельній системі перевищує 6, то головні 6 інверторів мають мати DIP-перемикачі в положенні ON. Інші DIP-перемикачі інших інверторів (1 та 2) мають бути в положенні OFF.



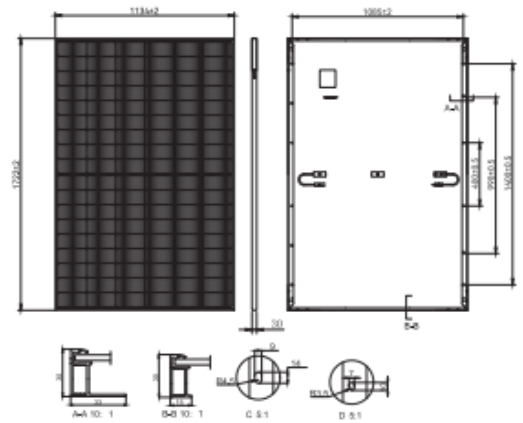
GV/GS

(сигнал запуску дизельного генератора)

ДОДАТОК В

TWMND N-type Half-cell Monofacial Black Frame Module (54) **54HS420-440W**

DRAWINGS (Unit: mm)



MECHANICAL PARAMETERS

Cells	TNC (N Type Monocrystalline Cell)
Cell Orientation	108[6X18]
Dimension	1722±2X1134±2X30mm
Weight	20.5kg
Front Glass	3.2mm high transmittance, AR coated tempered glass
Backsheet	White
Frame	Anodized aluminum alloy black frame
Junction Box	IP68, 3 diodes
Output Cable	4.0mm²
Cable Length	±1200mm, length can be customized
Wind/Snow Load	2400Pa/5400Pa
Packaging	36pcs per pallet, 936pcs per 40'HC

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (STC)

Module Type: TWMND-54HSXXX					
Maximum Power: Pmax [W]	420	425	430	435	440
Open Circuit Voltage: Voc [V]	38.85	39.00	39.15	39.30	39.45
Short Circuit Current: Isc [A]	13.57	13.62	13.67	13.72	13.77
Voltage at Maximum Power: Vmp [V]	32.92	33.09	33.26	33.43	33.60
Current at Maximum Power: Imp [A]	12.76	12.85	12.93	13.01	13.10
Module Efficiency: η [%]	21.5	21.8	22.0	22.3	22.5

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (NMOT)

Maximum Power: Pmax [W]	316.0	320.0	324.0	327.8	331.8
Open Circuit Voltage: Voc [V]	36.89	37.04	37.19	37.33	37.47
Short Circuit Current: Isc [A]	10.90	10.96	11.02	11.06	11.10
Voltage at Maximum Power: Vmp [V]	30.64	30.81	30.98	31.14	31.30
Current at Maximum Power: Imp [A]	10.31	10.39	10.46	10.52	10.60

* STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25℃, Air Mass1.5, Measuring Tolerance: ±3%
* NMOT: Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20℃, Air Mass1.5, Wind Speed 1m/s

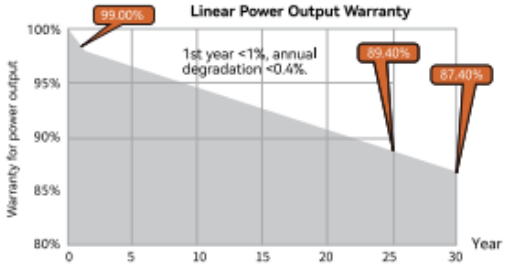
TEMPERATURE PARAMETERS

Temperature Coefficient (Pmax)	-0.30%/℃
Temperature Coefficient (Voc)	-0.25%/℃
Temperature Coefficient (Isc)	+0.046%/℃
NMOT	45±2℃

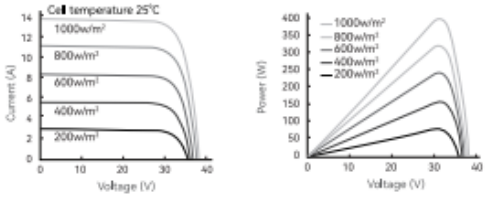
MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40℃~+85℃
Maximum System Voltage	1500V DC
Maximum Series Fuse Rating	25A
Power Output Tolerance	0~+5W

WARRANTY



I-V CURVE



CERTIFICATIONS

Quality Management System and Product Certification

ISO 9001:2015 / quality management system
ISO 14001:2015 / environmental management system
ISO 45001:2018 / occupation health safety management system
ISO 50001:2011 / energy management system
IEC TS 62941—2016 / PV industry quality management system
IEC 61215/61730、IEC 62804(PID)、IEC 61701(Salt)、
IEC 62716 (Ammonia)、IEC 60068-2-68(Sand)