

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра механіки та інженерії агроєкосистем**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ЧЕРЕДНИЧЕНКО Владислав Сергійович

УДК 620.92

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування параметрів енергозабезпечення малого аграрного
підприємства із використанням фотовольтаїки**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____В.С.Чередниченко

Керівник роботи

Кухарець С. М.

Доктор технічних наук, професор

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Чередниченко Владислав Сергійович. Обґрунтування параметрів енергозабезпечення малого аграрного підприємства із використанням фотовольтаїки. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Для забезпечення енергією малого підприємства можна використати комбіновану систему, що містить вітроелектростанцію, сонячну електростанцію та геліоколектора. Доречним також буде включення до складу системи теплового насоса.

Для станції обираємо монокристалічні сонячні модулі Delta BST 360-24M. Приймаємо 12 модулів, включених паралельно. Також обираємо інвертор Afore BNT030KTL що містить убудований MPPT контролер заряду акумуляторів від сонячних батарей. Також обираємо акумулятори ALVA AS12-60. Необхідна кількість батарей становитиме 8.

Для забезпечення гарячого водопостачання використаний вакуумний колектор SH-300-24-2. Розрахунки показують, що ця система спроможна повністю забезпечити гарячою водою 5...7 працівників, з нормою споживання гарячої води 90 л/добу, у період із квітня до серпня, і частково в інші місяці.

Ключові слова; сонячний модуль, геліоколектор, електроенергія, теплова енергія.

ANNOTATION

Cherednichenko Vladislav. Substantiation of parameters of energy supply of a small agricultural enterprise with the use of photovoltaics. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – Agricultura l Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

To provide energy to a small business, you can use a combined system that includes a wind farm, solar power plant and solar collector. It will also be appropriate to include a heat pump in the system.

For the station we choose single-crystal solar modules Delta BST 360-24M. We accept 12 modules connected in parallel. We also choose the Afore BNT030KTL inverter which contains the built-in MPPT controller of a charge of accumulators from solar batteries. We also choose ALVA AS12-60 batteries. The required number of batteries will be 8.

A vacuum collector SH-300-24-2 was used to provide hot water supply. Calculations show that this system is able to fully provide hot water to 5... 7 employees, with a hot water consumption of 90 l/day, in the period from April to August, and partially in other months.

Keywords; solar module, solar collector, electricity, thermal energy.

Зміст

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. ВИБІР ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ.....	7
Висновок до розділу 1	14
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ ТА ВЕУ	15
Висновки до розділу 2	23
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА.....	24
Висновок до розділу 3	29
ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

ВСТУП

З кожним роком відновлювана енергетика набирає колосальних обертів у світі. Понад 170 країн запланували використання поновлюваних джерел енергії, 150 із них активно інвестують у чисту енергію. Яскравими представниками зеленої енергетики стали такі країни як Китай, Індія, США, Німеччина та Данія. З кожним роком все більше країн вкладається у розвиток відновлюваної енергетики.

З усіх технологій, що використовують Сонце, фотоелектрична енергетика має найбільш вражаючі перспективи. Фотоелектричні установки не містять частин, що рухаються, надійні, мають порівняно просту будову, практично не вимагають догляду і дбайливо ставляться до навколишнього середовища.

Від вибору схеми споживання енергії, що виробляється сонячним колектором, залежить економічна доцільність використання сонячної енергії. Відомо значну кількість принципових схем використання сонячної енергії для теплопостачання із застосуванням різноманітних теплоносіїв

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – обґрунтувати систему енергопостачання малого аграрного підприємства від відновлюваних джерел енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- виконати аналіз доцільних для системи відновлюваних джерел енергії;
- обґрунтувати параметри системи забезпечення електричною енергією;
- обґрунтувати параметри системи забезпечення теплової енергії;

Об'єкт дослідження: елементи конструкції системи забезпечення енергією.

Предмет дослідження: взаємозв'язок параметрів елементів обладнання для використання відновлюваної енергії з техніко-технологічними показниками системи енергопостачання.

Практичне значення одержаних результатів. Основні результати дослідження спрямовані на вдосконалення використання відновлюваної енергії для забезпечення електричною та тепловою енергією.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 12 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 33 сторінки основного тексту.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. ВИБІР ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

З кожним роком відновлювана енергетика набирає колосальних обертів у світі. Понад 170 країн запланували використання поновлюваних джерел енергії, 150 із них активно інвестують у чисту енергію. Яскравими представниками зеленої енергетики стали такі країни як Китай, Індія, США, Німеччина та Данія. З кожним роком все більше країн вкладається у розвиток відновлюваної енергетики.

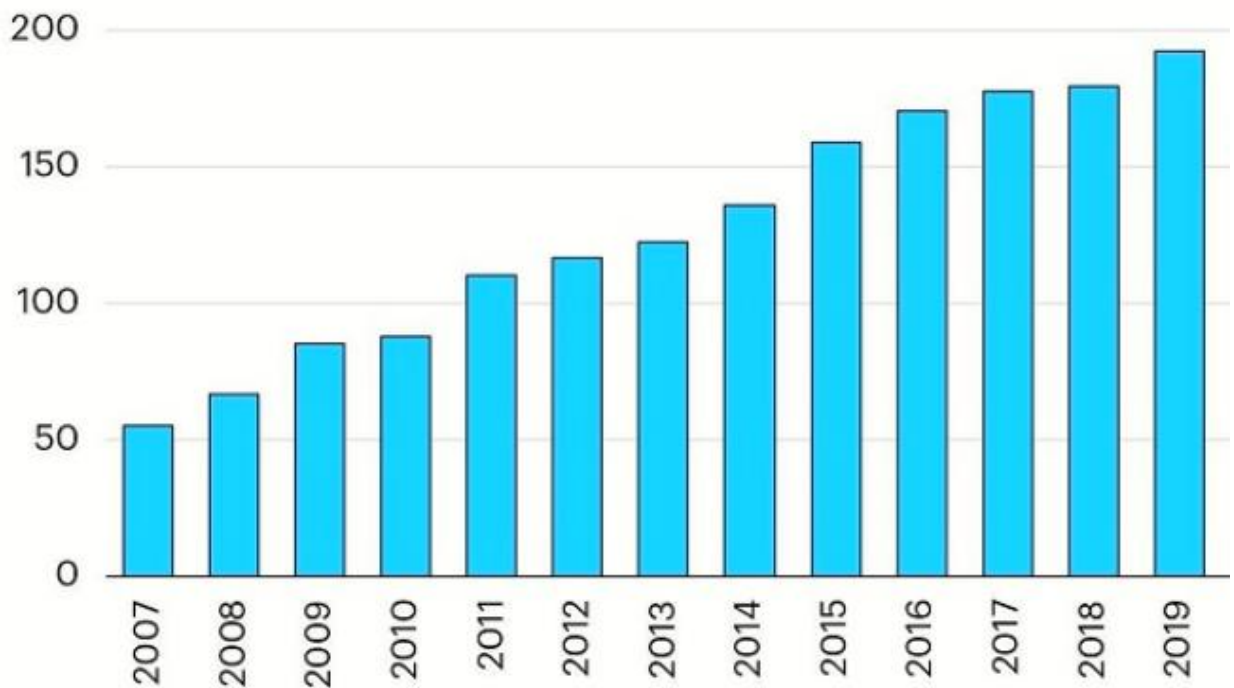


Рис. 1.1 Розвиток відновлюваної енергетики у світі [1]

Китай визнається беззаперечним лідером з інвестицій, країна багато інвестує як у будівництво станцій, так і у виробництво технологій – батареї та електротранспорт. Хоча енергетика Китаю все ще залежить від вугілля, відновлювані джерела енергії (ВДЕ) займають значну частину енергії країни.

Наприклад, у 2019 році Китай побудував 177 ГВт сонячних та 199 ГВт вітрових електростанцій. Також Китай генерує понад 70% від світового виробництва з виготовлення сонячних батарей [2].

Активне інвестування у ВДЕ у Данії призводить до світового рекорду у 2019 році – 43% усіх потреб та в електроенергії покрили вітроелектростанції. Зберігши за собою лідерську позицію в 2020 році, Данія виробляє вже 50% (47 від вітрових установок і 3% від сонячних) [3].

Індія є економікою, що швидко зростає, з населенням в 1,34 млрд осіб. Завдяки впровадженню «зелених» аукціонів, в Індії створюється конкурентніший ринок у світі. Така ініціатива призводить до того, що погляд уряду переходить із вугілля на ВДЕ [4].

Вітроенергетичні установки (ВЕУ). Це галузь енергетики, що спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері в електричну, теплову та будь-яку іншу форму енергії для використання у народному господарстві. Перетворення відбувається за допомогою вітрогенератора (для отримання електрики), вітряків (для отримання механічної енергії) та багатьох інших видів агрегатів. Потужність вітрогенератора залежить від площі, що захоплюється лопатями генератора [5, 6, 7].

Найгостріше питання вітроенергетики – економічна ефективність ВЕУ. Дуже важливо вибрати правильне місце для встановлення агрегатів. І тому існують спеціальні характеристики, дозволяють правильно підібрати місце розташування. Найбільш перспективними місцями для енергії з вітру вважаються прибережні зони. У морі, на відстані 10-12 км від берега (іноді й далі) будуються офшорні ферми. Башти вітрогенераторів встановлюють фундаменти із палей, забитих на глибину до 30 метрів. Також можуть використовуватися інші типи підводних фундаментів, а також плаваючі основи. Не варто забувати, що продуктивність енергії залежить від двох основних чинників: напряму та швидкості вітру.

Сонячна енергія займає лідируючу позицію серед ВДЕ і досить доступна. Сонячне випромінювання, внаслідок того, що воно походить від джерела з температурою яскравості близько 6000 С, з термодинамічної точки зору є високоякісним первинним джерелом енергії, що допускає принципову можливість її перетворення в інші види енергії (електроенергія, тепло, холод та ін) з високим ККД. Однак суттєвими її недоліками з технічного погляду є нестабільність (добова, сезонна, погодна) та відносно мала щільність енергетичного потоку.

Ці властивості сонячного випромінювання ускладнюють створення ефективних енергетичних пристроїв, оскільки потрібна велика площа для приймачів сонячного випромінювання та створення акумуляторів енергії. В результаті, незважаючи на «безкоштовність» самого сонячного випромінювання, вартість сонячних установок виявляється високою, що знижує їхню конкурентоспроможність по відношенню до традиційних енергоустановок, що використовують дешеве органічне паливо. Сонячна енергія все ширше використовується для нагрівання різних теплоносіїв (гаряче водопостачання, опалення, сушіння, термохімічні холодильні установки тощо), для виробництва електроенергії (фотоелектричні перетворювачі та сонячні енергоустановки з термодинамічним перетворенням енергії), в сонячній архітектурі та інших сферах [5, 6, 7].

З усіх технологій, що використовують Сонце, фотоелектрична енергетика має найбільш вражаючі перспективи. Фотоелектричні установки не містять частин, що рухаються, надійні, мають порівняно просту будову, практично не вимагають догляду і дбайливо ставляться до навколишнього середовища. До того ж, вони використовують енергію Сонця безпосередньо і починають роботу відразу, як тільки на них впадуть промені світла [5, 6, 7].

Усі фотоелектричні системи можна розділити на два основні типи: з'єднані з промисловою електричною мережею та автономні. Станції першого

типу вироблену енергію віддають безпосередньо у промислову мережу, яка є одночасно і накопичувачем енергії, та її розподільником. Потужність станцій може досягати кількох МВт [5, 7].

Мережеві сонячні електростанції (СЕС). Найпростіша схема сонячної електростанції (і найпростішої СЕС) представлена рис. 1.2. Для нормальної роботи необхідно підключення до зовнішньої електромережі. Наявність та якість зовнішньої електромережі має критичне значення для роботи СЕС. За її відсутності, чи невідповідності нормам така СЕС стає марною навіть у сонячну і безхмарну погоду. Ця залежність від центрального електропостачання є основним недоліком таких СЕС [5].

До переваг слід віднести відносну, але суттєву дешевизну СЕС та вищий загальний ККД системи (90...95%) порівняно з іншими типами СЕС. Ці дві якості роблять цей тип СЕС безсумнівно привабливішим для вироблення електроенергії та її продажу.



Рис. 1.2. Схема мережевої сонячної електростанції

Гібридні СЕС (автономні, з'єднані із мережею). Являють собою базову схему мережевої СЕС з додаванням блоку акумуляторних батарей (АКБ), контролера заряду та заміною мережевого інвертора на гібридний. Окремою

особливістю є можливість запасати частину виробленої електроенергії в АКБ (рис. 1.3).

Завдяки наявності блоку АКБ, вони менш залежні від джерела центрального електропостачання. Такі СЕС застосовують переважно як частину системи безперебійного живлення там, де центральне електропостачання недостатньо чи нестабільно. До недоліків слід віднести високу ціну системи, за рахунок використання АКБ і потужності інвертора, які повинні бути тим більше, чим більше потрібно часу безперебійної роботи та навантажень, що підключаються, відповідно [6, 7].



Рис. 1.3. Схема автономної, з'єднаної з мережею (гібридною) СЕС

СЕС, що працюють без підключення до зовнішньої електромережі, називаються автономними (рис. 1.4). Автономна фотоелектростанція, крім сонячних панелей, зазвичай містить акумуляторні батареї та контролер заряду. При необхідності електропостачання споживачів, які потребують стандартної напруги 220/380В змінного струму, до фотоелектростанції необхідно включити інвертор. Єдиним недоліком фотоелектростанції є втрата енергії при малих навантаженнях [6, 7].

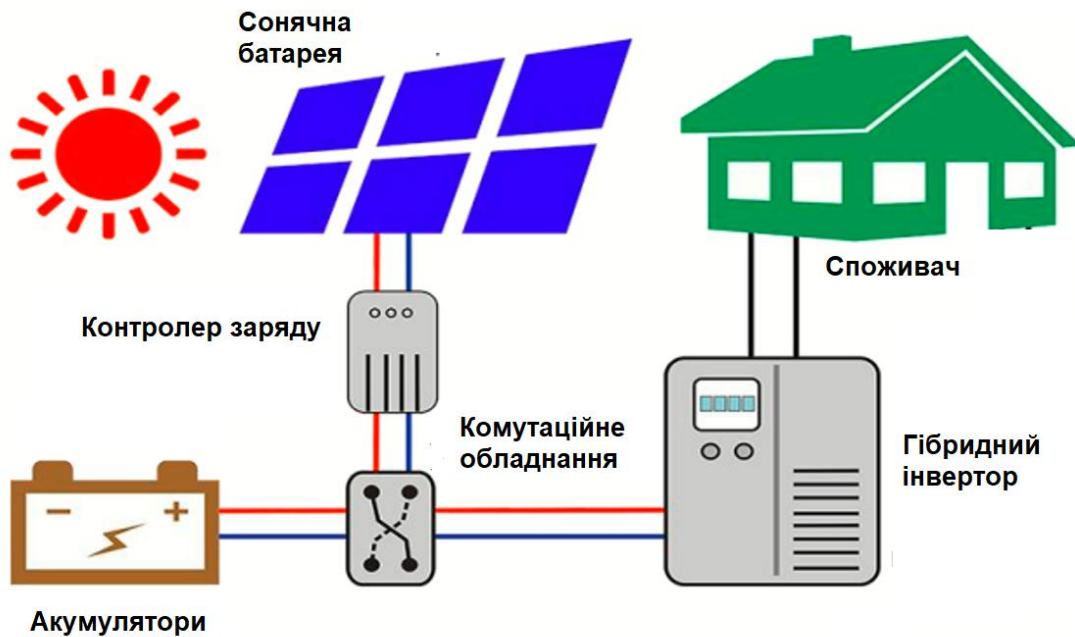


Рис. 1.4. Схема автономної, не з'єднаної з мережею (автономною) СЕС

Від вибору схеми споживання енергії, що виробляється сонячним колектором, залежить економічна доцільність використання сонячної енергії. Відомо значну кількість принципових схем використання сонячної енергії для теплопостачання із застосуванням різноманітних теплоносіїв [5, 6, 7].

Найпростішими та найдешевшими є пасивні системи, які не вимагають додаткового обладнання для збору та розподілу сонячної енергії. Принцип дії пасивних систем полягає в безпосередньому обігріві приміщення через світлопрозорі південні стіни, а також у сонячному нагріванні зовнішньої поверхні елементів будівель, що захищені шаром прозорої ізоляції.

Незважаючи на деяку перевагу пасивних систем, використання сонячної енергії для теплопостачання йде шляхом застосування активних, тобто систем зі спеціально встановленим обладнанням для збирання, зберігання та розподілу перетвореної сонячної енергії. Основними елементами активної системи є сонячний колектор, акумулятори, теплообмінники, додаткове джерело теплоти.

Акумулятор – важливий компонент системи сонячного теплопостачання, тому що. Головною особливістю сонячної радіації є періодичність її надходження та розбіжність максимумів навантаження теплоспоживання. Акумулятори, як правило, працюють за рахунок теплоємності робочої речовини (води чи повітря). Вони прості, надійні та відносно дешеві. Водяний акумулятор є сталевим циліндричним резервуаром з шаром теплоізоляції. У повітряних акумуляторах застосовують для засипання резервуара гальку або інший наповнювач.

Призначення дублюючого джерела теплоти – повне забезпечення об'єкта теплотою у разі нестачі або відсутності сонячної радіації. Вибір джерела залежить від місцевих умов: ним може бути ТЕН або водогрійний котел на органічному паливі.

Активні системи сонячного теплопостачання класифікують [7]:

- за призначенням – гарячого водопостачання, опалення та комбіновані;
- за часом роботи – сезонні та цілорічні;
- за кількістю контурів – одно-, дво- та багатоконтурні;
- за наявністю та типом дублюючого контуру.

Найбільш прості пристрої це одноконтурні системи з природною циркуляцією. Основними елементами є сонячний колектор і бак-акумулятор, розташований над колектором. Вода циркулює внаслідок природної конвекції.

Іншим прикладом одноконтурних систем можуть бути проточні системи. Серйозний недолік цих систем – схильність до корозії. Для підвищення корозійної стійкості та забезпечення роботи з антифризом як теплоносієм у холодну пору року системи виконують дво- або багатоконтурні.

Нестача двоконтурних термосифонних систем – низька теплова ефективність, спричинена малою швидкістю руху теплоносія. Для її підвищення використовують примусову циркуляцію. Розглянуті схеми застосовують у системі гарячого водопостачання.

В активних системах сонячного опалення тепло передається від колектора до акумулятора та потім у приміщення. Прагнення вирішувати питання опалення та гарячого водопостачання комплексно призводить до комбінованого виконання їх систем - централізовані системи, що використовують сезонні акумулятори тепла та, як правило, теплові насоси як дублююче джерело.

Висновок до розділу 1

Для забезпечення енергією малого підприємства можна використати комбіновану систему, що містить вітроелектростанцію, сонячну електростанцію та геліоколектора. Доречним також буде включення до складу системи теплового насоса.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ ТА ВЕУ

Сонячні модулі на основі монокристалічного кремнію перетворюють пряме сонячне випромінювання на електричний струм постійної напруги. Псевдо квадратні кремнієві пластини з'єднані в батарею і герметизовані між підкладкою з поліетилентерефталатної плівки і спеціальним ударостійким склом товщиною 4 мм. Цей пакет поміщений у алюмінієвий каркас [6, 7].

Монокристалічний сонячний модуль Delta BST 360-24M виготовлений із якісних сонячних елементів Grade A, що гарантує високу продуктивність та надійність модуля. При невисокій інтенсивності сонячного випромінювання DELTA BST виробляють більше електроенергії, ніж стандартні сонячні модулі з аналогічними характеристиками. При виготовленні модулів DELTA BST проводиться багатоступінчастий контроль якості комплектуючих та технологічного процесу, у тому числі IV тест та двоетапний EL тест до та після ламінації. DELTA BST – це висока продуктивність, довговічність та передові технології [8].

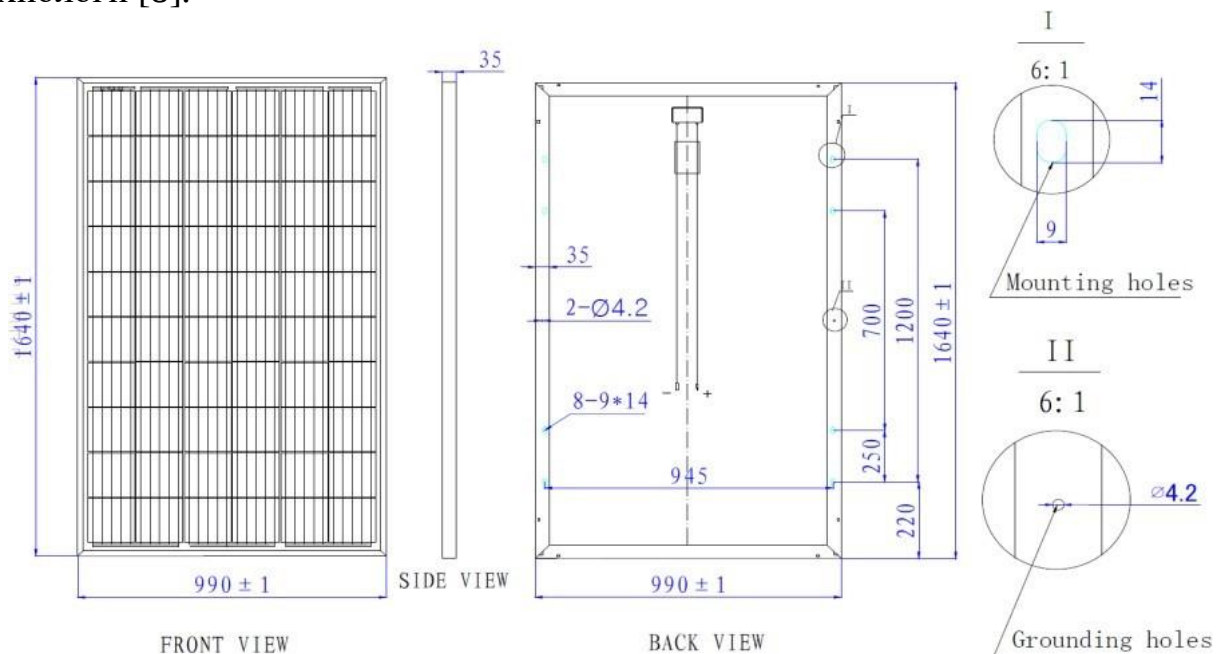


Рис. 2.1. Схема сонячного модуля Delta BST 360-24M [8]

Для розрахунку потужності ВЕУ та фотоелектричної станції (ФЕС), що працюють паралельно з мережею для здійснення безперебійного живлення відповідальних електроприймачів, необхідної ємності акумуляторних батарей (АБ), необхідно визначити енергоспоживання малого підприємства W_{ac} , кВт·год, у разі раптового відключення живлення від зовнішньої мережі, скориставшись методикою [9], результати розрахунків енергоспоживання зведемо в таблиці 2.1. та 2.2

Таблиця 2.1. Визначення тижневого енергоспоживання електроприладами змінного струму, напругою 220 В

№ п/п	Навантаження змінного струму	Потужність споживача, кВт	Кількість споживачів, шт	Час роботи за добу, год	Кількість днів роботи на тиждень, дн.	Споживана електроенергія, кВт·год
1	Зварювальний апарат	4	1	1,5	7	42
2	Гідролізер	0,25	2	4,1	7	14,4
3	Паяльник	2,2	2	0,5	7	15,4
4	Муфельна піч	1,2	1	1	7	8,4
5	Компресор	2	1	0,5	3	3
6	Сверлильна машина	1,5	1	2	2	6
7	Комп'ютерне обладнання	0,06	3	4	7	5
8	Інші дрібні прилади (кавомолки)	0,35	3	0,5	4	2,1
Разом:						96,3

Таблиця 2.2. Визначення тижневого енергоспоживання електроприладами постійного струму

№ п/п	Навантаження	Потужність споживача, кВт	Кількість споживачів, шт	Час роботи за добу, год	Кількість днів роботи на тиждень, дн.	Споживана електроенергія, кВт·год
1	Ноутбук, Персональний комп'ютер	0,05	2	4	7	2,8
2	Зарядні пристрої мобільних телефонів	0,005	2	1,5	7	0,2
3	Витяжний вентилятор (витяжка туалет, ванна кімната)	0,03	2	2	7	0,8
4	Освітлення робоче (світлодіодне)	0,007	14	4	7	2,7
5	Освітлення чергове (світлодіодне)	0,005	3	3	7	0,3
6	Акумуляторний інструмент	0,35	2	0,25	7	1,2
Разом:						8,1

Далі необхідно визначити тип та ємність акумуляторних батарей (АБ). Виробники ФЕС рекомендують використовувати герметичні свинцево-кислотні акумулятори, що не обслуговуються, GEL-виконання з використанням технологій загушення електроліту – гелеві АБ, або AGM (Absorbent Glass Mat) - це технологія виготовлення свинцево-кислотних акумуляторів, створена інженерами Gates Rub [10]. Відмінність батарей AGM від класичних у тому, що в них міститься абсорбований електроліт, а не рідкий, що дає низку змін у властивостях акумулятора. Дані АБ мають кращі експлуатаційно-економічні параметри, такі як: глибина розряду, кількість глибоких розрядів, не обслуговуваність тощо.

Місткість акумуляторних батарей E , А·ч, розраховується за формулою:

$$E = \frac{P_{доб} \cdot n_{н.б} \cdot K_e \cdot K_m}{K_p}, \quad (2.1)$$

де $n_{н.б.}$ – очікувана кількість днів (діб) живлення навантаження без підзарядки (тобто коли сонячної енергії та енергії вітру недостатньо для заряду акумуляторних батарей та роботи навантаження через негоду, хмарність та відсутність достатньої сили вітру);

K_e – коефіцієнт, що враховує характер роботи системи електропостачання (якщо фотоелектричні модулі приєднуються до вже існуючої системи електропостачання, акумуляторні батареї можуть мати меншу ємність, ніж розрахункова, тому що живлення може бути включене для підзаряду АБ у будь-який час), $K_e = 0,5 - 0,7$.

K_p – коефіцієнт, що враховує глибину розряду АБ (рекомендується 20%, не більше 30% для звичайних стартерних АБ, для АБ AGM технології глибокого розряду не більше 80%), $K_p = 0,6$;

K_m – коефіцієнт, що враховує температуру навколишнього середовища в приміщенні, де встановлені АБ. Цей коефіцієнт враховує зменшення ємності АБ за зниження температури.

$$E = \frac{440,76 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1,3}{0,6} = 477,49 \text{ А} \cdot \text{год},$$

Розділивши це значення на номінальну ємність вибраної акумуляторної батареї – отримаємо кількість батарей, які необхідно з'єднати паралельно.

$$n_{п.б} = \frac{E}{E_{ном}}, \quad (2.2)$$

де $E_{ном}$ – номінальна ємність обраної АБ АБ, А·год ($E_{ном} = 250$)

$$n_{п.б} = \frac{477,49}{250} = 1,9 \text{ шт}$$

Остаточно приймемо кількість паралельних ліній АБ рівним 2 шт.

Розділивши номінальну напругу системи постійного струму для забезпечення роботи інвертора – 48В на номінальну напругу вибраної акумуляторної батареї – отримаємо значення послідовно з'єднаних батарей:

$$n_{пос.АБ} = \frac{U_{сист}}{U_{ном}}, \quad (2.3)$$

де $U_{сист}$ – номінальна напруга постійного струму системи, В;

$U_{ном}$ – номінальна напруга обраної батареї АБ, В.

$$n_{п.б} = \frac{48}{12} = 4 \text{ шт},$$

Необхідна кількість батарей становитиме:

$$n_{АБ} = n_{п.б} \cdot n_{пос.АБ}, \quad (2.4)$$

$$n_{АБ} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ шт}.$$

Потужність фотоелектричної станції залежатиме від кількості паралельно з'єднаних ФЕМ, а вихідна напруга залежатиме від кількості послідовно з'єднаних ФЕМ.

Кількість модулів (шт.), необхідних ФЕС визначається за такою формулою:

$$n_{\text{ФЕМ}} = \frac{P_{\text{доб}} \cdot K_{e-p}}{t_{\text{ср.доб}} \cdot I_{\text{од.ФЕМ}}}, \quad (2.5)$$

де K_{e-p} – коефіцієнт що враховує втрати в процесі заряду розряду АБ, $K_{e-p} = 1,2$;

$I_{\text{од.ФЕМ}}$ – пікове значення струму одиничного модуля, А;

$t_{\text{ср.сут}}$ – середньодобова кількість пікових годин у місці встановлення ФЕС, год (визначається за даними про сонячну активність у місці встановлення ФЕС; наближено можна визначити середньодобову кількість пікових годин, використовуючи середньорічну тривалість сонячного саява, яка для метеостанції широти Житомира становить 1833 години на рік [10], звідси

$$t_{\text{ср.доб}} = \frac{t_{\text{ср.год}}}{365} \cdot K_{\text{н.СС}}, \quad (2.6)$$

де $t_{\text{ср.сут}}$ – середньорічна тривалість сонячного саява $t_{\text{ср.год}} = 1833$ год;

$K_{\text{н.СС}}$ – коефіцієнт що враховує нерівномірність сонячного саява, $K_{\text{н.СС}} = 0,2 \dots 1,8$.

$$t_{\text{ср.доб}} = \frac{1833}{365} \cdot 1 = 5,02 \text{ год}$$

Для створення ФЕС використовуємо ФЕМ типу Delta BST 360-24M, монокристалічний потужністю 360Вт на 24В. Визначаємо кількість модулів, необхідних для ФЕС з урахуванням необхідної потреби в електричній енергії, вираженої в А·год і струму одного модуля:

$$n_{\text{ФЕМ}} = \frac{440,76 \cdot 1,2}{5,02 \cdot 9,25} = 11,39 \approx 12 \text{ шт}$$

Приймаємо 12 модулів, включених паралельно.

Однофазні інвертори Afore BNT030KTL містять убудований MPPT контролер заряду акумуляторів від сонячних батарей. Безтрансформаторний дизайн забезпечує надійність та малі розміри. Ці пристрої об'єднують функції інвертора, контролера заряду від сонячних батарей і мережного зарядного пристрою. Вбудований РК-дисплей дозволяє переглядати та конфігурувати основні параметри станції. Перевантажувальна здатність дозволяє легко запускати двигуни (холодильники, насоси, компресори, вентилятори, лазерні принтери тощо), а також жити побутове навантаження, комп'ютери, електроінструмент тощо [11].

Основні параметри:

Інвертор із чистою синусоїдою;

Вбудований MPPT контролер для сонячних батарей

Можливість вибору діапазону вхідної напруги для побутової техніки та персональних комп'ютерів;

Можливість вибору зарядного струму;

Сумісність із міською мережею чи генератором;

Можливість вибору пріоритету для мережі або сонячних батарей через РК-дисплей;

Паралельна робота до 4 інверторів.

Автоматичний перезапуск під час відновлення мережі змінного струму.

Захист від перевантаження та короткого замикання.

Розумний зарядний пристрій для акумуляторів продовжує термін служби та збільшує продуктивність батареї.

Функція холодного старту



Рис. 2.2. Інвертор Afore BNT030KTL

Для максимальної надійності експлуатації всі налаштування інвертора зберігаються у внутрішній пам'яті, щоб уникнути необхідності перепрограмування після вимкнення або заміни батарей.

Вбудований зарядний пристрій має простий алгоритм заряду, який дозволяє продовжити термін служби акумуляторів. Чотири стадії заряду - максимальним струмом, насичення та підтримка, а також для АБ з рідким електролітом – стадія вирівнювання.

Акумулятори ALVA AS12-60 мають відмінні розрядні та експлуатаційні характеристики. За рахунок використання пластин високої продуктивності акумулятори отримують додаткову вихідну потужність для загального резервування систем безперебійного живлення, телекомунікаційного обладнання, аварійного енергопостачання, медичного обладнання. Можуть використовуватися як у буферному режимі, і у режимі циклування. Акумуляторні батареї серії ALVA AS12-60 є необслуговуваними із системою рекомбінації газів (VRLA), герметизованими, виконаними за технологією AGM. Низький рівень саморозряду $<3\%$ на місяць дозволяє зберігати акумулятор без підзаряду більше 6 місяців за температури не вище 20°C [12].

Висновки до розділу 2

Для станції обираємо монокристалічні сонячні модулі Delta BST 360-24M. Приймаємо 12 модулів, включених паралельно. Також обираємо інвертор Afore BNT030KTL що містить убудований MPPT контролер заряду акумуляторів від сонячних батарей. Також обираємо акумулятори ALVA AS12-60. Необхідна кількість батарей становитиме 8.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

Для отримання гарячої води з використанням енергії сонця, застосуємо геліоколектор з вакуумованими трубками. Який потрібно розрахувати для потреб садибного будинку.

Ефективність сонячних колекторів (сонячних водонагрівачів – СВ) залежить як від їх конструктивних параметрів та метеорологічних умов, так і від режиму роботи – температури та витрати теплоносія.

Питома потужність СВН (щільність теплового потоку, що поглинається) може бути визначена за формулою, отриманою на основі даних роботи [7]:

$$q = G_K^{yd} \cdot c_B \cdot B \cdot \left[\frac{(P_s \cdot \theta_s \cdot I_s + P_D \cdot \theta_D \cdot I_D)}{k_{TO}} + T_0 + T_K^{BX} \right], \quad (3.1)$$

де P_s , P_D – коефіцієнти положення сонячного колектора відповідно для прямої та дифузної радіації;

θ_s , θ_D – наведені оптичні характеристики (поглинальна здатність), СВ відповідно для прямої та дифузної (розсіяної) радіації;

I_s – інтенсивність (щільність) потоку прямої сонячної радіації, Вт/м²;

I_D – Інтенсивність (щільність) теплового потоку дифузної сонячної радіації, Вт/м².

Величина B визначається за залежністю:

$$B = \exp\left(-\frac{k_{TO}}{g \cdot c_p}\right). \quad (3.2)$$

Для полегшення розрахунків рис 3.1 наведено графік залежності:

$$B = f\left(\frac{k_{TO}}{g \cdot c_B}\right).$$

Рівноважна температура СВ та температура, яку СВ має за відсутності витрати. Знання цієї температури має важливе практичне значення як за конструюванні СВ, і при проектуванні сонячних установок, оскільки, з одного боку, визначає необхідні межі термостійкості теплової ізоляції, з іншого - можливі термічні деформації СВ.

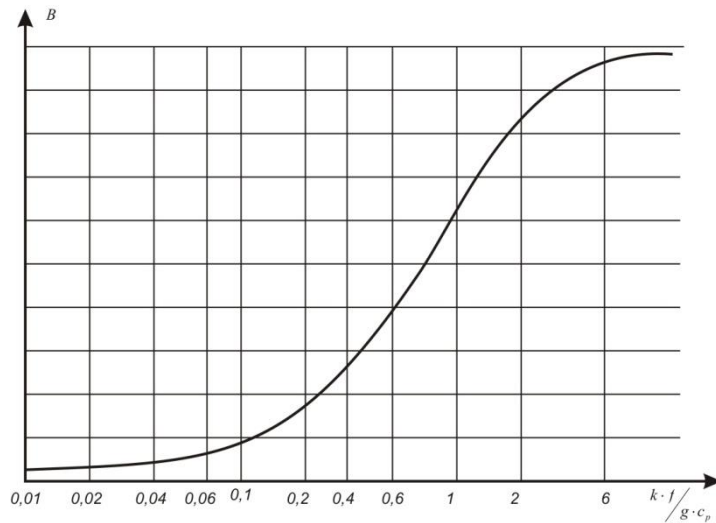


Рис. 3.1. Графік рівняння $B = f\left(\frac{k \cdot f}{g \cdot c_p}\right)$

Температура теплоносія на виході становитиме:

$$T_K^{BHX} = T_K^{BX} + (T_p - T_K^{BX}) \cdot B, \quad (3.3)$$

де T_p - рівноважна температура СВ.

Рівноважна температура СВ становитиме:

$$T_P = (P_s \cdot \theta_s \cdot I_s + P_o \cdot \theta \cdot I_s) / k_{TO} + T_o, \quad (3.4)$$

У тих випадках, коли СВН використовують для отримання води із заданою температурою, питома годинна витрата може бути визначена з використанням графіка на рис. 3.1.

$$B = (T_K^{BHX} - T_K^{BX}) / (T_P - T_K^{BX}), \quad (3.5)$$

Питома витрата води с $T_K^{BHX} = cons$

$$G_K^{num} = k_{TO} / B \cdot c_B, \quad (3.6)$$

ККД сонячного колектора може бути визначено за формулою:

$$\eta = G_K^{num} \cdot c_B \cdot B \cdot \left[(P_s \cdot \theta_s \cdot I_s + P_D \cdot \theta_D \cdot I_D) / k_{TO} - (T_K^{BX} - T_o) / (P_s \cdot I_s + P_D \cdot I_D) \right], \quad (3.7)$$

Таким чином знаючи поглинаючу властивість B , коефіцієнт теплопередачі k_{TO} та коефіцієнт ефективності f^* можна виконувати теплотехнічні розрахунки СВН.

Величини θ , U и f^* визначають розрахунковим шляхом або експериментально в лабораторних і натурних умовах. Експериментально, як правило, визначають так (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1. Наближенні значення θ та k_{TO} для промислових СВ

Число шарів скла	θ_s	θ_D	k_{TO} , Вт/м ² •°С	
			при швидкості вітру до 5 м/с	при швидкості вітру 10 м/с
1	0,73	0,64	8	11
2	0,63	0,42	5	5,5

Величина B для заданої конструкції СВ є ступенем використання рівноважної температури і залежить від питомої витрати теплоносія – з його зменшенням вона зростає. Однак при цьому падає ККД сонячного водонагрівача. Тому правильний вибір витрати теплоносія має важливе значення при проектуванні сонячних установок. Неважко переконатися, що функція $g \cdot c_B \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{k_{TO}}{g \cdot c_B}\right) \right]$ має ліміт, що дорівнює k_{TO} при $g \cdot c_B \rightarrow \infty$. Однак збільшення витрати теплоносія, хоч і збільшує ККД СВН, вимагає одночасно підвищення кількості енергії на перекачування. Тому в практиці доцільно обмежитися співвідношенням $g \cdot c_B = (2...4)^{k_{TO}}$ що відповідає ефективності 0,86...0,9 від максимально досяжної.

З пропонованих ринком сонячних водонагрівачів найбільший інтерес для нас представляють інтегровані вакуумні колектори з тепловими трубками модель SC-12 [12].

Даний вид колекторів призначений для безпосереднього нагрівання теплоносія контуру теплообмінника, що передає теплову енергію теплоносія основного об'єму спліт-системи SH-200-24-2.



Рис. 3.2. Комплект сонячного водонагрівача СН-200-24-2

Спліт-система СН-200-24-2 забезпечить гарячою водою 5-7 працівників. Водонагрівач має високу ефективність у хмарну погоду за відсутності прямого сонячного випромінювання та невеликої кількості сонячної енергії, що надходить на поверхню колекторів.

Отриману гарячу воду можна використовувати не тільки для гарячого водопостачання, але й для опалення приміщень (використовуючи другий теплообмінник у баку), для підключення теплої підлоги.

За допомогою другого теплообмінника також можна створити комбіновану схему нагрівання води від двох джерел – від сонячних колекторів та від газового або твердопаливного котла.

Застосування комбінованої схеми нагрівання дозволяє заощадити 30-70% витрат на газ/тверде паливо, що використовується для нагрівання води, паралельно із сонячними колекторами.

Висновок до розділу 3

Для забезпечення гарячого водопостачання використаний вакуумний колектор SH-300-24-2. Розрахунки показують, що ця система спроможна повністю забезпечити гарячою водою 5...7 працівників, з нормою споживання гарячої води 90 л/добу, у період із квітня до серпня, і частково в інші місяці.

ВИСНОВКИ

Для забезпечення енергією малого підприємства можна використати комбіновану систему, що містить вітроелектростанцію, сонячну електростанцію та геліоколектора. Доречним також буде включення до складу системи теплового насоса.

Для станції обираємо монокристалічні сонячні модулі Delta BST 360-24M. Приймаємо 12 модулів, включених паралельно. Також обираємо інвертор Afore BNT030KTL що містить убудований MPPT контролер заряду акумуляторів від сонячних батарей. Також обираємо акумулятори ALVA AS12-60. Необхідна кількість батарей становитиме 8.

Для забезпечення гарячого водопостачання використаний вакуумний колектор SH-300-24-2. Розрахунки показують, що ця система спроможна повністю забезпечити гарячою водою 5...7 працівників, з нормою споживання гарячої води 90 л/добу, у період із квітня до серпня, і частково в інші місяці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Silva, S., Soares, I., & Pinho, C. (2020). Green tax reforms with promotion of renewable energy sources and carbon capture and sequestration: Comparison of different alternatives. *Energy Reports*, 6, 620–625. doi:10.1016/j.egyr.2019.09.036
2. Huang, Q. (2020). Insights for global energy interconnection from China renewable energy development. *Global Energy Interconnection*, 3(1), 1–11. doi:10.1016/j.gloi.2020.03.006
3. Mortensen, A. W., Mathiesen, B. V., Hansen, A. B., Pedersen, S. L., Grandal, R. D., & Wenzel, H. (2020). The role of electrification and hydrogen in breaking the biomass bottleneck of the renewable energy system – A study on the Danish energy system. *Applied Energy*, 275, 115331. doi:10.1016/j.apenergy.2020.11533
4. Wang, Q., & Liu, Y. (2020). India's renewable energy: New insights from multi-regional input output and structural decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*, 124230. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124230
5. Скидан О.В., Голуб Г.А., Кухарець С.М. Ярош О.Д., Чуба В.В., Медведський О.В., Цивенкова Н.М., Соколовський О.Ф., Кухарець В.В. Відроджувана енергетика в аграрному виробництві. За ред. О.В. Скидана і Г.А. Голуба. Київ, НУБіП України. 2018. 338 с.
6. Голуб Г.А., Кухарець С.М. Марус О.А. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві. Київ : НУБіП України, 2016. 229 с.
7. Кудря С.О. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії / С.О. Кудря, В.М. Головка. – Київ, 2009. – 201 с.
8. <https://www.delta-batt.com/>

9. Основи електротехніки та електропостачання. Денисюк С.П., Радиш І.П., Кабацій В.М., Дерев'янка Д.Г.: Навч. пос. – К.: Кондор-Видавництво, 2012. – 216 с. Формат 70x100/16. ISBN 978-966-2781-01-4. Код 246964.
- 10.<https://www.gates.com/us/en.html>
- 11.<https://alfa.solar/uk/merezhevij-invertor-30kvt-afore-bnt030ktl-2mppt-id869.html>
- 12.<http://www.ecosvit.net/ua/vacuum-solar-collectors>