

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет):** ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого

**Кафедра:** Електропостачання та енергоменеджменту

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Блаженко С.І.  
( прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Балюта С.М.  
( прізвище та ініціали )

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

**Кваліфікаційна робота**

**на здобуття освітнього ступеня магістра**

з спеціальності: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"  
(шифр та назва напрямку підготовки (спеціальності))

освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання»  
на тему: Енергопостачання фермерського господарства з використанням відновлювальних видів палива.

Виконав: здобувач 2-го курсу, групи ЕЛ-2-7М

Беба Дмитро Віталійович

\_\_\_\_\_  
( прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Керівник

Серьогін Олександр Олександрович

\_\_\_\_\_  
( прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Консультанти

\_\_\_\_\_  
( прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_  
( підпис )

\_\_\_\_\_  
( прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Рецензент

Люлька Д.М.

\_\_\_\_\_  
( прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Київ – 2021 р

Національний університет харчових технологій

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім акад І.С.Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ЕПЕМ**

\_\_\_\_\_ /Балюта С.М./

« 08 » \_\_\_\_\_ квітня 2020 р.

## **З А В Д А Н Н Я**

### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

Беби Дмитра Віталійовича \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): Енергопостачання фермерського господарства з використанням відновлювальних видів палива.

керівник проекту (роботи) Серьогін Олександр Олександрович

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 05 » 11.2020 р. № 925- кс

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 06 січня 2021 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) енергопостачання автономної фотоелектростанції

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Енергопостачання фермерського господарства; 2. Сонячна енергія; 3. Принцип роботи геліостанцій; 4. Розробка автономної фотоелектростанції

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

Презентація (20 слайдів)

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 8 квітня 2020 року \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання кваліфікаційного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Отримання завдання на дипломне проектування	08.04.2020 р	
2	Вступ	09.11.2020 р	
3	Анотація	11.11.2020 р	
4	Розділ 1. Енергопост. фермерського госп.	13.11.2020 р	
5	Розділ 2. Геліостанція	20.11.2020 р	
6	Розділ 3. Сонячні та комб. сист. автономн. тепло- та холодопостачання	25.11.2020 р	
7	Розділ 4. Огляд досл. по тематиці ВДЕ	05.12.2020 р	
8	Розділ 5. Розробка і вибір обладнання автономн. фотоел.	15.12.2020 р	
9	Розділ 6. Аналіз пікових навантажень	18.12.2020 р	
10	Загальний висновок	24.12.2020 р	
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Беба Д.В.  
(прізвище та ініціали)

**Керівник проекту (роботи)**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Серьогін О.О.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

В даній роботі проаналізовано і розглянуто різні види відновлювальних джерел енергії та можливість їх використання у фермерських господарствах. Для аналізу обрано лабораторію контролю якості молочної продукції с. Слобідка, Обухівського району, Київської області., на якій планується встановлення фотоелектростанції (ФЕС) для споживання лабораторії електроенергією.

Розроблена та розрахована пікова фотоелектростанція. Розрахунки велися на основі автономного електропостачання за допомогою ВДЕ для лабораторії. У процесі роботи проводились розрахунки і вибір устаткування по середнім добовим споживанням електроенергії в лабораторії. Визначені переваги та недоліки устаткування та зроблено вибір рішення для усунення недоліків автономної ФЕС. В результаті проведеної роботи вибрана та розрахована принципова схема з конкретним обладнанням, яке задовольняє заданим параметрам електропостачання. З'ясовано термін окупності вибраного варіанту.

**Ключові слова:** фермерське господарство, сонячна енергія, геліостанції, відновлювальні джерела енергії, сонячні електростанції, сонячна інсоляція, пікові навантаження.

## АННОТАЦИЯ

В данной работе проанализированы и рассмотрены различные виды возобновляемых источников энергии и возможность их использования в фермерских хозяйствах. Для анализа выбрана лаборатория контроля качества молочной продукции с. Слободка, Обуховского района, Киевской области., на которой планируется установка фотоелектростанции (ФЭС) для обеспечения лаборатории электроэнергией. Разработана и рассчитана пиковая фотоелектростанция. Расчеты велись на основе автономного электроснабжения с помощью ВИЭ для лаборатории. В процессе работы проводились расчеты и выбор оборудования среднесуточного потребления электроэнергии в лаборатории. Определены преимущества и недостатки оборудования и сделан выбор решения для устранения недостатков автономной ФЭС. В результате

проведенной работы выбрана и рассчитана принципиальная схема с конкретным оборудованием, которое удовлетворяет заданным параметрам электроснабжения. Выяснен срок окупаемости выбранного варианта.

**Ключевые слова:** фермерское хозяйство, солнечная энергия, гелиостанции, возобновляемые источники энергии, солнечные электростанции, солнечная инсоляция, пиковые нагрузки.

### ANNOTATION

This work analyzes and considers various types of renewable energy sources and the possibility of their use in farms. A laboratory for quality control of dairy products was selected for analysis v. Slobodka, Obukhov district, Kiev region., Where it is planned to install a photoelectric power station (FES) to provide the laboratory with electricity. A peak photovoltaic power plant has been developed and calculated. Calculations were carried out on the basis of autonomous power supply using RES for the laboratory. In the course of work, calculations and selection of equipment for the average daily energy consumption in the laboratory were carried out. The advantages and disadvantages of the equipment are determined and the choice of a solution is made to eliminate the disadvantages of an autonomous FES. As a result of the work carried out, a schematic diagram with specific equipment that meets the specified parameters of power supply was selected and calculated. The payback period for the selected option has been clarified.

**Key words:** farming, solar energy, solar power plants, renewable energy sources, solar power plants, solar insolation, peak loads.

# Зміст

Вступ	6
Розділ 1. Енергопостачання фермерського господарства	9
1.1 Використання енергії сонця для фермерського господарства	11
1.2 Застосування панелей сонячної енергії в фермерському господарстві	17
1.3 Сонячна енергія для сушіння зернових	18
1.4 Ефективне використання тепличного опалення	19
1.5 Використання сонячної фотоелектричної енергії в фермерському господарстві	19
Розділ 2. Геліостанція	21
2.1 Принцип роботи геліостанції	21
2.2 Типи геліостанцій	22
2.3 Геліосистеми і теплові насоси в системах автономного тепло- та холодопостачання	25
Розділ 3. Сонячні та комбіновані системи автономного тепло- та холодопостачання	26
3.1 Теплові насоси як дублююча нагрівальна система	39
Розділ 4. Огляд дослідження по тематиці відновлювальних джерел енергії	43
4.1 Обґрунтування актуальності завдання	44
4.2 Розвиток сонячної енергетики в світі	45
4.3 Основні переваги і недоліки фотоелектричних систем	46
4.4 Типи сонячних електростанцій	48
4.5 Висновок по розділу 4	51
Розділ 5. Розробка і вибір обладнання автономної фотоелектростанції	51
5.1 Дослідження поставленого завдання	51
5.2 Опис і вибір сонячної панелі	55
5.3 Розрахунок і вибір контролерів заряду/розряду	61
5.4 Вибір інвертора	63
5.5 Розрахунок сонячної інсоляції і аналіз енергетичного балансу по місяцях	65
5.6 Вибір і розрахунок акумуляторних батарей	84
5.6.1 Імовірність безвідмовної роботи акумуляторних батарей	91
5.7 Висновок по розділу 5	91
Розділ 6. Аналіз пікових навантажень	92
6.1 Аналіз заряду/розряду АБ без ДЕС при пікових навантаженнях	92
6.2 Розрахунок потужності ДЕС при пікових навантаженнях	93
6.3 Вибір і розрахунок витрат ДЕС	98
6.4 Висновок по розділу 6	102
Загальний висновок	103
Список використаної літератури	104

## Вступ

Одним з найбільш важливих умов соціально-економічної стабільності суспільства, забезпечення економічної та продовольчої безпеки держави, є сталий розвиток сільського господарства, яка передбачає збалансоване досягнення економічних, соціальних та екологічних цілей.

Енергоефективність в сільському господарстві розглядається як сукупність організаційно-економічних і управлінських заходів, спрямованих на створення системи виробництва, яка забезпечує зростаючу віддачу у вигляді кінцевої продукції і найкраще використання біологічного потенціалу рослин і тварин [1]. Одним з напрямків енергозбереження в галузі є розширення області використання нетрадиційних відновлюваних джерел, в числі яких - сонячна і вітрова енергія, а також застосування біогазових технологій. Крім того, в сьогоднішніх умовах все більшого поширення набувають управлінські технології підвищення енергоефективності, що складаються в розробці, впровадженні та сертифікації систем енергетичного менеджменту.

Висока сонячна і вітрова активність в Україні зумовлює можливість і доцільність побудови системи енергопостачання, що функціонує на основі енергії, що виробляється сонячними панелями і вітровими енергетичними установками, і використання її для виробничих і господарських цілей. Практика показує, що використання нетрадиційних джерел енергії є ефективним не тільки для цілей крупно товарного сільськогосподарського виробництва (сушіння сіна і сільгосппродукції, обігрів тваринницьких приміщень, підігрів технологічної води, автономне енергопостачання ферм), але також в селянських (фермерських) господарствах та сільському житловому секторі. Суть біогазових технологій полягає в тому, що отримання горючого газу здійснюється шляхом анаеробної переробки органічних речовин, що містяться в сировині рослинного і тваринного походження (гноюві стоки, курячий послід, окремі сільськогосподарські культури). Крім прямої економії твердого палива, це забезпечує екологічно безпечну утилізацію органічних відходів,

отримання високоякісних стерильних органо-мінеральних добрив, поліпшення фізичних властивостей ґрунту і підвищення вмісту в ній гумусних матеріалів, а також поліпшення екологічної обстановки сільських територій. Сказане дозволяє стверджувати, що використання біогазових технологій виступає комплексним економічним і природоохоронним заходом [6]. Концепція енергетичного менеджменту може бути застосована до будь-яких організацій, незалежно від розміру, форми власності та галузевої належності, і реалізується за допомогою розробки і впровадження систем енергетичного менеджменту (СЕМ), головна особливість яких полягає в управлінні процесом використання енергії. СЕМ є частиною загальної системи менеджменту організації і являє собою сукупність взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів, необхідних для прийняття енергетичної політики, постановки і досягнення цілей в цій області. Тенденцією сьогодення є прийняття в багатьох країнах світу національних стандартів на СЕМ, заснованих на вимогах міжнародного 23 стандарту ISO 50001: 2011 «Energy management systems - Requirements with guidance for use» («Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування»), розробленого з урахуванням накопиченого досвіду і кращих світових практик в області управління енергоспоживанням. Основу стандарту становить модель системи менеджменту, спрямована на постійне поліпшення [3], а його структура є звичною для фахівців в області системного менеджменту і забезпечує широкі можливості для інтеграції з іншими системами (менеджменту якості, екологічного менеджменту, управління охороною праці та ін.). Нами систематизовані економічні та екологічні переваги (ефекти) розглянутих інженерно-технологічних і управлінських заходів у галузі вдосконалення енергоспоживання в сільському господарстві, що відображено в таблиці. Таблиця - Ефективність заходів в області вдосконалення енергоспоживання

Найменування заходу	Зміст ефекту
Економічного	Розробка і впровадження систем енергетичного менеджменту (СЕМ)
Екологічного	Економія всіх видів енергоресурсів; зниження виробничих витрат і зростання доходів; зростання вартості компанії
Скорочення викидів в	

атмосферу забруднюючих речовин, в тому числі - що створюють парниковий ефект; запобігання кліматичних змін Використання сонячної та вітрової енергії Економія твердого палива; скорочення витрат на паливну та енергетичну енергію; збільшення удою; підвищення реалізаційної ціни за рахунок збільшення питомої ваги молока класу «екстра» Впровадження біогазових технологій Додатковий приріст врожайності сільськогосподарських культур в середньому на 20% Заміщення невідновлюваних джерел енергії; перетворення потенційно небезпечних для біосфери продуктів в безпечні і корисні.

Таким чином, подальший сталий розвиток сільського господарства і національної економіки України нерозривно пов'язане із зниженням споживання паливно-енергетичних ресурсів, підвищенням енергетичної та екологічної ефективності виробництва. Комплексне впровадження і максимальне використання переваг перерахованих енергоефективних технологій дозволить створити довготривалі конкурентні переваги і зміцнити позиції держави в світовому рейтингу.

## **Розділ 1. Енергопостачання фермерського господарства**

Енергозбереження з кожним роком стає все більш актуальною проблемою. Обмеженість енергетичних ресурсів, висока вартість енергії, негативний вплив на навколишнє середовище, пов'язані з її виробництвом, всі ці чинники мимоволі наводять на думку, що розумніше знижувати споживання енергії, ніж постійно збільшувати її виробництво, а значить, і кількість проблем. У всьому світі вже давно не тільки постійно ведеться пошук шляхів зменшення енергоспоживання за рахунок його раціонального використання, а й досить ефективно застосовується. Наочним прикладом є досвід Швеції, Німеччини, Франції, Канади. У нашій країні цьому питанню приділялася недостатня увага і носило слабкий характер. Тим не менше, кілька років тому і у нас почалося формування такого поняття, як енергозберігаюча політика.

Збереження енергії - найбільш обіцяє шлях до вирішення в найближчій перспективі проблем нестачі викопного палива для виробництва і переробки

фермерськогосподарської продукції. Тут хотілося б відзначити, що, з одного боку, фермерське господарство не є великим споживачем викопного палива. З іншого боку для збільшення виробництва продукції фермерське господарство повинно розвиватися, інтенсивно використовуючи індустриальні технології, а цей процес нерозривно пов'язаний зі зростанням споживання енергії. На сьогоднішній день приріст продукції на 1% тягне за собою збільшення витрати енерго-ресурсів на 2 - 3%. Торкаючись світові тенденції енергозбереження, хотілося б відзначити, що фермерське господарство України значно відстає в цій області від зарубіжних країн. Це пояснюється, головним чином тим, що вибухнула в 70-і роки енергетична криза змусила країни Західної Європи, США, Канади, Японії розробити і впровадити систему технічних, технологічних, організаційних та економічних заходів, що дозволили забезпечити зростання виробництва продукції фермерського господарства при зменшенні енерговитрат. Наприклад, питома вага енерговитрат в Німеччині в вартості продукції складає близько 7%, в Україні ж - понад 20. Причому відзначаються тенденції зростання не тільки загальних енерговитрат, але і питомих (на 1 га, на 1 працівника, на 1 рубль валової продукції) . У структурі споживання найбільша питома вага припадає на дизельне паливо - близько 30%; бензин - 11-16%; природний газ -20%; електроенергія і вугілля - 10-11%. Як видно основне споживання енергії здійснюється за рахунок використання первинних невідновлюваних джерел енергії. Тому в сучасних умовах питання економії паливно-енергетичних ресурсів набуває особливої гостроти. До того ж зростаючий дефіцит сільгоспмашин і низький рівень їх готовності в поєднанні з подорожчанням палива і мастильних матеріалів привів до того, що площі посівів і поголів'я худоби незмінно скорочується. Надії на те, що це може бути компенсовано зростанням врожайності і продуктивності, не підтверджуються. Більш того, зниження споживання мінеральних і органічних добрив призвело до падіння родючості ґрунтів. По суті справи, в останні роки фермерськогосподарське виробництво здійснювалося в борг, за рахунок експлуатації природного потенціалу землі, без його відновлення фермерське

господарство стає все більш вразливим до перепадів погодних умов, все більш нестійким і важкопрогнозованим. Отже, без організації товарного виробництва на базі енергоресурсозбереження не може бути нормального вітчизняного ринку продовольства, зорієнтованого на масового споживача.

До вищесказаного хотілося б додати, що проблема енергозбереження є комплексною і включає цілий ряд завдань. Тому спроби вирішувати окремі питання відокремлено найчастіше не призводять до гарного результату. Тільки розгляд їх оптимальних поєднань дозволить досягти необхідного ефекту.

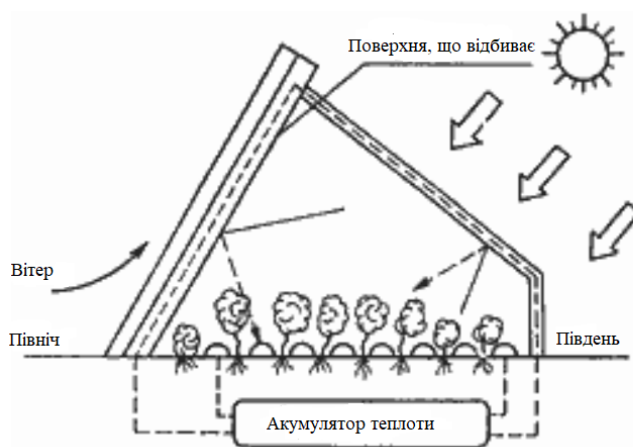
У світлі всього вищезазначеного виділяються два шляхи енергозбереження: використання первинних і вторинних енергоресурсів. Причому при використанні первинних джерел енергії, що утворилися в результаті геологічного розвитку Землі, головний упор необхідно зробити на використання первинних поновлюваних джерел енергії (використання енергії Сонця, вітру, припливів-відливів, геотермальної енергії і т.д.) інакше альтернативних джерел енергії. В даному випадку мається на увазі альтернатива використанню первинних невідновлюваних джерел енергії (вугілля, нафта, газ, слюда, сланці і т.д.).

### **1.1 Використання енергії сонця для фермерського господарства.**

Одним з варіантів використання енергії сонця для фермерського господарства є геотеплиці.

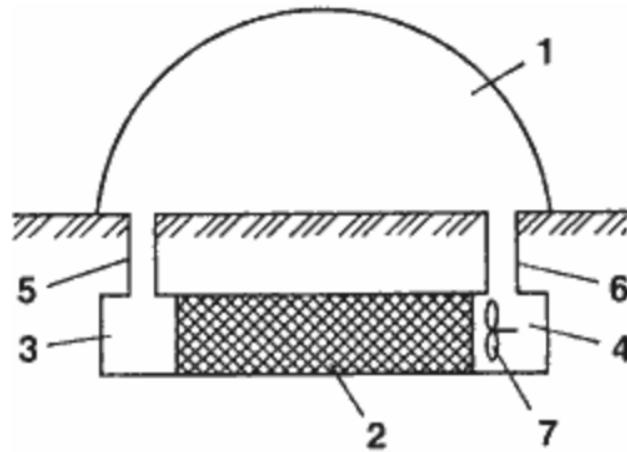
Теплиці - біолого-теплотехнічні пристрої, і вони можуть бути дуже істотно вдосконалені, якщо їх перетворити в сонячні теплиці. Сонячна енергія в звичайній теплиці використовується головним чином для процесу фотосинтезу, при якому рослини поглинають і акумулюють до 10% енергії падаючого сонячного випромінювання. При цьому з діоксиду вуглецю і води під дією сонячного світла утворюються вуглеводи і молекулярний кисень. З молекул вуглеводів утворюються органічні речовини, необхідні для життя і росту рослин.

У звичайних теплицях через велику площі світлопрозорих поверхонь виникають значні втрати тепла, для компенсації яких потрібен певний витрата палива в системі опалення. Теплиці можуть обігріватися гарячою водою, водяною парою, нагрітим повітрям, інфрачервоним випромінюванням або продуктами згоряння палива. При створенні сонячної теплиці, перш за все, потрібно подбати про істотне зниження тепловтрат за рахунок застосування теплоізоляції. Крім того, необхідно забезпечити уловлювання максимально можливої кількості сонячної енергії і акумулювання надлишкової теплоти.



Мал. 1 - Принцип роботи геотеPLICI.

Сама сонячна теплиця служить пасивною сонячною опалювальною системою. Для підвищення її ефективності необхідно використовувати акумулятор теплоти. На мал. 1 показана схема сонячної теплиці з подвійним склінням, теплоізолированою північною стінкою, що має відбивне покриття на внутрішній поверхні, і ґрунтовим акумулятором теплоти. Звичайна плівкова сонячна теплиця може мати підґрунтовий акумулятор теплоти (мал. 2). Теплиця має площу 500 м<sup>2</sup>, а акумулятор розташований під теплицею на глибині 0,5 м, виконаний у вигляді ями шириною 5,4, довжиною 80 і глибиною 1,2 м, яка заповнена кусками граніту розміром 150 ... 200 мм. Акумулятор має цегляні канали, сполучені з теплицею трубами діаметром 350 мм. В одному каналі встановлено вентилятор потужністю 0,1 кВт.

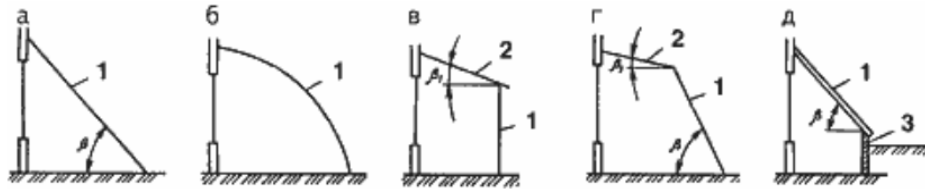


Мал. 2 - Плівкова сонячна теплиця з ґрунтовим акумулятором теплоти: 1 - теплиця; 2 - акумулятор; 3, 4 - канали; 5, 6 - труби; 7 – вентилятор.

Тепле повітря з сонячної теплиці проходить по першому каналу, віддає частину теплоти від акумуляторної батареї та потім повертається через другий канал до вентилятора. В день акумулятор заряджається теплотою, а вночі розряджається. Річна економія палива становить 400 ... 500 т умовного палива на 1 га оброблюваної площі.

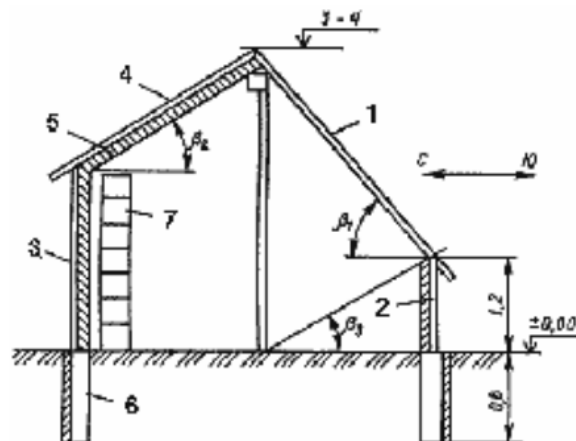
Витрата енергії в сонячних теплицях зменшується при застосуванні подвійного скла, рухомий захисною теплової ізоляції і вдосконалення сонячних установок. Акумулявання теплоти найбільш доцільно здійснювати в ґрунті під сонячною теплицею. Для цього вдень нагріта в сонячному колекторі вода пропускається по системі пластмасових труб, покладених в ґрунт на невеликій глибині, і при цьому відбувається зарядка акумулятора теплоти. Для використання акумуляованої теплоти в нічний час в труби подається холодна вода; нагріваючись, вона направляється на обігрів геліотеплиці або безпосередньо, або після додаткового підігріву.

Розрізняють два типи сонячних теплиць:  
 прибудовані до південної стіни будинку;  
 окремо розташовані геліотеплиці.



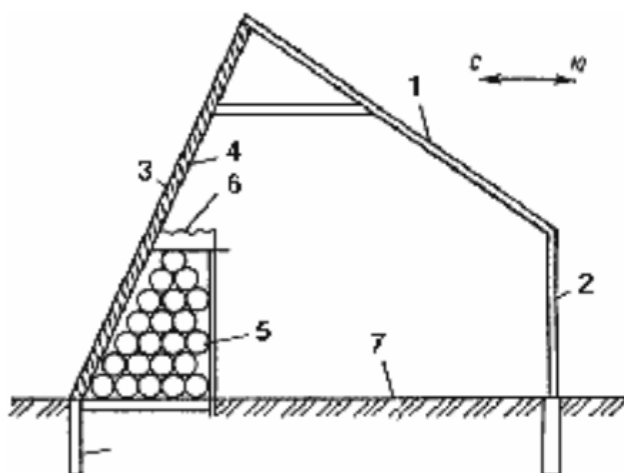
Мал. 3 - Форма прибудованих до будинку сонячних теплиць: а - з похилими світлопрозорими стінками; б - з циліндричними світлопрозорими стінками; в - з похилим дахом і вертикальною передньою прозорою стінкою; г - з похилою передньою прозорою стінкою; д - з теплоізованою передньою стінкою: 1 - світлопрозора ізоляція; 2 - прозорий дах; 3 - теплоізована стінка.

На мал. 3 показані різні геометричні форми прибудованих сонячних теплиць. Вони розрізняються за ступенем використання сонячного випромінювання, по можливості найбільш раціонального використання внутрішнього простору і, відповідно, по конструкції. Кут нахилу південній заскленої поверхні до горизонту залежить від широти місцевості і для середньої смуги України може прийматися рівним  $50 \dots 60^\circ$ , при цьому кут нахилу даху  $20 \dots 35^\circ$ . Оптимальне відношення площі поверхні ґрунту до площі світлопрозорої поверхні становить 1: 1,5. При цьому забезпечується оптимальний енергетичний баланс, тобто різницю між уловленою сонячною енергією і тепловтратами, і добре використання внутрішнього простору. При вертикальному розташуванні передньої стінки не забезпечується максимальне уловлювання сонячної енергії.



Мал. 4 - Окремо стоїть сонячна теплиця: 1 - світлопрозора ізоляція; 2 - теплоізолювана передня стінка; 3 - теплоізолювана північна стінка; 4 - дах; 5 - теплоізоляція; 6 - теплоізолюваний фундамент; 7 - акумулятор теплоти.

Конструкція окремо розташованої геліотеплиці показана на рис. 4. Південна сторона теплиці має прозору ізоляцію, що спирається на стінку. Північна стіна і дах виконані з непрозорих будівельних матеріалів і зсередини покриті шаром теплової ізоляції. Для зменшення тепловтрат необхідно теплоізулювати також стінку і зовнішню поверхню фундаменту. У північній стіні в теплиці розміщується тепловий акумулятор, наприклад, ряд бочок або каністр з водою. Оптимальні значення кутів нахилу поверхонь вибираються по максимальному куті висоти Сонця в зимові місяці для даного району. Сонячна теплиця повинна мати оптимальне розташування: її встановлюють на рівному незатемненому місці з природним захистом від вітру, наприклад, за допомогою чагарників або забору з північного боку. Для максимального уловлювання сонячної енергії коник даху необхідно орієнтувати уздовж осі схід-захід.



Мал. 5 - Сонячна теплиця з гальковим акумулятором теплоти: 1 - світлопрозора ізоляція; 2 - опорна стінка; 3 - північна стіна; 4 - теплоізоляція; 5 - гальковий акумулятор; 6 - ящики з розсадою; 7 - захищений ґрунт; 8 - теплоізолюваний фундамент.

Варіант геліотеплиці з галькові акумулятором теплоти показаний на рис. 5. Внутрішня поверхня північної стіни має відбивне покриття, тобто забарвлена білою матовою фарбою. Це забезпечує кращу освітленість теплиці і зменшує тепловтрати. При гарній теплоізоляції північної стіни теплоспоживання теплиці знижується в 2 рази. Щоб уникнути неконтрольованого повітрообміну повинні бути ретельно ущільнені двері, вікна, фрамуги вентиляційних отворів. Однак кратність повітрообміну не повинна бути нижче 0,5 ... 1 ч., тому що для життєдіяльності і людей і рослин необхідний приплив свіжого повітря.

Для теплоізоляції непрозорих поверхонь огороджувальних конструкцій використовуються різні матеріали: мінеральна вата; пінополістирол; пресована солома; тирса; стружка.

Як матеріал світлопрозорої ізоляції використовуються: скло; полімерна плівка; листи прозорої пластмаси.

Для запобігання запотівання (випадання конденсату) на світлопрозорій ізоляції слід зменшити коефіцієнт тепловтрат застосуванням двошарової світлопрозорої ізоляції.

Зниження вологості повітря і температури досягається завдяки вентиляції сонячної теплиці, яка забезпечує також і газообмін. При природній вентиляції повітрообмін залежить від площі і розташування вентиляційних отворів з клапанами. Для вільно розташованої геліотеплиці ці отвори повинні лежати в напрямку переважаючих вітрів, щоб зі збільшенням швидкості вітру збільшувався повітрообмін. Площа отворів повинна складати приблизно 1/6 площі теплиці, причому площа нижніх отворів для входу повітря повинна бути на 1/3 менше площі випускних отворів, а різниця їх позначок за висотою повинна становити не менше 1,8 м.

Влітку в сонячній теплиці може виникати нестерпна спека. Для попередження перегріву в теплиці повинна бути достатня маса теплоакуючого матеріалу, повинен бути забезпечений хороший повітрообмін і передбачено затінення

теплиці, що значно знижує температуру повітря і рослин і інтенсивність променистого теплообміну.

Об'єм акумулятора теплоти (водяного, галечного, ґрунтового), площа застелених поверхонь і товщина теплоізоляції визначаються розрахунковим шляхом з урахуванням кліматичних даних.

У тунельних геліотеплицях можуть використовуватися плоскі колектори сонячної енергії і ґрунтові акумулятори теплоти з пластмасовими трубами, прокладеними в ґрунті для циркуляції нагрітого або холодного повітря. В одному з варіантів може бути передбачена система уприскування нагрітої води в теплицю, завдяки чому забезпечується необхідний температурно-вологісний режим. При порівнянні з льотною теплицею при використанні сонячної опалювальної системи температура повітря на 3 ... 8 ° С вище.

Ефективність сонячної теплиці значно зростає при застосуванні теплового насоса, що відбирає теплоту у ґрунту, ґрунтових вод або зовнішнього повітря.

## **1.2 Застосування панелей сонячної енергії в фермерському господарстві.**

Фермерське господарство є одним з таких секторів, який може отримати величезну вигоду завдяки використанню сонячної енергії. З ростом населення Землі попит на сільськогосподарську продукцію зростає в геометричній прогресії.

Сонячна енергія має величезний потенціал для сонячного зрошення і може бути використана для перекачування води для худоби і зрошення сільськогосподарських культур. Сьогодні багато будівельних компаній проектують і ремонтують будівлі так, щоб утримувати тепло, доступне при денному світлі. Це тепло також можна використовувати для обігріву будинків і скотарень.

Деяка домашня худоба потребує постійної подачі свіжого повітря. Сьогодні в США, Японії, Китаї, Норвегії і навіть в Україні вже діють системи для роботи кулерів та інших подібних боксів, що дозволяють уникнути витрат на

електроенергію теплових станцій, що працюють на вугіллі і АЕС. Найбільш економічно ефективний підхід - попросити будівельну компанію, яка будує вам житло, спроектувати конструкцію будівлі таким чином, щоб вона ефективно оптимізувала сонячне світло, яке воно отримує.

Сонячні водонагрівачі можуть забезпечити подачу гарячої води для чищення худоби і загороди. Молочні заводи можуть використовувати гарячу «сонячну воду», щоб доїти корів. Сонячне світло може бути використане для вироблення електроенергії, для харчування жител фермерів і їх господарств.

### **1.3 Сонячна енергія для сушіння зернових.**

Основний відсоток сільськогосподарської продукції псується під час традиційної сушки на відкритому повітрі. Використання методу сонячної сушки дозволяє сушити зернові культури швидше і рівномірніше, ніж залишати їх відкритими в польових умовах з додатковою перевагою захисту від птахів, комах і черв'яків.

Легко швидкопсувні зернові культури часто важко висушити, і чимала частина врожаю в кінцевому підсумку стає зіпсованою. З сонячним сушінням є змога легко висушити ці культури і забезпечити більш тривалий час зберігання і легше їх транспортування. Це значно скоротить кількість зіпсованих культур і сприятиме збільшенню доходів фермерів.

Існують різні типи сонячних сушарок, такі як пряма сушка (сонячна сушарка), непряма сушка (наприклад, сушарка з біомаси), змішана сушка (сонячна тунельна сушарка) або гібридна сушка (гібридна сушарка з сушінням з біомаси).

Як правило, сонячний сушильний апарат складається з сараю, сушарки та сонячного колектора. Сарай вловлює сонячне тепло, що виходить з вікна, що виходить на південь, а природна конвекція або сонячний вентилятор виштовхують тепло.

Якщо на фермі вже є сушарка для рослин, має сенс замінити звичайне паливо, що живить апарат сонячною енергією. Таким способом є змога заощадити паливо і гроші.

#### **1.4 Ефективне використання тепличного опалення.**

Теплиці зазвичай використовують сонячну енергію для виконання своєї запропонованої функції. Але для підтримки постійної температури доводиться витратити природний газ і паливо. Є кілька методів, які ви можете використовувати для підвищення ефективності теплиці, але фермери часто вибирають використання радіатора.

Найпростіший метод регулювання температури всередині теплиці - це використання теплової маси, званої тепловідводом. Термічна маса - це будь-який матеріал, який поглинає енергію і зберігає її для подальшого використання. Одним з таких прикладів є вода. Сонячне тепло, нагріває воду, можна використовувати для регулювання температури.

#### **1.5 Використання сонячної фотоелектричної енергії в фермерському господарстві.**

Сонячне світло також може бути використане для вироблення електроенергії за допомогою фотоелектричних сонячних батарей. Це часто є економічно вигідним підходом у порівнянні з традиційними способами подачі електроенергії, особливо в віддалене місце, де є проблема при установці ліній електропередачі. Джерела сонячної енергії не мають рухомих частин і їх легше обслуговувати, ніж двигуни, що працюють на дизельному паливі.

Панелі сонячної енергії мають широкий спектр застосувань; найбільш важливі з них включають зрошення полів, охолодження сільськогосподарської продукції, подрібнення зерна, електрична огорожа пасовищ (електропастухи), освітлення птахоферм і т. д.. Хоча застосування сонячної фотоелектричної системи обмежена приладами з меншими витратами енергії, це допоможе знизити

залежність від електрики. Крім того, очікується, що вартість фотоелектричних систем з часом знизиться.

В основному сьогодні встановлюються системи на 10 кіловат і більше. Для прикладу, установка системи з сонячних батарей на 10 кіловат коштуватиме близько 35 тисяч доларів. Одна така система цілком може забезпечити енергією фермерський будинок.



Для порівняння підтриманий дизельний генератор обійдеться в тисячі дві-три, але варто ще врахувати вартість палива, ремонт та екологічну складову.

### **Переваги використання сонячної енергії для фермерського господарства.**

Ненадійне постачання електроенергії є однією з головних проблем для багатьох фермерів і агрогосподарств, багато хто навіть зазнали серйозних збитків.

Перевагами застосування сонячної енергії є наступні:

#### **Сонячна енергія набагато дешевше, ніж викопне паливо.**

На великих фермах використання сонячної енергії призведе до більш низької вартості продукції, ніж при роботі на викопному паливі. Установка буде дорогою, але як тільки повернути вкладену суму, яка використовується, енергія буде безкоштовною. Крім того, фермери, що працюють в цивілізованих країнах, зможуть отримувати субсидії від органів самоврядування і центрального уряду, які допоможуть їм легко окупити вартість установки;

#### **Ефективне вирішення проблем, пов'язаних з посухою.**

Щороку фермери турбуються про посуху і віялові відключення електроенергії. З панелями сонячної енергії їм не потрібно буде покладатися на третіх осіб для здійснення сільськогосподарської діяльності. Сонячні батареї вимагають мінімальної кількості води і виявляються дуже корисними в районах з дефіцитом води.

Фермерське господарство іноді не поспішає приймати технологічні вигоди в порівнянні з іншими секторами. З використанням сонячної енергії для забезпечення сільськогосподарської діяльності, сільськогосподарський сектор доведе, що він готовий до більшого технологічного прогресу. З ростом сонячної енергії все більше фермерів буде використовувати сонячну енергію для ведення своєї сільськогосподарської діяльності, і це спонукає промислові підприємства і дослідників надати фермерам більш технологічно оснащене обладнання.

Оскільки сільськогосподарські угіддя завжди живуть в страху перед перебоями в подачі електроенергії, використання сонячної енергії може виявитися корисним для багатьох. З новими досягненнями легшає зберігати сонячну енергію для подальшого використання. Фермери можуть накопичувати сонячну енергію за допомогою батарей в години пік і використовувати її пізніше, коли це необхідно.

## **Розділ 2. Геліостанція**

Геліостанція - це така електростанція, яка виробляє електроенергію шляхом перетворення енергії сонця. Під сонячною енергією розуміється сукупність всіх видів енергій, що випромінюються сонцем (тепло, світло тощо.).

### **2.1 Принцип роботи геліостанції:**

Дані електростанції засновані на принципі концентрування сонячної енергії з певної площі в одній точці, де вона перетворюється в теплову енергію, а далі теплова енергія традиційними способами перетворюється в електричну.

Для кращого розуміння принципу дії геліостанцій розглянемо деякі їх типи.

## 2.2 Типи геліостанцій

У центрі сонячної електростанції споруджено вежу. Висота її може варіюватися від 18 до 24 метрів в залежності від потужності. На вершині вежі розташована ємність з теплоносієм - зазвичай використовують воду, як найдешевший і найпоширеніший теплоносій. Для кращого поглинання енергії сонця резервуар з теплоносієм фарбують в чорний колір. По колу від вежі на деякій відстані розташовуються дзеркала, направляючи сонячну енергію на ємність з теплоносієм. Залежно від положення сонця на небі доводиться постійно підлаштовувати дзеркала, щоб відбите від них сонячне світло завжди потрапляло на верхівку вежі і нагрівало воду. Температура в резервуарі може досягати 700 градусів. Перегрітий пар, що відводиться від резервуара крутить турбіни які використовуються на звичайних теплоелектростанціях. На геліостанцію такого типу можна досягти чималого ККД - приблизно 20%.

Чому замість води, в системі циркулює розплавлена сіль?

Вода здатна нагріватися лише до 100 градусів, а розплавлена сіль до 500 градусів. Саме це дозволяє виробляти енергію навіть вночі. Нагріта до екстремальних температур сіль остигає дуже довго. Гаряча сіль закачується в гігантські цистерни, де вона продовжує видавати великі обсяги пара всю ніч. У літню пору сонячна електростанція працює цілодобово.

Влітку турбіна обертається 24 години на добу, а в зимовий час 15-16 годин безперервно. Але сіллю заправлена тільки одна вежа, інша працює на водяній парі. Якщо вежа на солі працює цілодобово, то водяна вежа працює вночі всього 2 - 3 години. Дві вежі виробляють 30МВт електроенергії.

Іноді трапляється так, що в місце фокусування тисяч променів потрапляють птахи. Температура в 400 градусів практично не залишає їм шансів пролетіти цю ділянку. Таких пташок часто знаходять на території. На деяких станціях навіть встановили систему для відлякування крилатих.



Баштова геліостанція.

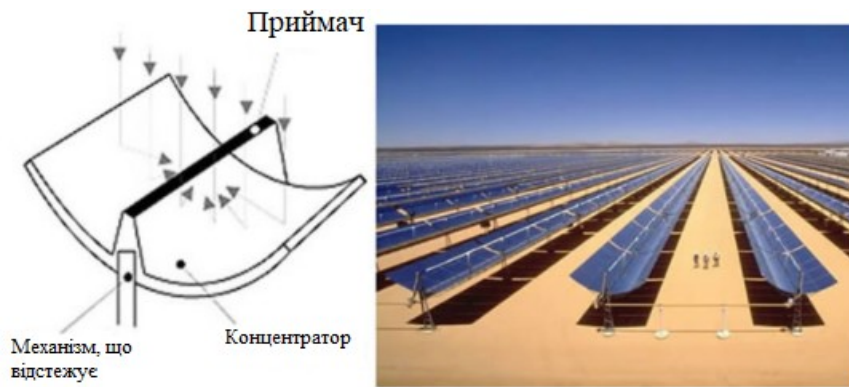


Геліостанція Оделла у Франції, виробляє енергію з сонячного проміння.

Геліостанції засновані на цьому принципі можуть бути і тарілчастими, з параболічними концентраторами. Відмінності їх в конструкції. Станція складається з окремих модулів - дзеркальних тарілок або концентраторів. Такі станції можуть складатися як з одного модуля, так і з декількох десятків, які працюють як єдине ціле.



Тарілчаста геліостанція.



Геліостанція використовує параболічні концентратори.

Ще одна геліостанція з відмінним принципом дії від вищевказаних будується в Австралії. Проектна потужність 200 МВт.

У центрі станції розташовується вертикальна труба, виконана із залізобетону, всередині якої встановлений турбогенератор. Навколо труби знаходиться геліоколектор, що вдає із себе свого роду «теплиці», радіально розходяться в різні боки від центральної установки. Така компоновка дозволяє вловлювати вітер, що дме з будь-якого боку, і направляти його всередину труби.

Геліоколектор виготовлений з світлопроникного матеріалу, всередині якого під дією сонячних променів нагрівається повітря. Розігріте в «теплицях» повітря спрямовується до центру станції - в вертикальну трубу. Через різницю температур в трубі виникає тяга, і піднімається вгору по трубі розігріте повітря обертає лопатки турбіни. Далі вироблення електроенергії відбувається класичним способом. Механічна енергія від обертової турбіни передається на генератор, який в свою чергу перетворює механічну енергію в електричну.

В даний час вже стала звичайною геліостанція на сонячних батареях. Однак треба визнати, що даний тип геліостанцій використовує сонячну енергію не в повній мірі.



Геліостанція на сонячних батареях.

**Переваги геліостанцій:**

- геліостанції є автономними і не вимагають для своєї роботи інших джерел енергії, крім сонячної;
- сонячна енергія є відновлюваним, а точніше практично невичерпним ресурсом;
- відсутні побічні продукти виробництва, а отже забруднення ними навколишнього середовища.

**Недоліки геліостанцій:**

- можливість використання тільки в широтах з великою кількістю сонячних днів;
- громіздкість конструкції - щоб отримати достатню потужність необхідна велика площа збору сонячної енергії;
- складність управління та утримання - зеркала і фотоелементи необхідно направляти на сонце і в перебігу дня коригувати їх положення, очищати від забруднень;
- можливість використання тільки в денний час.

**2.3 Геліосистеми і теплові насоси в системах автономного тепло- та холодопостачання.**

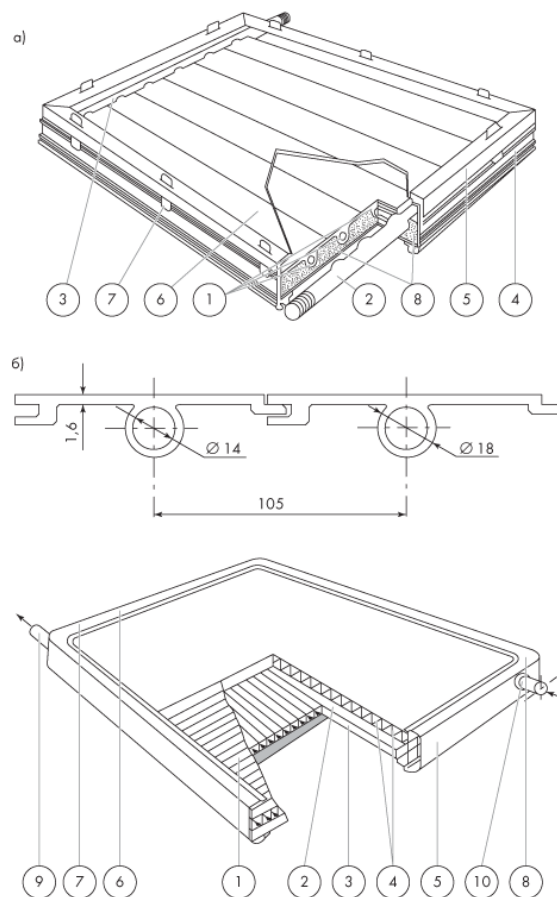
Комбіновані системи, інтегруючи можливості альтернативних і традиційних джерел енергії, зокрема, низькопотенційних джерел, можуть включати геліосистеми, теплові насоси, сезонні теплоакумлювальні ємності та ін.,

Взаємно доповнюючи один одного, особливо в умовах цілорічної експлуатації і

рішення комплексних завдань життєзабезпечення - тепло-, холодопостачання та кондиціонування повітря.

Для України найбільші перспективи має розвиток сонячна енергетика. Це, в першу чергу, геліосистеми з плоскими сонячними колекторами для забезпечення автономного теплопостачання (гарячого водопостачання та опалення) житлових і виробничих об'єктів (сільськогосподарських ферм, підприємств переробної галузі, хлібопекарень і т. д.).

### Розділ 3. Сонячні та комбіновані системи автономного тепло- та холодопостачання.



Малюнок 6. Загальний вигляд сонячного колектора: а) Плоский сонячний колектор (СК-1.1) з алюмінієвого сплаву: 1 - трубний реєстр; 2, 3 - колекторні труби; 4 - корпус сонячного колектора; 5 - кріпильний куточок; 6 - скло; 7 – кріпильний елемент; 8 - теплоізоляція; б) Новий тип розроблюваного сонячного колектора - полімерний сонячний колектор (СК-П) на основі багатошарової панелі з полікарбонату: 1 - верхній шар панелі - прозора ізоляція; 2 - середній

шар - абсорбер СК; 3 - нижній шар - теплоізоляція; 4 - канали абсорбера; 5, 6 - розподільні колектори сонячного колектора; 7, 8 - корпус сонячного колектора; 9, 10 - патрубки для теплоносія.

На мал. 6а представлений загальний вид сонячного колектора (СК).

Теплосприймаюча панель колектора виконана у вигляді реєстра труб з плавниковими ребрами, виготовленими з антикорозійного алюмінієвого сплаву. Сонячний колектор включає гідравлічні колектори (2, 3), корпус з профільованого алюмінію, високоефективну теплоізоляцію. Завдяки особливій конструкції кріплення частини забезпечується простий і надійний спосіб установки скла 6. У баку-акумуляторі передбачене додаткове гріюче джерело, що компенсує природні коливання сонячної активності.

Стримуючим фактором розширення обсягів практичного використання геліосистем на Україні є висока вартість сонячних колекторів, виготовлених нині з дорогого алюмінієвого сплаву.

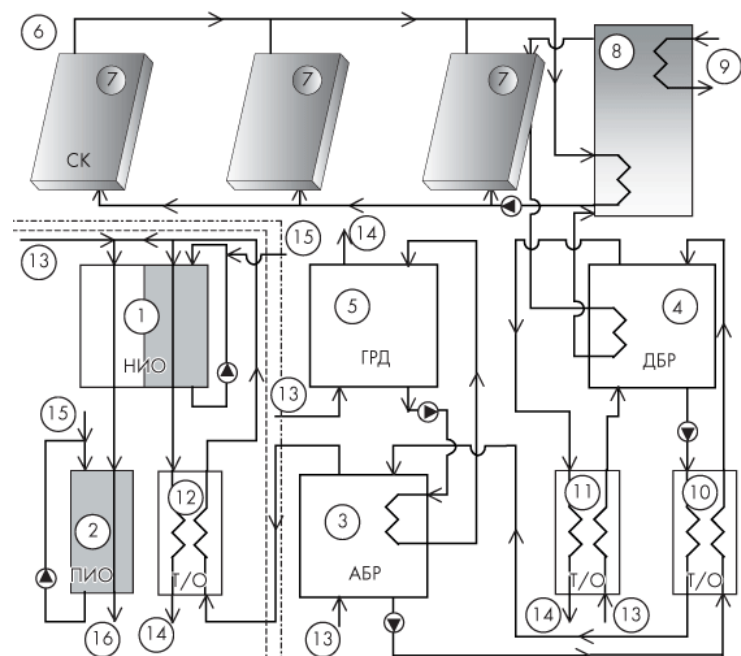
У новому типі сонячного колектора (мал. 6б) використовується полімер на основі полікарбонату. Полімерний багатошаровий колектор СК-П має, при збереженні прийнятних експлуатаційних характеристик, досить низьку вартість (менш 100 дол. США / м<sup>2</sup> у порівнянні з 200-300 дол. США, що випускаються на Україні традиційних конструкцій і з 600 дол. США / м<sup>2</sup> - для зарубіжних) і малу масу (3-6 кг / м<sup>2</sup> у порівнянні з 20-30 кг / м<sup>2</sup> для металевих конструкцій). Між кожними двома шарами такого матеріалу утворюються канали з різними технологічними призначенням. Нижній ряд каналів може виконувати роль теплоізолятора, а верхній - роль традиційного для сонячного колектора повітряного зазору між абсорбером і склінням (прозорої ізоляції).

Полікарбонатна панель має високу стійкість до ударних впливів (в 5-6 разів перевищує стійкість скла) і характеризується сталістю механічних і оптичних властивостей сонячного колектора протягом багатьох років експлуатації.

Полімерний сонячний колектор з тривалим «життям» на сонці розрахований на приватного масового споживача. Досвід багаторічної експлуатації геліосистем і

аналіз ринку, проведений в країнах СНД і Україні, підтверджують перспективність такого дешевого, легкого і надійного в експлуатації сонячного колектора як на внутрішньому ринку, так і за кордоном (країни СНД, особливо середньоазіатські країни).

Відкритий цикл [4, 5] може лежати в основі нового покоління сонячних холодильних систем і систем кондиціонування повітря. Він працездатний на малих перепадах температур, екологічно чистий і характеризується малим споживанням енергії. В якості гріючого джерела використовується геліосистема з плоскими сонячними колекторами. Надешевшим і надійним типом, одна з модифікацій якого представлена на рис. 1а.



Малюнок 7. Варіант схеми, що реалізує цикл альтернативної системи кондиціонування повітря з геліосистемою (сонячною енергією): 1, 2 - непрямий і прямий випарні охолоджувачі; 3, 4 - абсорбер (АБР) і десорбер (ДБР); 5 - градирня (ГРД); 6 - геліосистема (ГС); 7 - сонячний колектор (СК); 8 - бак-аккумулятор; 9 - додатковий гріючий джерело; 10-12 – регенеративні теплообмінники; 13 - зовнішнє повітря; 14 - викид повітряного потоку в атмосферу; 15 - підживлення системи водою; 16 - подача повітря в приміщення.

На мал. 7 наведено варіант схеми, що реалізує цикл альтернативної системи кондиціонування повітря. Схема включає дві частини: попереднього осушення

повітря і випарного охолодження. У осушувальній частині сонячна енергія, необхідна для регенерації абсорбенту, забезпечується геліосистемою, а охолодження абсорбера - градирнею.

Альтернативна система кондиціонування повітря складається з абсорбера 3 (осушувач повітря), десорбера 4 (сонячна регенерація абсорбенту), комбінованого випарного охолоджувача 1-2 і регенеративних теплообмінників. Повітряний потік 13 (свіже зовнішнє повітря) при осушенні в абсорбері знижує свій вологовміст  $x_g$  і, відповідно, температуру точки роси  $t_{dp}$  (природна межа випарного охолодження), що забезпечує значний потенціал охолодження. В якості випарника використовується розроблений апарат непрямого випарного охолодження (НВО) [6], вирішене за сумісною схемою у вигляді багатоканальної насадки з чергуючими «вологими» каналами (взаємодіє допоміжний повітряний потік і водяна плівка, рециркулюють через апарат) і «сухими» каналами (основний повітряний потік, що охолоджується при незмінному вологовмісті). Випарне охолодження води у «вологих» каналах забезпечує безконтактне охолодження основного повітряного потоку в «сухих» каналах НВО через тонку теплопровідну роздільну стінку. У схемі показаний комбінований охолоджувач в складі НВО (перший ступінь охолодження - непрямий випарний охолоджувач) і прямий випарний охолоджувач (ПВО) в якості другого ступеня.

Особливий інтерес представляє регенеративна схема, що забезпечує високу ефективність процесу. На мал. 7 вона являє собою спільну роботу НВО 1 і теплообмінника Т/О 12. Якщо врахувати, що регенеративна схема потенційно може забезпечити охолодження, яке надходить в випарний охолоджувач, повітря до температури точки роси, то, з урахуванням попереднього осушення його в абсорбері, рівень охолодження може бути вельми істотним.

Розроблена альтернативна система кондиціонування повітря забезпечує отримання комфортних параметрів повітря випарними методами його термовологісної обробки без використання холодильних агентів і при будь-

яких вихідних кліматичних параметрах. Порівняно з парокомпресорним кондиціонером вона знижує витрату енергії до 50% і є екологічно чистою.

Використовуючи енергію сонця, геліосистеми дозволяють щорічно економити традиційне паливо:

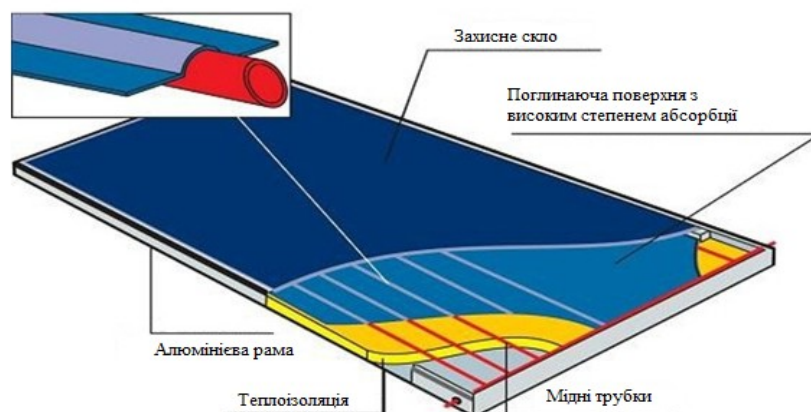
до 75% - для гарячого водопостачання (ГВП) при цілорічному використанні;

до 95% - для ГВП при сезонному використанні; до 50% - в цілях опалення;

до 80% - в цілях чергового опалення.

Відкриті сонячні колектори представляють собою одну лише поглинаючу панель (без корпусу), яка зазвичай виготовляється з пластика або гуми, стійкої до ультрафіолетового випромінювання, і закріплюється безпосередньо на даху. Переваги таких систем: можливий найвищий ККД системи, простота, надійність, легкий монтаж, мала вага. До недоліків систем можна віднести: значне зниження ККД зі збільшенням різниці температур, велика залежність від погодних факторів (хмарності, вітру і т. Д.), обмеженість в застосуванні (використовується тільки для басейнів), велика чутливість до мінусових температур, малий ефективний термін експлуатації.

Плоскі геліоколектори (рис. 8) мають конструкцію, головним елементом в якій є абсорбер, який поглинає сонячне випромінювання. Зверху колектор має прозоре покриття (зазвичай скло).



Малюнок 8. Принципова схема колектора зі спеціальним покриттям.

Для підвищення ефективності колектора, використовують спеціальне оптичне покриття із загартованого скла з пониженим вмістом металів, що має коефіцієнт пропускання до 95%. Нагріваючись, покриття випромінює теплову енергію, основна потужність якого знаходиться в інфрачервоному діапазоні (даний спектр випромінювання практично не пропускається склом). Таким чином, досягається акумуляція сонячної енергії всередині колектора. Передача теплоти до теплоносія здійснюється за допомогою конструктивних елементів, виконаних, як правило, з алюмінію або міді. Відведення теплоти здійснюється теплоносієм - водою або розчином незамерзаючої рідини.

Переваги таких систем складаються в здатності очищатися від снігу та інію, високої продуктивності влітку, можливості установки під будь-яким кутом.

До недоліків систем можна віднести високі теплові втрати, низьку працездатність в холодну пору року, складність монтажу, пов'язану з необхідністю доставки на дах зібраного колектора, високу парусність при установці на підставці. Крім того, в системах з плоскими колекторами існує проблема розмноження бактерій та інших мікроорганізмів, якої немає в системах з вакуумними колекторами.

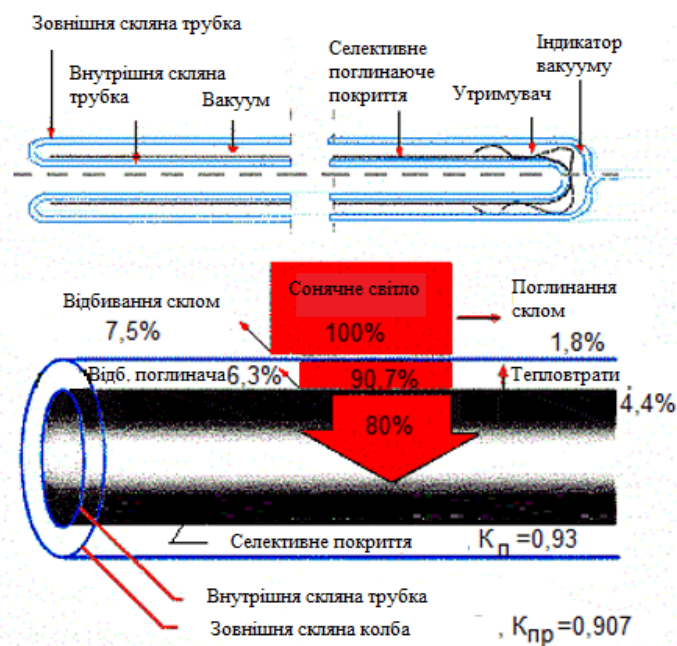
Основною частиною вакуумного колектора є теплова трубка. Такі колектори представляють собою ряд скляних трубок спеціальної конструкції. Трубка геліоколектора - це насправді дві трубки (одна вкладена в іншу), між якими знаходиться вакуум для найкращої термоізоляції теплоносія від зовнішнього середовища. Одна з найпростіших, поширених і недорогих вакуумних трубок для сонячних водонагрівальних установок представлена на малюнку 9.

Спосіб передачі теплоти від неї теплопроводу вакуумного сонячного колектора: труба всередині порожня і містить неорганічну нетоксичну рідину. При нагріванні ця рідина випаровується, а оскільки в трубці створений вакуум, то це відбувається навіть при температурі  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Пара піднімається до наконечника теплової трубки, де віддає теплоту теплоносію (антифризу), який тече по теплопроводу геліоколектора. Потім він конденсується і стікає вниз, і процес повторюється знову. Для підтримки

вакууму між двома скляними трубками використовується барієвий газоприймач. При виробництві газопоглинач піддається впливу високих температур, внаслідок чого нижній кінець вакуумної трубки покривається шаром чистого барію. Цей шар барію поглинає CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O і H<sub>2</sub>, які виділяються з труби в процесі зберігання і експлуатації, підтримуючи, таким чином, стан вакууму. Шар барію також є чітким візуальним індикатором стану вакууму. Коли вакуум зникає, барієвий шар змінює свій колір (срібний стає білим, малюнок 10). Це дає можливість легко визначити, чи справна труба.

Такі трубки використовуються в системах з відкритим контуром або з низьким тиском. В системах, де теплоносієм є вода, рекомендовано при- сування зазначених трубок при тривалих температурах не нижче -30 ° С.

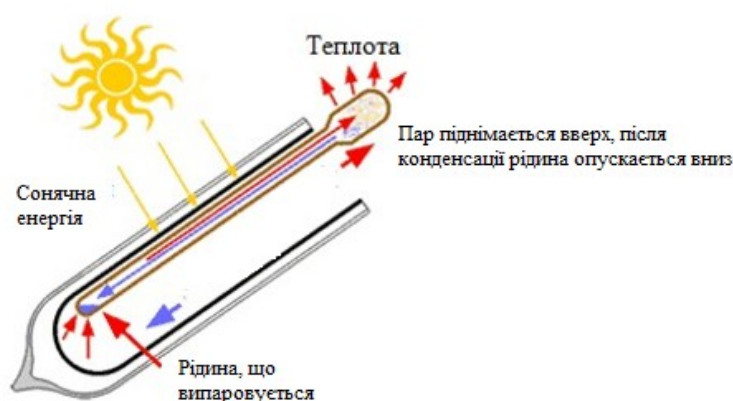


Малюнок 9. Пристрій найпростішої вакуумної трубки для сонячного колектора.



Малюнок 10. Визначення справності вакуумної трубки для сонячного колектора: трубка зліва справна, трубка справа – ні.

Сучасні сонячні колектори поліпшених характеристик представляють пристрої у вигляді вакуумних трубок з тепловим стрижнем (тепловою трубою). Такі пристрої (малюнки 11 і 12) складаються з трубки, всередину якої введена контактна пластина і теплопровідний стрижень - теплова трубка. Дана трубка стійка до заморожування і працездатна без пошкоджень до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Усередині стержня знаходиться невелика кількість антифризу при малому тиску, тому випаровування рідини починається при досягненні температури всередині трубки  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Це більш просунутий тип трубки, який може працювати при низьких температурах і тиску водопроводу.



Малюнок 11. Вакуумна трубка з тепловим стрижнем (теплова трубка).



Малюнок 12. Огляд елементів вакуумних сонячних колекторів.

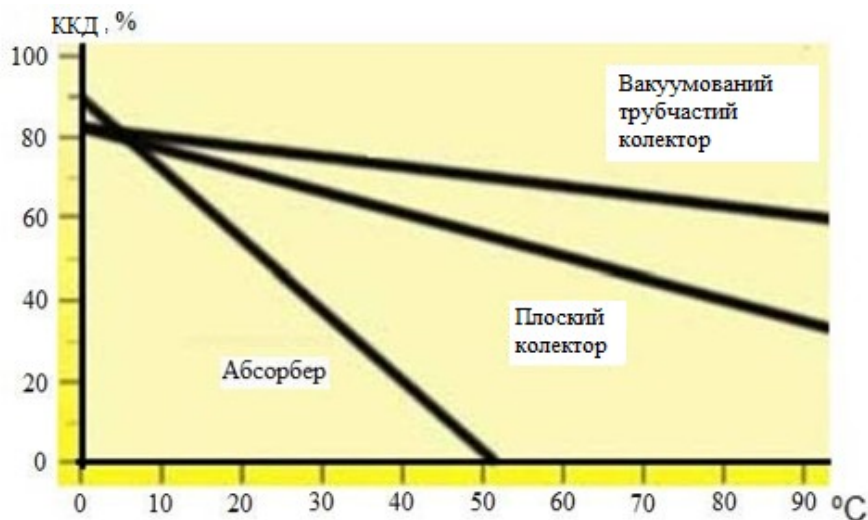
До переваг елементів вакуумних сонячних колекторів можна віднести високу ефективність протягом усього року, максимально можливий ККД в зимовий період і універсальність. Недоліки елементів полягають в низькому ККД, низької надійності, механічній незахищеності, поступове зникнення вакууму в деяких з трубок, неефективну роботу в районах з низькими температурами (утворення інію, випадання снігу на поверхні), великій масі і габаритних розмірах при тій же площі поглинання елемента.

Крім того, в якості недоліків необхідно відзначити малий ефективний термін експлуатації (періодично необхідно замінювати окремі трубки) і те, що через втрату вакууму в деяких трубках, ці колектори можуть працювати гірше плоских сонячних колекторів.

При невикористанні такого геліоколектора в літню пору для запобігання скипання рідини необхідно накривати обладнання чохлом.

У сонячні літні дні різниця в роботі хороших плоских і вакуумних сонячних колекторів практично непомітна. Однак при низькій температурі

навколишнього середовища переваги вакуумних колекторів стають очевидними. Також, навіть в літній час є різниця між максимальними температурами нагріву води в колекторах. Якщо для плоских колекторів максимальна температура не перевищує 80-90°C, то в вакуумних колекторах температура теплоносія може перевищувати 100°C. Це вимагає постійного відводу теплоти від вакуумного колектора, щоб він не закипів. Зазвичай системи з плоскими колекторами використовують сезонно, з весни по осінь. У зимовий час ефективність систем з плоскими сонячними колекторами падає за рахунок теплових втрат в навколишнє середовище. Сонячний вакуумний колектор забезпечує збір сонячного випромінювання в будь-яку погоду, практично незалежно від зовнішньої температури. Коефіцієнт поглинання енергії таких колекторів становить 98%. Ізоляція у вигляді вакууму дозволяє уникнути втрат тепла. Ефективність різних колекторів приведена на малюнку 13.



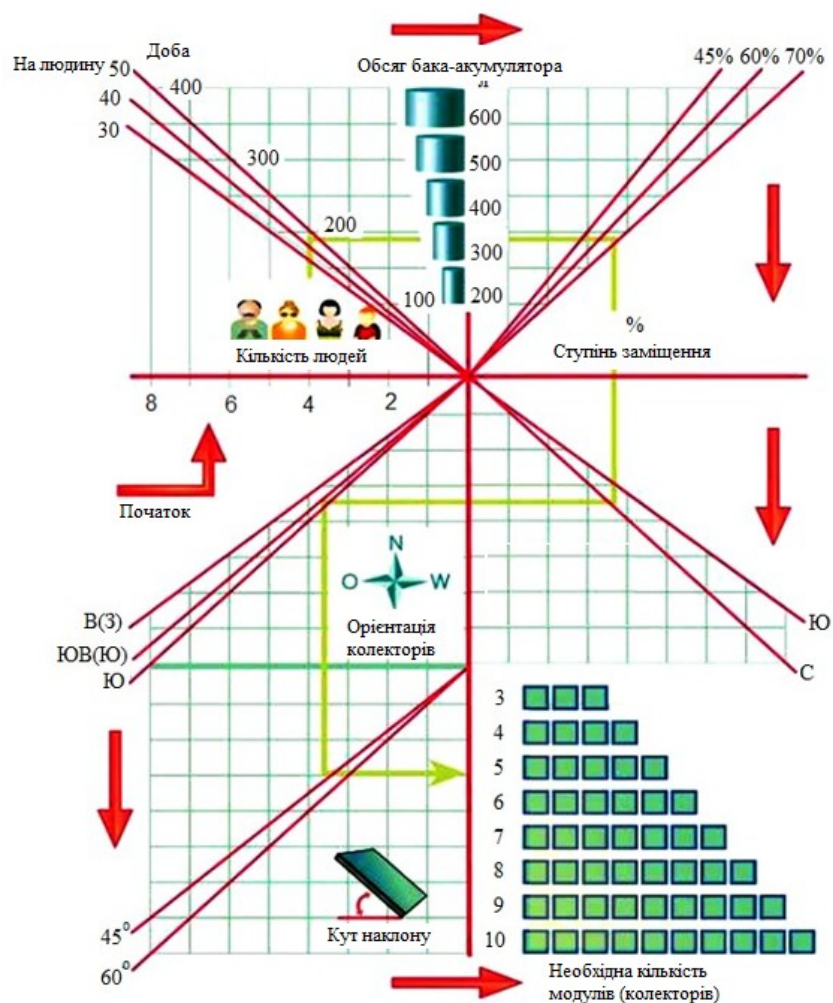
Малюнок 13. Залежність ККД сонячних колекторів різних типів від різниці температур всередині трубок колектора (теплоносія) і навколишнього середовища.

Часто виникає питання, наскільки реально опалювати будинок за рахунок енергії сонця. На жаль, про значну частку сонячного опалення в тепловому балансі говорити не доводиться. Однак сонячна опалювальна установка на

основі вакуумних сонячних колекторів може з успіхом справлятися із завданням підтримки мінімальної заданої температури будинку навесні і восени.

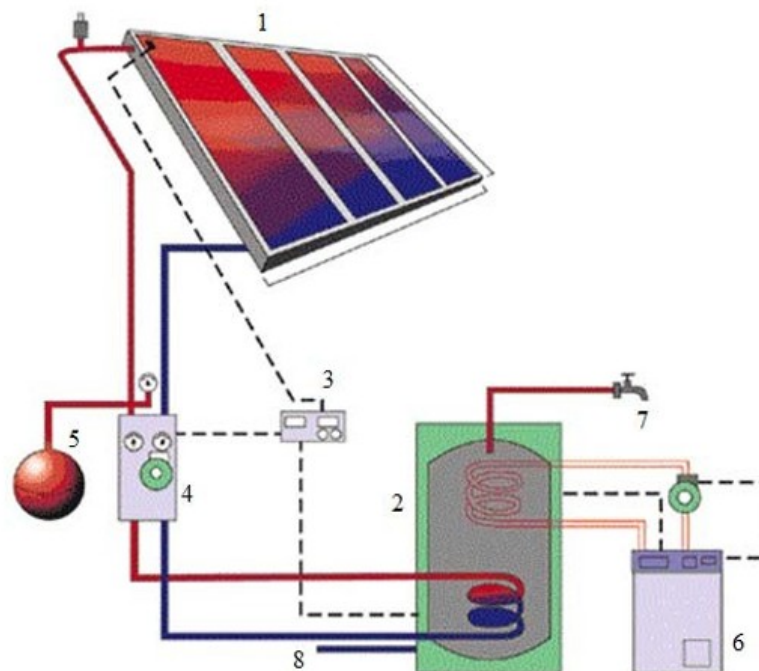
Зазвичай рекомендують розраховувати систему сонячного теплопостачання в розрахунку на гаряче водопостачання (ГВП). При цьому можна в рази 2 збільшити кількість колекторів для того, щоб гарантовано забезпечити ГВС в весняно-осінній період і мати помітну добавку до генерації теплоти в зимовий період. Якщо збільшити кількість колекторів в 3-5 разів, то можна відчутти добавку сонячної теплоти в опалювальний баланс в міжсезоння.

Розрахунки системи сонячного теплопостачання виконують спеціалізовані організації, але в першому наближенні можна виконати їх самостійно з використанням номограми (малюнок 14).



Малюнок 14. Номограма для приблизного розрахунку сонячних колекторів для системи гарячого водопостачання індивідуального будинку (до 8 чол.).

У системах з примусовою циркуляцією (малюнок 15) в колекторний контур включається циркуляційний насос, що дає можливість встановлювати бак-акумулятор в будь-якій частині будівлі. Напрямок руху теплоносія повинен співпадати з напрямом природної циркуляції в колекторах. Вмикання і вимикання насоса проводиться електронним блоком управління, який представляє собою диференціальне управляюче реле, який би порівнює показники датчиків температури, встановлених на виході з колекторів і в баку. Насос включається, якщо температура в колекторах вище температури води в баку. Існують блоки, що дозволяють змінювати швидкість обертання і подачу насоса, підтримуючи постійну різницю температур між колекторами і баком. Системи з активною циркуляцією теплоносія зазвичай бувають двоконтурні.



Малюнок 15. Схема сонячного гарячого водопостачання з примусовою циркуляцією: 1 - колектор; 2 - бойлер; 3 - контрольна панель; 4 - насос; 5 - розширювальний бак; 6 - джерело додаткового підігріву; 7 - вихід гарячої води; 8 - вхід холодної води.

Як показує практика, системи підігріву води ефективні протягом усього року, а влітку можуть служити для забезпечення потреб ГВП для технологічних процесів на фермах великої рогатої худоби (малюнок 16) і забезпечення

побутових потреб обслуговуючого персоналу. Єдина умова по експлуатації сонячних колекторів в літній період часу при максимальній сонячній активності полягає в досить інтенсивному відборі теплої (гарячою, до 60 ° С) води або накриття частини поверхні сонячного колектора брезентом, щоб не допустити закипання теплоносія в вакуумних теплових трубках.



Малюнок 16. Розташування вакуумних сонячних колекторів на дахах ферм ВРХ (система підігріву питної води для тварин).

При виборі сонячних колекторів основною характеристикою системи тепlopостачання є її розрахункова теплова потужність. Теплова потужність системи тепlopостачання визначається з урахуванням її складових: теплової потужності системи опалення та теплової потужності системи гарячого водопостачання об'єкта.

Теплова потужність системи опалення по місяцях року визначається по укрупненими показниками [3, 7]. Знаходять годинну витрату теплоти кВт/добу і середньомісячний за виразом:

$$Q_0^{\text{міс}} = Q_0^{\text{доб}} * n_{\text{доб}} * \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{Н}}^{\text{СР}}}{t_{\text{ВН}} - t_{\text{НО}}}$$

де  $t_{\text{ВН}}$  - температура повітря в приміщенні, приймається рівною

$$t_{\text{ВН}} = 18 \text{ } ^\circ \text{C};$$

$t_H^{CP}$  - середньомісячні температури зовнішнього повітря для заданої місцевості.

При розрахунках вибираємо місяці з середньою температурою зовнішнього повітря  $t_H^{CP} \leq 8^\circ\text{C}$ . За останні розрахункові опалювальні місяці з  $t_H^{CP} \leq 8^\circ\text{C}$  при  $n_\Sigma > n_0$  приймаємо. [3]

$$n' = n_{\text{mic}} - 0.5 * (n_\Sigma - n_0)$$

де  $n_{\text{mic}}$  - кількість календарних днів крайніх місяців.

Якщо  $n_\Sigma < n_{OT}$ , то до розрахункових додаються два найближчих місяці з кількістю календарних днів:

$$n_{\text{mic}} = 0.5 * (n_\Sigma - n_0)$$

### **3.1 Теплові насоси як дублююча нагрівальна система.**

Для забезпечення автономності геліосистем будь-якого призначення при значних коливаннях інтенсивності сонячної радіації, пов'язаних як з погодними, так і з сезонними умовами, особливо в режимі цілорічної експлуатації, використовуються дублюючі джерела нагріву: електричні, газові бойлери та ін. Найбільш часто зустрічається тип дублера - електронагрівач, що володіє такими очевидними перевагами, як надійність, низька вартість, простота підтримки необхідного температурного режиму. Його недолік - високе енергоспоживання самого цінного виду енергії.

Останнім часом в якості дублюючої нагрівальної системи все частіше використовуються теплові насоси, що володіють високою енергетичною ефективністю.

При цілорічної експлуатації тепловий насос на 1 кВт виробленої теплової енергії витрачає близько 300 Вт електричної. Слід, однак, відзначити, що найбільш широке поширення теплові насоси отримали все-таки як самостійні пристрої для нагріву рідких або газоподібних теплоносіїв в системах гарячого водопостачання та опалення [7].

В тепловому насосі реалізується цикл звичайної холодильної машини, але при цьому підвід тепла до випарника здійснюється при температурі навколишнього середовища (або при температурі наявного низько потенційного джерела тепла), а відведення тепла в конденсаторі - при можливо більш високій температурі.

За характером джерел (підведення тепла до випарника) і стоків (відведення тепла від конденсатора) теплові насоси підрозділяються на наступні типи: \* повітря-повітря, \* повітря-вода, \* вода-повітря, \* вода-вода.

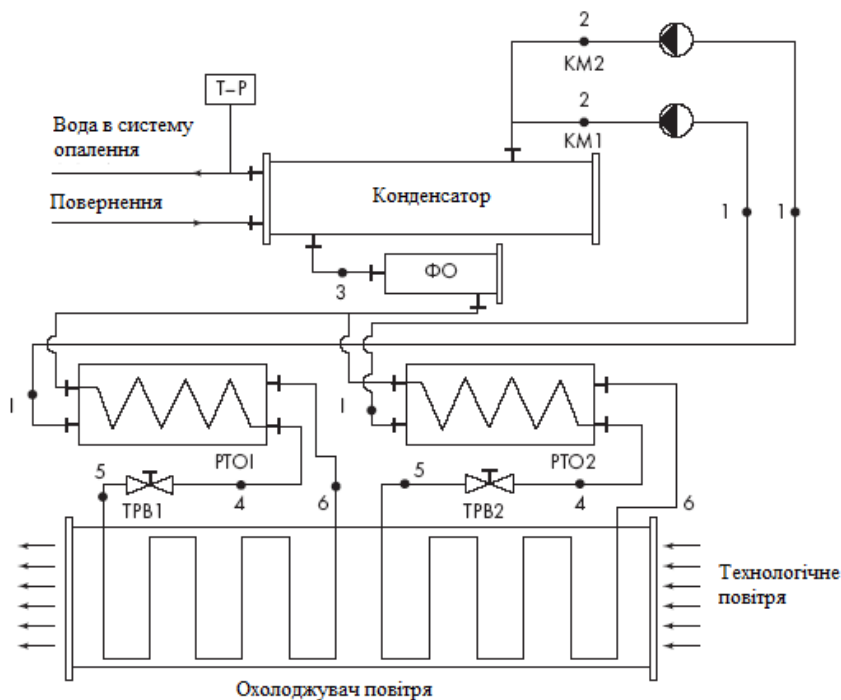
Найбільш часто зустрічається тип - \* повітря-вода, в якому необхідну кількість теплоти відбирається у повітря і передається воді як теплоносія. Якщо в якості джерела теплоти використовується повітря гарячих приміщень (хлібопекарня і ін.), То такий тепловий насос крім підігріву води забезпечує охолодження повітря в приміщенні.

Найбільш економічні і компактні теплові насоси типу \* вода-вода, але навіть при наявності води її використання в якості теплоносія вимагає конкретних технічних рішень для кожного випадку.

Відомі теплові насоси, що використовують теплоту землі, для чого випарник заглиблюється в ґрунт, глибина заглиблення залежить від кліматичних умов і істотно впливає на загальну вартість робіт.

Більшість теплових насосів в світі, що випускаються мають моноблочну конструкцію, яка працює за схемою одноступінчатої парокомпресорної холодильної машини. Як робоче тіло використовуються різні фреони, не заборонені до застосування Монреальським протоколом (R-22, R-134a, R-142b і ін.) і забезпечують нагрів теплоносія до 50-65 ° C [3].

Діапазон теплової потужності теплових насосів дуже широкий: від часток до сотень кВт, що дозволяє, наприклад, забезпечити опалення приміщень площею від десятків до декількох тисяч квадратних метрів.



Малюнок 17. Принципова схема однієї з найпоширеніших модифікацій теплового насоса типу \* повітря - вода на прикладі моделі НКВ-60-2-8: КМ1, КМ2 - компресори; ФО - фільтр-осушувач; РТО1, РТО2 – регенеративні теплообмінники; ТР1, ТР2 - терморегулюючі вентиля; Т-Р - терморегулятор; 1-6 - вузлові точки циклу.

На мал. 17, на прикладі моделі НКВ-60-2-8, представлена принципова схема однієї з найпоширеніших модифікацій теплових насосів \* повітря-вода. Необхідна температура теплоносія - води ( $50^{\circ}\text{C}$ ) - підтримується датчиком - реле температури. Джерело теплоти - навколишнє повітря з температурою не нижче  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Залежно від температурних умов підведення і відведення тепла теплопродуктивність  $Q_k$ , споживана потужність  $N_{el}$  і тепловий коефіцієнт  $\phi$  ( $\phi = Q_k / N_{el}$ ) теплонасосної установки змінюються в досить широких межах. Для визначення характеру залежності  $Q_k$ ,  $N_{el}$  і  $\phi$  від температури кипіння  $T_o$  конденсації  $T_k$  була розроблена методика і проведені розрахунки основних характеристик теплових насосів при їх роботі на різних робочих тілах. Нижче наведені деякі результати розрахунків, проведених для теплового насоса НКВ-60-2-8 з паспортної продуктивністю 60 кВт (при  $T_o = 0^{\circ}\text{C}$  і  $T_k = 50^{\circ}\text{C}$ ),

що забезпечує нагрів 10 м<sup>2</sup> води в годину. Слід зазначити, що зміна номінальної (паспортної) продуктивності теплового насоса практично не позначається на характері таких залежностей.

Розрахунки показують, що найбільшою енергетичною ефективністю володіють теплові насоси з R-22 в якості робочого тіла, найвищу температуру (до 65 °С) забезпечують насоси з R-142b.

Найбільший вплив на теплопродуктивність теплового насоса надає температура кипіння  $T_e$  робочого тіла при підводі тепла. Так, при  $T_k = 50$  °С підвищення  $T_e$  від 0 до 20 °С призводить до збільшення теплопродуктивності теплового насоса вдвічі, при цьому споживана потужність дещо знижується, а тепловий коефіцієнт (коефіцієнт перетворення) зростає до 8. На кожен кіловат виробленої теплової енергії витрачається 125 ват електричної. В таких режимах тепловий насос не має собі рівних по енергетичній ефективності, і завдання розширення областей застосування теплових насосів полягає в пошуку і використанні джерел теплоти з такими температурними параметрами (природні ресурси, низько потенційного технологічні потоки і ін.). Зменшення  $T_e$  до -10 °С і нижче призводить до значного погіршення ефективності теплового насоса і робить його експлуатацію економічно недоцільною.

Одним з можливих і досить розповсюджених джерел теплоти для теплового насоса є вода систем оборотного водопостачання, зазвичай надходить для охолодження на градирню. Пропонується замість градирні використовувати для охолодження води тепловий насос з одночасним отриманням гарячої води для технологічних і побутових потреб або для опалення. Для оцінки доцільності такої заміни був виконаний розрахунок її економічної ефективності. В якості базового зразка прийнятий тепловий насос НКВ-60-2-8; в якості джерела тепла використовується вода системи оборотного водопостачання компресорного цеху. При цьому температура кипіння теплового насоса може підтримуватися на рівні  $T_e = 20-25$  °С, що призводить (згідно з проведеними розрахунками) до збільшення теплопродуктивності насоса до 120 кВт і теплового коефіцієнта  $\phi$  до 8; а споживана насосом потужність складе  $\sim 5$  кВт.

Використання теплових насосів в системі опалення, через порівняно невисокої температури теплоносія (50-65 ° C), вимагає деякого збільшення поверхні опалювальних приладів, а отже, і вартості системи. Цього недоліку позбавлені парокомпресійні водоаміачні теплові насоси, які можуть працювати при температурі конденсації до 100-120 ° C.

Крім традиційних областей застосування (опалення, гаряче водопостачання), такі теплові насоси можуть використовуватися для сушки деревини, концентрації соків, випарювання розчинів і ін.

Слід припустити, що в міру збільшення кількості теоретичних і експериментальних робіт по таким тепловим насосам будуть розширюватися і можливі області їх застосування.

Таким чином, в ряду поновлюваних джерел енергії саме сонячна представляє особливий інтерес для енергогосподарства України (сонячне теплопостачання; сонячні холодильні, кондиціонуючі і теплонасосні системи). Створення надійного і дешевого, масового сонячного колектора зумовить розвиток практичного використання сонячної енергії в найближчі роки.

Комбіновані системи, інтегруючи можливості альтернативних і традиційних джерел енергії, зокрема, низькопотенційних джерел, можуть включати геліосистеми, теплові насоси, сезонні теплоакумлювальні ємності та ін., взаємно доповнюючи один одного, особливо в умовах цілорічної експлуатації і рішення комплексних завдань життєзабезпечення - тепло-, холодопостачання та кондиціонування повітря.

#### **Розділ 4. Огляд дослідження по тематиці відновлювальних джерел енергії**

Технології ВДЕ можуть знайти широке застосування на дачах (літніх заміських будинках). Близько 70-80% українського населення залучено в індивідуальне садівництво та фермерство. За оцінками, 22 млн сімей мають власні сільські будинки з ділянками землі, 16 мільйонів сімей і 10 мільйонів індивідуальних громадян мають невеликі земельні ділянки, на яких вони вирощують овочі та фрукти для себе і на продаж. За приблизними оцінками, 5 мільйонів індивідуальних ферм і овочеводческих господарств не має з'єднання

електричної мережі і являють собою потенційний ринок збуту технологій децентралізованого виробництва електроенергії. [1]

В даному проекті розробимо пікову фотоелектростанцію в автономній системі електропостачання біля фермерського господарства.

Населені пункти, промисловість і домашні господарства у всьому світі все частіше потребують надійної, доступної за ціною і екологічної енергії для задоволення попиту на електрику, тепло, холод і мобільність. Відновлювана енергія може внести істотний внесок в розвиток цієї галузі і задовольнити цю потребу населення, як в приватних домашніх господарствах, так і в сфері промисловості, транспорту і постачання цілих населених пунктів.

#### **4.1 Обґрунтування актуальності завдання**

Оскільки завданням проектування була створення електропостачання фермерського господарства, де відсутня лінія електропередач, тому вирішення цієї проблеми вирішено було створення ВДЕ в автономній СЕС.

Так як енергетика на сьогоднішній день, є активно прогресуючою галуззю електроенергетики. У зв'язку з парниковим ефектом, постійно погіршується екологічним станом в світі, скороченням і недоліком викопних ресурсів.

Необхідності в децентралізації систем електропостачання, як на міжнародних, так і на державних рівнях приймається ряд законодавчих і технічних рішень.

Відзначається, що в даний час частка нових і поновлюваних джерел енергії в світовому енергетичному балансі як і раніше невелика в силу високої вартості відповідних технологій і відсутності доступу до них. Так само урядам було рекомендовано створити сприятливі умови для популяризації та використання нових та поновлюваних джерел енергії і більш ефективного енергоспоживання.

Державна політика в електроенергетиці базується на ряді принципів, серед яких, сприяння розвитку альтернативної енергетики, як екологічно чистої і без паливної підгалузі енергетики шляхом встановлення зеленого тарифу та оплати електростанціям, які виробляють електричну енергію з використанням альтернативних джерел енергії, всієї виробленої ними електричної енергії в

повному обсязі в грошовому еквіваленті, без застосування будь-яких видів розрахунків погашення заборгованості по рахунках електроенергії.

В даний час велика кількість споживачів електричної енергії розташовані далеко від джерел централізованого електропостачання, що вимагає побудови протяжних ліній електропередач, а це в свою чергу збільшує втрати. У зв'язку з розвитком альтернативної енергетики з'явилася можливість доповнити існуючу інфраструктуру децентралізованими системами генерації електрики і тепла, які допоможуть істотно знизити втрати внаслідок передачі і перетворення електрики.

#### **4.2 Розвиток сонячної енергетики в світі**

Китай і Японія зараз займають 50% світового ринку сонячної енергетики.

Китай оголосив про намір отримати 35 ГВт енергії від сонячних установок в 2020 році. Такий намір стимулюється необхідністю знизити забруднення навколишнього середовища внаслідок спалювання викопного палива при все зростаючих потреб у енергії.

Японська Асоціація фотоелектричної енергії (Photovoltaic Energy Association) пророкує, що до 2030 року потужність сонячних станцій в країні досягне 100 ГВт. Індія планує збільшити потужність сонячних установок з 2 ГВт до 20 ГВт в середньостроковій перспективі. Останні тенденції в Індії показують, що вартість сонячної енергії досягла рівня 100 доларів за мегават, що можна порівняти з енергією, що отримується з імпортного вугілля або газу. [2]

Автономні сонячні установки і мікро-мережі розвиваються в Африці, де тільки 30 відсотків території, розташованій на південь від Сахари, мають доступ до джерел енергії. Африка, як і інші регіони з потужною добувною промисловістю, розвивають сонячну енергетику як альтернативу дизельним електростанціям або як резервне джерело для ненадійних електромереж.

Потрібно мати на увазі, що ціна кіловата сонячної енергії зменшується вдвічі кожні 2,5 року і зменшилася в 100 разів з 1977 року, причому не видно жодних причин для зміни цього тренда в майбутньому.

Розрахунки показують, що 1% наявних в світі пустель можуть забезпечити вироблення всієї енергії, яку зараз використовує світ, а 25% світових пустель можуть поставляти в 25 разів більше енергії, ніж ми зараз використовуємо.

### **4.3 Основні переваги і недоліки фотоелектричних систем**

1. До основних переваг фотоелектричних систем можна віднести, невичерпність енергетичного ресурсу, простоту установки, відсутність рухомих частин, мінімальна потреба в догляді, відсутність шумів і вібрацій. У порівнянні з іншими видами енергетики сонячна енергетика в цілому є одним з найбільш чистих в екологічному відношенні видів енергії.
2. Вільне застосування в місцях відсутності централізованих електророзподільних мереж.
3. Швидка окупність сонячної батареї. Протягом всього терміну експлуатації генерується значно більше енергії, ніж було витрачено для виробництва електростанції.
4. Фотоелектричні елементи сонячної електростанції можна розмістити на будь-якій порожній площі, в тому числі і на дахах і стінах будинків, що, безумовно, істотно знижує її собівартість.
5. Не треба використовувати будь-який вид палива.
6. У складі електростанції присутні тільки невеликі рухомих частини, тому ефект зносу практично відсутній. Внаслідок цього сонячна електростанція здатна без скільки-небудь значимого ремонту рухомих частин пропрацювати кілька десятиліть, крім звичайно періодичної очистки поверхні сонячних панелей.
7. Сонячна електростанція не вимагає трудомісткого технічного обслуговування для підтримки її в робочому стані.
8. Можливість підключення до «зеленого» тарифу (спеціальний тариф, за яким закупається електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії).

Однак уникнути повністю шкідливого впливу сонячної енергетики на людину і навколишнє середовище практично не вдається, якщо врахувати весь

технологічний ланцюжок від отримання потрібних матеріалів до виробництва електроенергії.

Найбільш характерні в цьому аспекті сонячні фотоелектричні установки (СФЕУ), експлуатація яких завдає мінімальної шкоди навколишньому середовищу. У той же час виробництво напівпровідникових матеріалів є досить екологічно і соціально небезпечним. У зв'язку з цим у ряді країн світу (наприклад, в США) існують досить жорсткі вимоги до виробництва напівпровідників для СФЕУ, а також до зберігання, транспортування та ліквідації шкідливих речовин від виробництва СФЕУ, обмеження контактів персоналу з цими речовинами, розробка планів дії в разі аварійних або позаштатних технологічних ситуацій, а також програми ліквідації відходів виробництва, які відпрацювали свій термін або забракованих СФЕУ.

Так само до основних недоліків, що обмежує застосування ВДЕ, слід віднести відносно низьку енергетичну щільність і крайню мінливість. Низька питома потужність потоку енергоносія призводить до збільшення масогабаритних показників енергоустановок, а мінливість первинного енергоресурсу, аж до періодів його повної відсутності, викликає необхідність в пристроях акумулювання енергії або резервних енергоджерел. В результаті, вартість виробленої енергії виявляється висока навіть при відсутності паливної складової в сукупній ціні енергії.

Сонячна електростанція (СЕС, або фотоелектростанція, ФЕС) - це споруда, яка здійснює перетворення енергії сонячних фотонів, тобто енергії світлової складової сонячного випромінювання, в придатну для побутового та промислового використання електричної енергії. Основні компоненти СЕС в найпростішому випадку такі: фотопанель (або сонячна батарея) і інвертор.

Як зрозуміло з визначення вироблення електроенергії СЕС залежна від наявності сонячного випромінювання, тобто наявності сонячної і безхмарної погоди.

Це накладає певний відбиток на особливості їх використання.

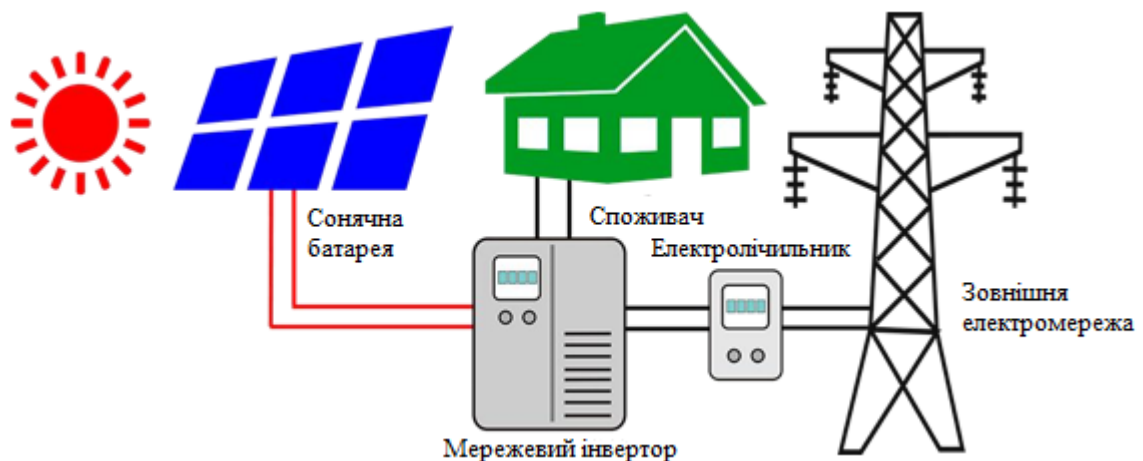
#### 4.4 Типи сонячних електростанцій

Розглянемо основні конструктивні типи сонячних електростанцій і їх можливості.

Характеристики основних СЕС:

##### Мережеві СЕС

Найпростіша схема мережевої сонячної електростанції (і найпростішої СЕС) представлена на малюнку 18.



Малюнок 18. Схема мережевої СЕС.

Для нормальної її роботи необхідно підключення до зовнішньої електромережі. Наявність і якість зовнішньої електромережі (крім сонця) має критичне значення для роботи СЕС. При її відсутності, або невідповідності нормам така СЕС стає марною навіть в саму сонячну і безхмарну погоду. Ця залежність від центрального електропостачання є головним недоліком таких СЕС.

До переваг слід віднести відносну, але істотну дешевизну СЕС і більш високий загальний ККД системи (90-95%) у порівнянні з іншими типами СЕС. Ці дві якості роблять цей тип СЕС безсумнівно більш привабливим для вироблення електроенергії і для її продажу.

##### Гібридні СЕС (автономні, з'єднані з мережею)

Являють собою базову схему мережевої СЕС з додаванням банку акумуляторних батарей (АКБ), контролера заряду і заміною мережевого

інвертора на гібридний. Відмінною особливістю є можливість запасати частину виробленої в сонячний період електроенергії в АКБ (малюнок 19).



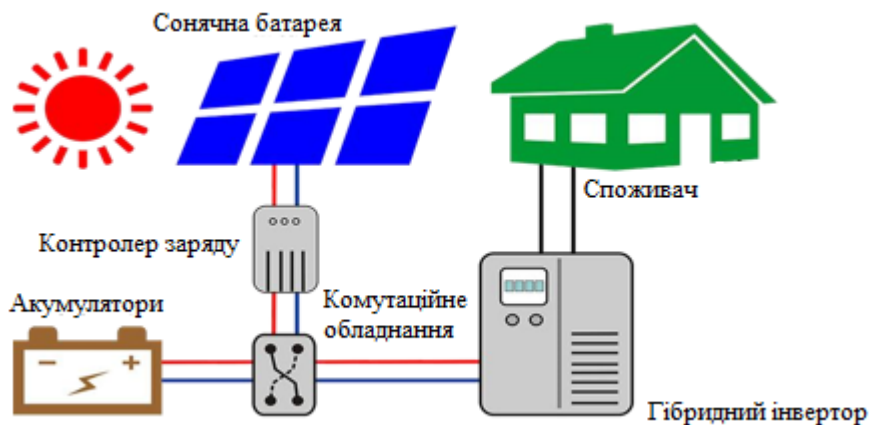
Малюнок 19. Схема автономної, з'єднаної з мережею (гібридної) СЕС.

Завдяки наявності банку АКБ вони менш залежні від джерела центрального електропостачання. Такі СЕС застосовують переважно як частина системи безперебійного живлення там, де центральне електропостачання недостатньо або нестабільно.

До недоліків слід віднести високу ціну системи, за рахунок банку АКБ і потужності інвертора, які повинні бути тим більше, чим більше потрібно часу безперебійної роботи і підключених навантажень відповідно.

### Автономні СЕС

СЕС, які працюють без підключення до зовнішньої електромережі називаються автономні (малюнок 20).



Малюнок 20. Схема автономної, що не з'єднана з мережею (автономної) СЕС.

Автономна фотоелектростанція, крім сонячних панелей, як правило містить акумуляторні батареї і контролер заряду. При необхідності електропостачання споживачів, які потребують стандартного напруги 220 / 380В змінного струму, до складу фотоелектростанції необхідно включити інвертор.

Єдиний недолік фотоелектростанції є втрата енергії при малих навантаженнях.  
[4]

Також можна використовувати модульні інвертори.

У такій конфігурації середня номінальна потужність зазвичай досягає рівня 10 кВт. Також можливі наступні варіації:

- Кожна панель обслуговується невеликим інтегрованим інвертором, забезпечуючи сотні Вт потужності;
- Окремі DC / DC-перетворювачі використовуються в кожній секції фотогальванічних елементів, виходи DC / DC-перетворювачів підключаються паралельно до одного DC / AC-інвертору. Ця топологія є найефективнішою, номінальна потужність досягає 100 кВт.

Основна функція інвертора полягає в перетворенні постійних струмів від фотогальванічних панелей або батареї з різним рівнем напруг в змінний струм з певним рівнем напруги і частотою для живлення пристроїв або передачі в енергетичну систему. Частота і напруга залежить від регіону, в Європі це 50 Гц і 220 В, в США - 60 Гц і 110 В. В залежності від додатка виникають вимоги до фази, таким чином, інвертори бувають одно-, дво- і трифазні. DC / DC перетворювач підвищує або знижує рівень вхідної напруги, підлаштовує свій вихід для отримання максимальної ефективності на етапі DC / AC-перетворення;

- Конденсатор виконує функцію буферизації напруги;
- MOSFETи в складі моста переключаються з частотою близько 20 кГц для перетворення постійного струму в змінний;
- Індуктивності «згладжують» сигнал після ключів для отримання синусоїди.

У деяких випадках рівень напруги на вході DC / AC- перетворювача повинен бути вище, ніж на виході DC / DC-перетворювача. Для цього використовується

трансформатор після індуктивностей. Незважаючи на те, що трансформатор збільшує вагу, габарити і вартість пристрою, а також зменшує ККД в середньому на 2%, він збільшує захист пристрою і безпеку користувача, здійснюючи гальванічну розв'язку між DC- і AC-частинами схеми. Цю ж функцію може виконувати DC / DC перетворювач з нульовою напругою перемикачання (еквівалент трансформатора).

#### **4.5 Висновок по розділу 4**

З проведеного огляду, у зв'язку з важкою екологічною обстановкою, що загострюється парниковим ефектом та забрудненням води і ґрунту, необхідний перехід від невідновлюваних копалин первинних джерел енергії до поновлюваних. На сьогоднішній день у світовій практиці відомий ряд регіонів і країн, що вирішують проблему енергозабезпечення шляхом впровадження відновлюваної енергетики. Розвиток технічної та законодавчої бази відновлюваної енергетики та стійкі тенденції зростання вартості паливно-енергетичних ресурсів вже сьогодні визначають техніко-економічні переваги електростанцій, які використовують поновлювані енергоресурси. Очевидно, що в перспективі ці переваги будуть збільшуватися, розширюючи сфери застосування відновлюваної енергетики та збільшуючи її внесок у світовий енергетичний баланс.

### **Розділ 5. Розробка і вибір обладнання автономної фотоелектростанції**

#### **5.1 Дослідження поставленого завдання**

Спроекувати пікову фото-дизельну установку для лабораторії контролю якості молочної продукції с. Слобідка, Обухівського району, Київської області.

Оцінимо актуальність застосування сонячних панелей для автономного електропостачання.

Для початку необхідно виявити потенціал сонячної енергії в рік у цій галузі проектування. Середній потенціал за рік в с. Слобідка, Обухівського району, Київської області, становить 1050 кВт · год / м<sup>2</sup>.

Проаналізуємо добове споживання за кожну годину для автономної фотоелектричної установки для лабораторії контролю якості молочної продукції, розрахунки наведені в таблицях 1,2.

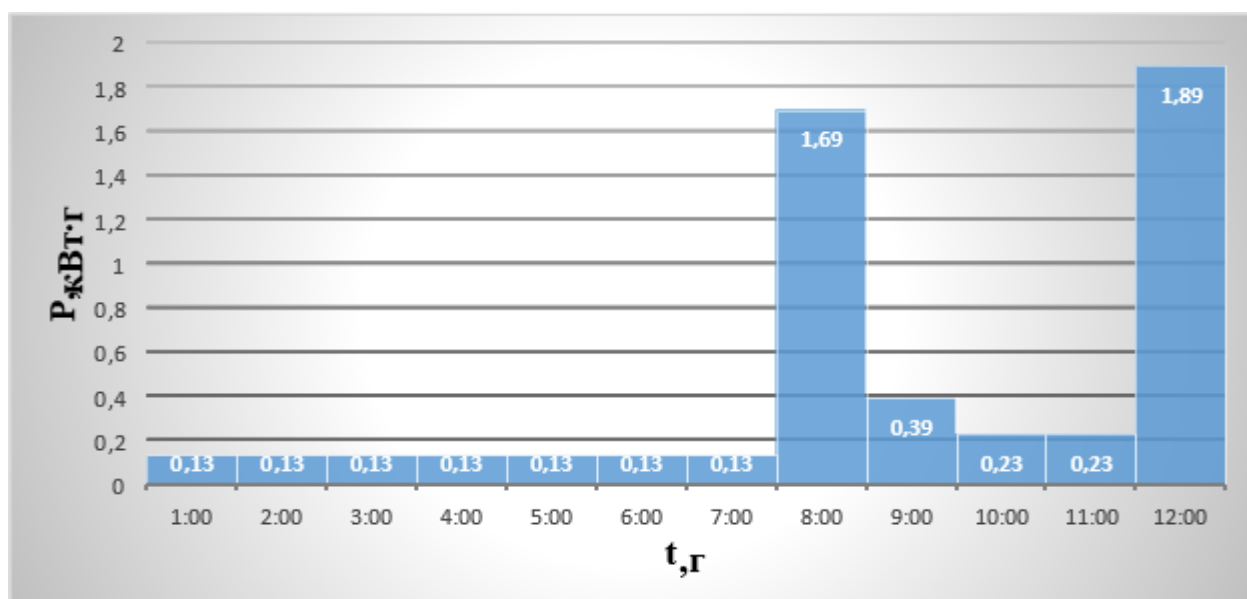
Таблиця 1. Добове споживання електроенергії лабораторією контролю якості молочної продукції. (з першої години ночі до 12-ї години дня).

Споживачі	Споживана потужність (Вт)	Кількість	Погодинна споживана енергія (кВт·)												
			W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	
Аналізатор молока ультразвуковий	1500	1													1,5
Електролампа	20	8								0,16	0,16				0,16
Установка для аналізу якості сиру	100	1								0,1	0,1	0,1	0,1		0,1
Холодильник	130	1	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Криоскоп	1000	1								1					
Комп'ютер	300	1								0,3					
Водяний насос	1000	1													
		W	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,69	0,39	0,23	0,23	0,13	1,89

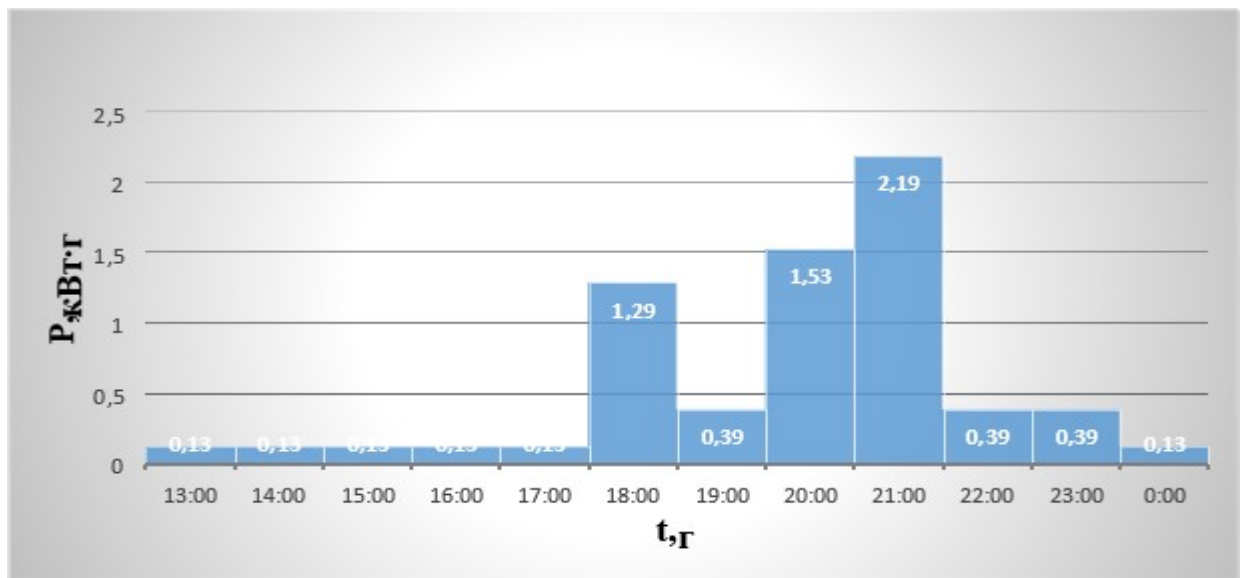
Таблиця 2. Добове споживання електроенергії лабораторією контролю якості молочної продукції. (з 13 годин до 24 годин).

Споживачі	Споживана потужність (Вт)	Кількість	Погодинна споживана енергія (кВт·г)											
			W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24
Аналізатор молока ультразвуковий	1500	1									1,5			
Електролампа	20	8						0,16	0,16		0,16	0,16	0,16	
Установка для аналізу якості сиру	100	1							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Холодильник	130	1	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Криоскоп	1000	1						1						
Комп'ютер	300	1								0,3	0,3			
Водяний насос	1000	1								1				
$\Sigma W=12,3$		W	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,29	0,39	1,53	2,19	0,39	0,39	0,13

На діаграмах 1, 2 графічно представлені дані таблиці 1, 2, де наочно видно в який час доби присутнє пікове споживання електроенергії.



Діаграма 1. Електроспоживання за годину з 1 до 12 згідно даних таблиці 1.



Діаграма 2. Електроспоживання за годину з 13 до 24 згідно даних таблиці 2.

Сумарна енергія в кілловат-годинах за ніч:

$$\sum W_{\text{ніч}} = W_{19} + W_{20} + W_{21} + W_{22} + W_{23} + W_{24} + W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 = 0,39 + 1,53 + 2,19 + 0,39 + 0,39 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 = 5,8 \text{ кВт}\cdot\text{г}.$$

Сумарна енергія в кілловат-годинах за світловий день:

$$\begin{aligned} \sum W_{\text{день}} &= W_7 + W_8 + W_9 + W_{10} + W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{15} + W_{16} + W_{17} + W_{18} \\ &= 0,13 + 1,69 + 0,39 + 0,23 + 0,23 + 1,89 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 0,13 + 1,29 = 6,5 \text{ кВт}\cdot\text{г}. \end{aligned}$$

Сумарне споживання за добу:

$$\sum W_{\text{доба}} = \sum W_{\text{ніч}} + \sum W_{\text{день}} = 5,8 + 6,5 = 12,3 \text{ кВт}\cdot\text{г}.$$

Середня потужність, світловий день:

$$P_{\text{ср,день}} = \sum W_{\text{день}} : T_{\text{день}} = 6,5 : 12 = 0,54 \text{ кВт}.$$

Середня потужність за ніч:

$$P_{\text{ср,ніч}} = \sum W_{\text{ніч}} : T_{\text{ніч}} = 5,8 : 12 = 0,48 \text{ кВт}.$$

Для розробки варіантів структурної схеми електропостачання споживача оцінимо потенціал відновлюваної енергетики для заданого регіону.

У таблиці 3 відображена оцінка потенціалу енергії сонця і вказана сумарна (пряма і розсіяна) сонячна інсоляція на горизонтальну поверхню в умовах хмарності, кВт · год / м<sup>2</sup>. [5]

Таблиця 3. Середні сумарні значення сонячної інсоляції.

Населений пункт	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
МДж/м <sup>2</sup>	63	138	339	447	523	578	615	440	264	121	63	38
кВт·г/м <sup>2</sup>	17,5	38,3	94,2	124,2	145,3	160,6	170,8	122,2	73,3	33,6	17,5	10,6

Проаналізувавши отримані дані можна спроектувати ФЕУ в Київській області, оскільки маємо дані сонячної інсоляції в цьому регіоні і споживання лабораторією контролю якості молочної продукції, для якої і будуть проведені розрахунки.

Оскільки завданням проектування є розробка автономної сонячної електростанції будуть проведені розрахунки і вибір устаткування для фотодизельної електростанції, яка в свою чергу буде працювати в пікові години споживання лабораторії, які були розраховані в таблицях 1,2.

## 5.2 Опис і вибір сонячної панелі

Для того щоб визначитися з вибором сонячних панелей, розглянемо всі види СП. Залежно від того, яким чином організовані атоми кремнію в кристалі, сонячні елементи діляться на види: [6]

- сонячні елементи з монокристалічного кремнію;
- сонячні елементи з полікристалічного кремнію;
- сонячні елементи з аморфного кремнію.

### Сонячні модулі з монокристалічного кремнію

ККД сонячної батареї на основі монокристалічного кремнію становить 15-20%. Монокристалічні елементи мають найвищу ефективність перетворення енергії. Основний матеріал - вкрай чистий кремній, з якого виготовлені монокристалічні сонячні панелі, добре освоєний в області виробництва

напівпровідників. Кремнієвий монокристал зростає на насіння, яке повільно витягується з кремнієвого розплаву. Стрижні, отримані таким шляхом, ріжуться на частини товщиною від 0,2 до 0,4 мм.

Потім ці диски піддаються ряду виробничих операцій, таких як:

- обточування, шліфування і очищення;
- накладення захисних покриттів;
- металізація;
- антирефлексійне покриття.

### **Сонячні модулі з полікристалічного кремнію**

ККД сонячної батареї на основі полікристалічного кремнію становить 10-14%.

Полікристалічний кремній розвивається, коли кремнієвий розплав охолоджується повільно і знаходиться під контролем. При виробництві полікристалічних панелей операція витягування опускається, воно менш енергоємне і значно дешевше. Однак всередині кристалу полікристалічного кремнію є області, відокремлені зернистими межами, викликають меншу ефективність елементів.

### **Сонячні модулі з аморфного кремнію**

ККД сонячної батареї на основі аморфного кремнію становить 5-6%. Аморфний кремній виходить за допомогою «техніки випарної фази», коли тонка плівка кремнію осідає на несучий матеріал і захищається покриттям. Ця технологія має ряд недоліків і переваг:

- процес виробництва сонячних панелей на основі аморфного кремнію відносно простий і недорогий;
- можливо виробництво елементів великої площі;
- низьке енергоспоживання.

Однак:

- ефективність перетворення значно нижче, ніж в кристалічних елементах;
- елементи схильні до процесу деградації

У зв'язку з цим вибираємо сонячну панель на основі монокристалічного кремнію оскільки їх ККД становить близько 20%, а саме СП ННPOLY280W.



Малюнок 21. Сонячна панель НН-POLY280W.

Номінальна потужність, макс. Ватт - 280

Оптимальна робоча напруга, макс. Вольт - 24

Напруга холостого ходу, Вольт - 28

Оптимальний робочий струм, Ампер - 7,67

Струм короткого замикання, А - 8,29

Максимальна напруга системи, Вольт - 1000

Фотоелементи - 72 / монокристалічні

Розмір осередків, мм - 156x156

Ступінь захисту корпусу, IP - 65

Максимальне вітрове навантаження, Па - 2400

Габаритні розміри, мм - 1956x990x40

Вага модуля, кг - 23

Загальна площа, м<sup>2</sup> - 1,94

Довжина кабелю, мм - 900

ККД - 20%

Температура зберігання, ° С - -40 ~ +85

Температура експлуатації, ° С - -40 ~ +85

Номінальна робоча температура осередку, ° С - 45 + -2

Країна: Китай

Модель: HH-POLY280W

Термін служби: 25 років

Гарантія: 2 роки

Ціна: 7 236 грн.

За даними про сумарної сонячної радіації і потужності обраної СП, ми розрахували, скільки енергії буде вироблятися подібним модулем в нашому регіоні за кожен місяць за такою формулою:

$$W_m = S_m \cdot E \cdot k \cdot \eta, \text{ кВт} \cdot \text{г},$$

де  $S_m$  - площа СП, Вт;  $E$  - значення інсоляції за обраний період, кВт · год / м<sup>2</sup>;  $\eta$  - ККД СП;  $k$  - коефіцієнт, що враховує поправку на втрати потужності сонячних елементів при нагріванні на сонці, а також похиле падіння променів на поверхню модулів протягом року.

Величина  $k$  приймається за 0,5 влітку і 0,7 в зимовий період. Різниця в його значенні влітку і взимку обумовлена меншим нагріванням елементів в зимовий період.

Необхідна кількість СП для покриття повної потреби в електричній енергії за місяць знаходиться за наступною формулою:

$$N = \frac{W_{\text{міс}}}{W_m}, \text{ шт.}$$

Результати всіх вищенаведених розрахунків зведені в таблицю 4.

Таблиця 4. Вибір кількості СП

Місяць	$W_{\text{спож}}$ , кВт·Г	$E$ , кВт·Г/м <sup>2</sup>	$W_{\text{м}}$ , кВт·Г	$N$ , шт
Січень	412,3	17,5	5,94125	70
Лютий	377	38,3	13,00285	29
Березень	368,9	94,2	31,9809	12
Квітень	330	124,2	42,1659	8
Травень	319,3	145,3	35,23525	10
Червень	279	160,6	38,9455	8
Липень	257,3	170,8	41,419	7
Серпень	249	122,2	29,6335	9
Вересень	387,5	73,3	17,77525	22
Жовтень	396,8	33,6	8,148	49
Листопад	399	17,5	5,94125	68
Грудень	443,3	10,6	3,5987	124

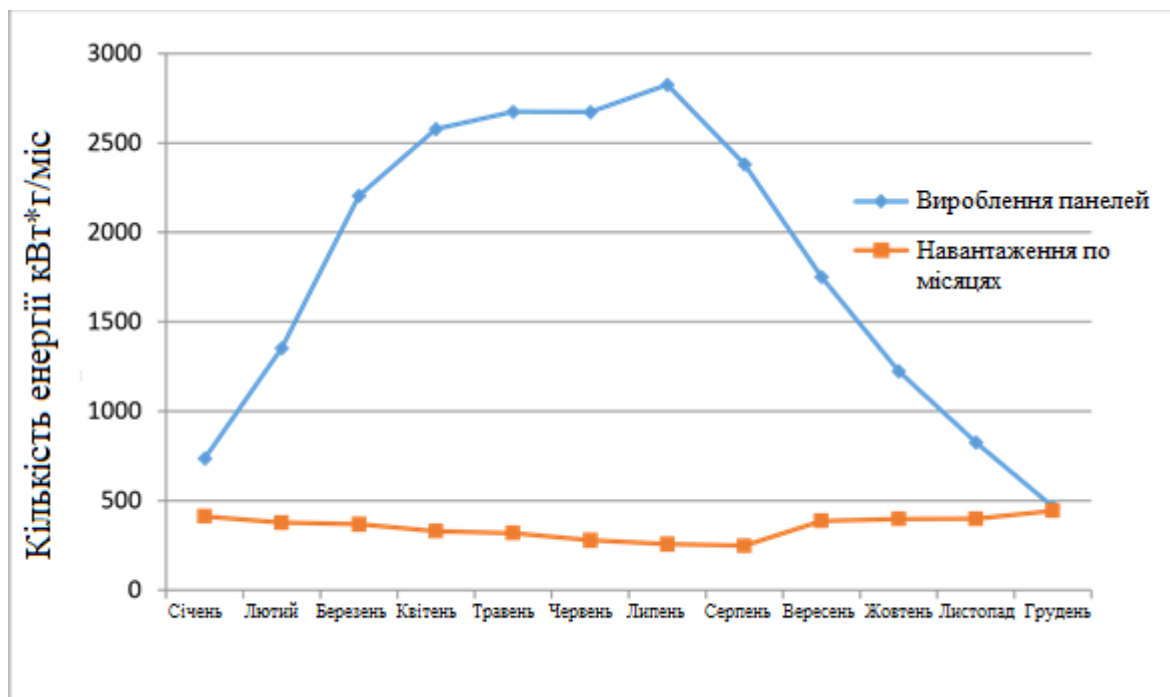
$W_{\text{спож}}$  - середнє споживання енергії на рік (зимовий-осінній період споживання > весняно-літнього споживання)

Кількість обраних СП в таблиці 4 округляється до найближчого більшого цілого значення.

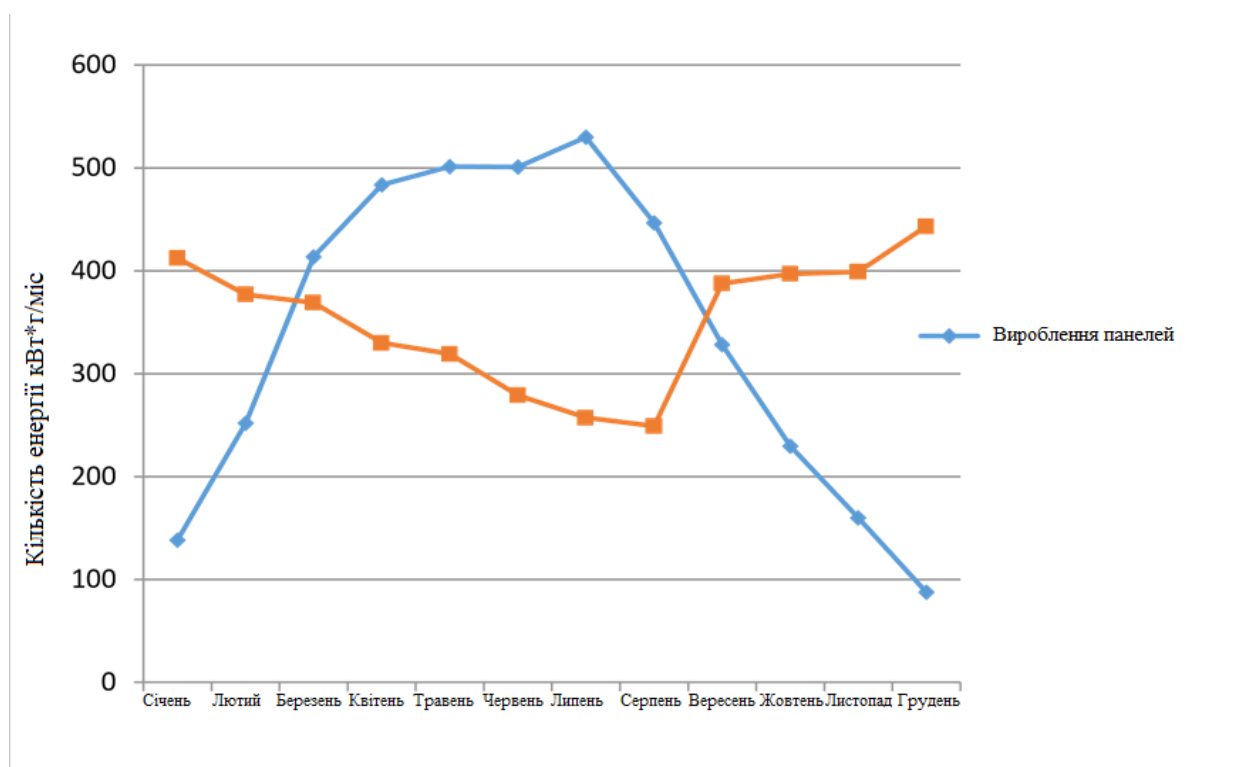
При аналізі таблиці 4 видно, що найменшу кількість панелей для повного електропостачання лабораторії цілий рік становить 124 СП. Однак, для повного цілорічного електропостачання з економічної точки зору доцільніше установка 12 СП і ДЕС.

Завдяки сонячному калькулятору [7] можна побачити вироблення панелей на вибраному об'єкті проектування: с. Слобідка, Обухівського району, Київської області, де встановлені сонячні панелі 280 Ватт в кількості 94 шт. і 12 шт. під

зенітним кутом  $45^\circ$  ( $0^\circ$  горизонтально,  $90^\circ$  -вертикальні) і азимутним кутом  $180^\circ$  ( $180^\circ$  - на південь,  $0^\circ$  - на північ) (малюнок 22,23 разом з навантаженням по місяцях), а також в таблиці 5 представлений середньомісячний виробіток електроенергії панелей.



Малюнок 22. Вироблення сонячних панелей для цілорічного забезпечення електрикою в кількості 94 шт.



Малюнок 23. Вироблення сонячних панелей для енергозабезпечення лабораторії в кількості 12 шт.

Таблиця 5. Середньомісячний виробіток електроенергії панелей кВт · год / міс

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
кВт·г/міс	4,47	8,7	13,34	16,1	16,14	16,64	17,05	14,86	10,58	7,56	5,17	2,82

У розрахунках приймаємо 12 сонячних панелей.

### 5.3 Розрахунок і вибір контролерів заряду/розряду

Сонячний контролер заряду є важливим елементом сонячної електростанції, без якого неможлива коректна робота решти устаткування, зокрема правильний заряд акумуляторних батарей. Тому при підборі контролера для нашої системи необхідно переконатися, що технічні дані вироби відповідають потребам обраних сонячних елементів. В першу чергу слід звернути увагу на вид контролерів і їх суттєві відмінності. [8] Виділяють два найпопулярніших види контролерів:

- MPPT контролер заряду. Це серйозний виріб, який значно впливає на кількість акумулюємої енергії, збільшуючи її на 25-30% в порівнянні з іншими контролерами заряду. Принцип роботи цього виробу заснований на алгоритмі стеження за точкою максимальної потужності сонячного модуля. Незважаючи на велику початкову вартість цього виробу, термін окупності сонячної електростанції з ним значно коротше.
- PWM (ШИМ) контролер заряду рекомендують використовувати виключно в регіонах з дуже високою сонячною активністю. Це "економічна" версія з дуже простим алгоритмом. У регіонах з низькою сонячною активністю їх застосування не доцільно і не економічно.

Оскільки наш регіон має низьку сонячну активність, доцільніше буде використовувати MPPT-контролери.

При виборі контролера потрібно врахувати струму заряду і виходити з рівня потужності 4-х панелей по 280Вт і їх напруги.

Оскільки панелі з'єднані послідовно, то  $I_{\text{заряду}}$  розраховується за такою формулою:

$$I_{\text{заряду}} = \frac{P_{\text{СП}}}{U_{\text{НОМ.СП}}} = \frac{4 * 280\text{Вт}}{4 * 24\text{В}} = 11.7 \text{ А}$$

де  $P_{\text{СП}}$  - потужність сонячної панелі,  $U_{\text{НОМ.СП}}$  - номінальна напруга сонячної панелі.

Вибираємо контролер заряду Tracer 2210A, у якого, відповідно до параметрів: струм заряду становить 20 ампер і максимальна вхідна напруга 100В, тому що 4 СП будуть підключені до одного контролера і де у них напруга 24В у кожній панелі в сумі при послідовному з'єднанні дасть напругу 96В.



Малюнок 24. Контролер заряду Tracer 2210A, 20А, 12 / 24В

## ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Напруга системи, Вольт (авто. визначення) - 12/24

Максимальний струм заряду АБ, Ампер - 20

Максимальна потужність СБ, Ватт - 260/520

Максимальна напруга на вході, Вольт - 100

Максимальна напруга акумуляторних батарей, Вольт - 32

Власне споживання, mA -  $\leq 20$  (12V)  $\leq 16$  (24V)

Комунікаційний порт - RS485 / RJ45

Максимальна ефективність перетворення, % - 98

#### МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Габаритні розміри, мм - 172 x 139 x 44

Вага, грам - 1100

Термінали, mm<sup>2</sup> – 10

#### ТЕМПЕРАТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

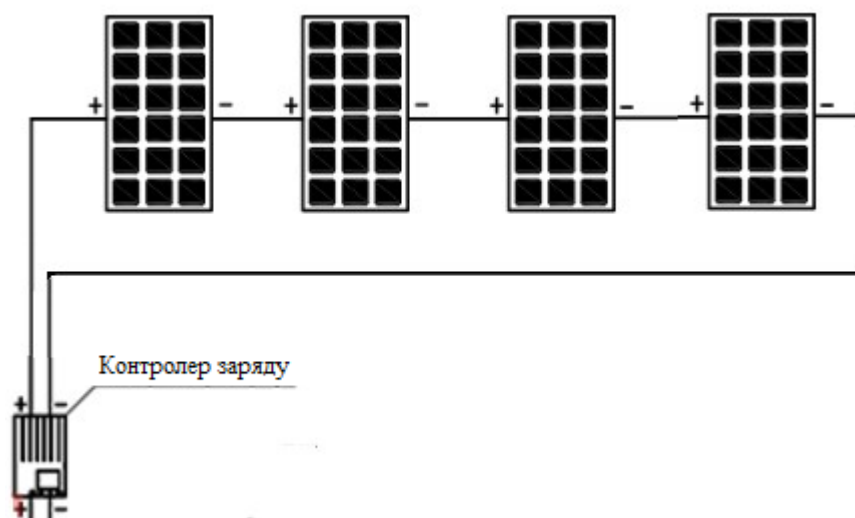
Температура зберігання, °C - -35 ~ +55

Температура експлуатації, °C - -35 ~ +80

Вологість (без утворення конденсату), % - 95 Ступінь захисту від зовнішніх впливів, IP - 30

Ціна: 3050 грн.

Оскільки вибрано 12 СП і за характеристиками ми можемо підключити лише 4 СП до одного контролера, на малюнку 25 зображена схема підключення.



Малюнок 25. Схема підключення контролера до сонячних панелей

#### 5.4 Вибір інвертора

Інвертор вибирається з урахуванням напруги обраних СП, напруги акумуляторів і можливість згладженої роботи при пікових навантаженнях.

Серед всіх інверторів на ринку вибираємо синус-інвертор Outback Power VFX3048E з урахуванням їх довговічності і якості виконання.



Малюнок 26. Інвертор Outback Power VFX3048E.

Таблиця 6. Характеристики інвертора

<b>Специфікація</b>	<b>VFX3048E</b>
Вхід по DC	24/48/96 В DC
Номінальна потужність при 25С	3000 ВА
Напруга по АС / частота	230 В / 50 Гц
Вихід з АС при 25С	13,0 А АС
Споживання навантаження	~23 Вт
без навантаження	~6 Вт
ККД	93%
Гармонійні спотворення норм. номінал	2%
мак.	5%
Діапазон напруги по виходу АС	2%
Пікова сила струму Пік	35 А АС
RMS	25 А АС
Макс. вихідна потужність АС Пік	5750 ВА
5с	4800 ВА
30 хв.	3300 ВА

Макс. навантаження по входу АС	30 А
Діапазон напруги по входу АС	160-300 В
Діапазон частоти по входу АС	44-56 Гц
Діапазон напруги по входу DC	42.0-68.0 В
Сила струму заряду батарей	210 А DC
Рекомендований автомат DC	ODBC-250
Гарантія	2 роки
Вага інвертора	27.7 кг
З упаковкою	29 кг
Габарити інвертора	30*21*41 см
З упаковкою	55*33*56 см

Ціна: 63 864 грн.

### 5.5 Розрахунок сонячної інсоляції і аналіз енергетичного балансу по місяцях

Розрахуємо сонячну інсоляцію по місяцях для того, щоб наочно представляти в які періоди СП будуть максимально ефективніше, використовуючи дані з довідника, де вказані суми прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню при середніх умовах хмарності по годинах, представлені в таблиці 7, яку переведемо в кВт · г і після цього зможемо представити вироблення електроенергії СП і реальне навантаження в літній період (липень). [9]

Таблиця 7. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню при середніх умовах хмарності (липень).

t,(Г)	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
МДж/м <sup>2</sup>	-	0,00	0,04	0,13	0,25	0,47	0,64	0,85	1,02	1,15	1,23	1,23
t,(Г)	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
МДж/м <sup>2</sup>	1,19	1,07	0,85	0,64	0,47	0,25	0,08	0,04	0,00	-	-	-

Щоб перевести значення МДж / м<sup>2</sup> в кВт · г, спочатку помножимо кожне значення на площу сонячних панелей, яке становить 1,94 м<sup>2</sup> однієї панелі, яких 12, отже  $1,94 \cdot 12 = 23,28 \text{ м}^2$

Цю площу нам слід домножити на 0,2, тому що ККД СП у нас становить 20%, отримуємо 4,656, дані представлені в таблиці 8.

Таблиця 8. Сума прямої сонячної радіації на поверхню СП при середніх умовах хмарності (липень).

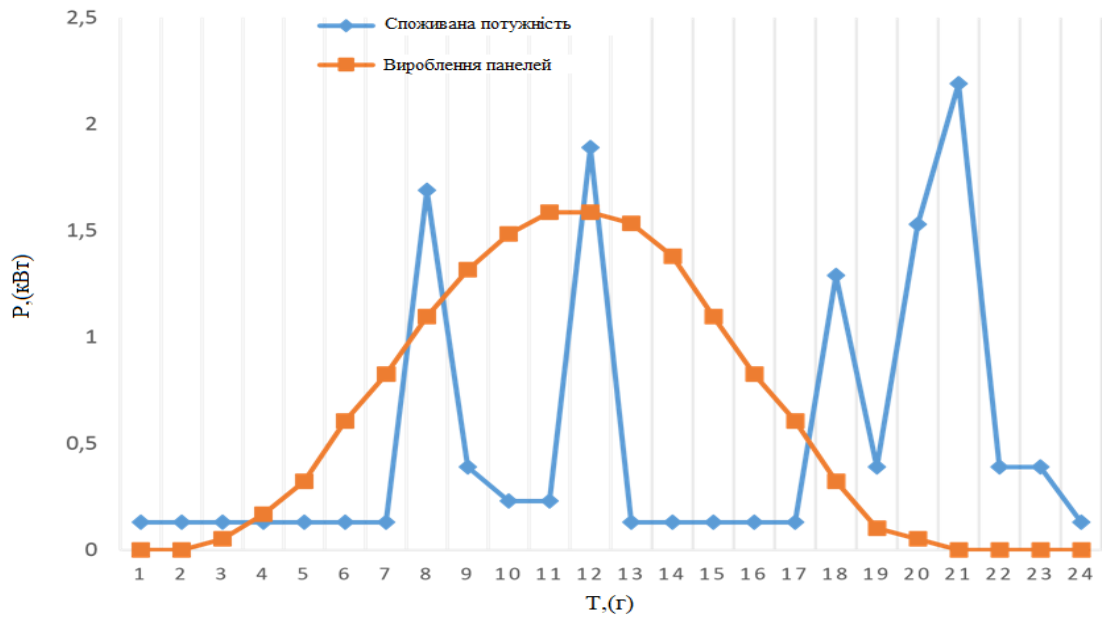
t,(Г)	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
МДж	-	0	0,19	0,61	1,16	2,19	2,98	3,96	4,75	5,35	5,73	5,73
t,(Г)	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
МДж	5,54	4,98	3,95	2,98	2,19	1,16	0,37	0,19	0	-	-	-

Оскільки  $1 \text{ МДж} = 0,27 \text{ (7) кВт} \cdot \text{г}$ , розрахунки представлені в таблиці 9.

Таблиця 9. Сума вироблення сонячної радіації СП в потужність при середніх умовах хмарності (липень).

t,(Г)	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
кВт·г	-	0	0,052	0,17	0,32	0,61	0,83	1,096	1,32	1,48	1,59	1,59
t,(Г)	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
кВт·г	1,53	1,38	1,09	0,83	0,61	0,32	0,103	0,05	0	-	-	-

На малюнку 27 представлений графік вироблення СП по дійсним значенням сонячної інсоляції за липень місяць.



Малюнок 27. Порівняння вироблення СП (липень) і реального навантаження.

Проаналізувавши графік на малюнку 27, можна розрахувати енергетичний баланс за кожен годину на добу (різницю між реальним навантаженням і вироблення панелей).

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 12.3 \text{ кВт}$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС24}} = 14.96 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 14.96 - 12.3 = 2.66 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 1 \rightarrow P_{\text{ЕБ1}} = P_{\text{ФЕС1}} - P_{n1} = 0 - 0.13 = -0.13 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 2 \rightarrow P_{\text{ЕБ2}} = -0.13 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 3 \rightarrow P_{\text{ЕБ3}} = -0.08 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 4 \rightarrow P_{\text{ЕБ4}} = 0.04 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 5 \rightarrow P_{\text{ЕБ5}} = 0.19 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 6 \rightarrow P_{\text{ЕБ6}} = 0.48 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 14 \rightarrow P_{\text{ЕБ14}} = 1.25 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 15 \rightarrow P_{\text{ЕБ15}} = 0.97 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 16 \rightarrow P_{\text{ЕБ16}} = 0.7 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 17 \rightarrow P_{\text{ЕБ17}} = 0.48 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 18 \rightarrow P_{\text{ЕБ18}} = -0.97 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 7 \rightarrow P_{\text{ЕБ}7} = 0.69 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 8 \rightarrow P_{\text{ЕБ}8} = -0.59 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 9 \rightarrow P_{\text{ЕБ}9} = 0.92 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 10 \rightarrow P_{\text{ЕБ}10} = 1.25 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 11 \rightarrow P_{\text{ЕБ}11} = 1.36 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 12 \rightarrow P_{\text{ЕБ}12} = -0.30 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 13 \rightarrow P_{\text{ЕБ}13} = 1.4 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 19 \rightarrow P_{\text{ЕБ}19} = -0.29 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 20 \rightarrow P_{\text{ЕБ}20} = -1.48 \text{ кВт}$$

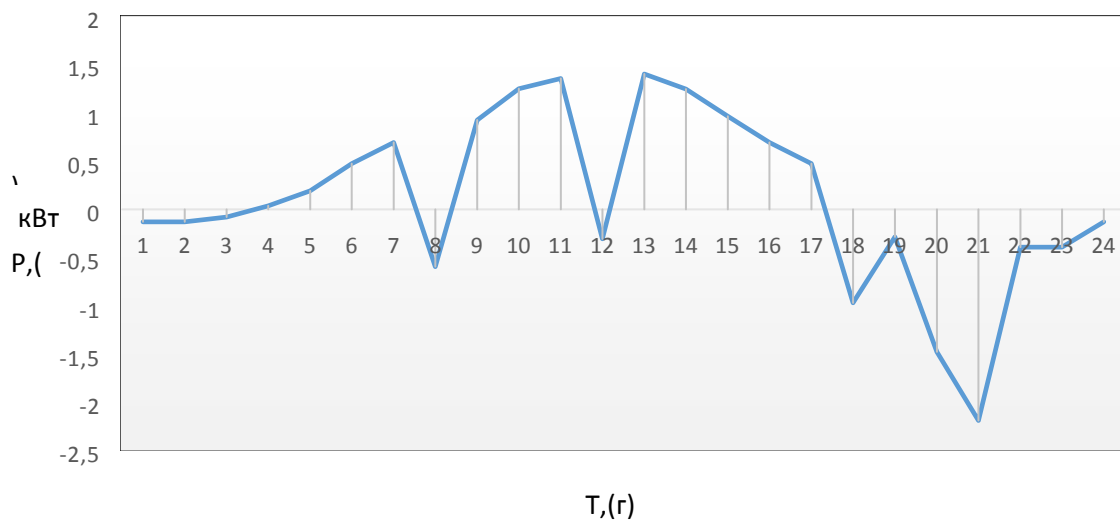
$$\text{при } i = 21 \rightarrow P_{\text{ЕБ}21} = -2.19 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 22 \rightarrow P_{\text{ЕБ}22} = -0.39 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 23 \rightarrow P_{\text{ЕБ}23} = -0.39 \text{ кВт}$$

$$\text{при } i = 24 \rightarrow P_{\text{ЕБ}24} = -0.13 \text{ кВт}$$

де  $P_{\text{н}}$  – потужність навантаження,  $P_{\text{ФЕС}}$  – потужність фотоелектростанції,  $P_{\text{ЕБ}}$  – енергетичний баланс.



Малюнок 28. Енергетичний баланс.

З графіка на малюнку 28 видно, що СП не можуть виробляти стійку енергію для забезпечення електроенергії лабораторії (в пікове навантаження), тому в ці моменти додаткову потужність і будуть віддавати акумулятори, щоб покрити нестачу енергії.

Розрахуємо розряд / заряд АБ:

$$I = \frac{P}{U}$$

$$I_1 = \frac{-0.13 * 10^2}{24} = -5.44 \text{ А * г}$$

де I – струм розряду (-)/ заряду (+) акумулятора, P – споживана потужність, U – напруга акумуляторів.

Таблиця 10. Значення струму розряду / заряду по годинах.

I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>7</sub>	I <sub>8</sub>	I <sub>9</sub>	I <sub>10</sub>	I <sub>11</sub>	I <sub>12</sub>
-5,4	-5,4	-3,33	1,67	7,92	20	28,75	-24,58	26,25	52,08	56,67	-12,5
I <sub>13</sub>	I <sub>14</sub>	I <sub>15</sub>	I <sub>16</sub>	I <sub>17</sub>	I <sub>18</sub>	I <sub>19</sub>	I <sub>20</sub>	I <sub>21</sub>	I <sub>22</sub>	I <sub>23</sub>	I <sub>24</sub>
58,33	52,08	40,42	29,2	20	-40,42	-12,08	-61,67	-91,25	-16,25	-16,25	-5,4

Складаємо струм розряду з 18:00 – 3:00, то струм розряду буде дорівнювати:  $I_{\text{роз}} = -257,4 \text{ А * г}$ , що дозволяє використовувати акумулятор на не знос оскільки у нас 6 АБ, де вони з'єднані по 2 послідовно і виходить 3 пари АБ, які з'єднані паралельно і в сумі таке з'єднання дасть нам ємність 300 А \* год. Дане число розряду потрібно ділити на 3 та отримаємо 85,8 А \* год сумарного розряду на кожну пару акумуляторів протягом 12 годин.

При додаванні струму заряду і розряду з 4:00 – 17:00 і віднімаючи від цієї суми струм розряду в пікові години навантаження вдень 8:00, 12:00, то струм заряду буде дорівнювати:  $I_{\text{зар}} = 356,3 \text{ А * г}$ , де видно що така кількість А \* год буде заряджати АБ на 100%, тому що кожна пара акумуляторів протягом дня буде заряджена на 118,8 А \* год.

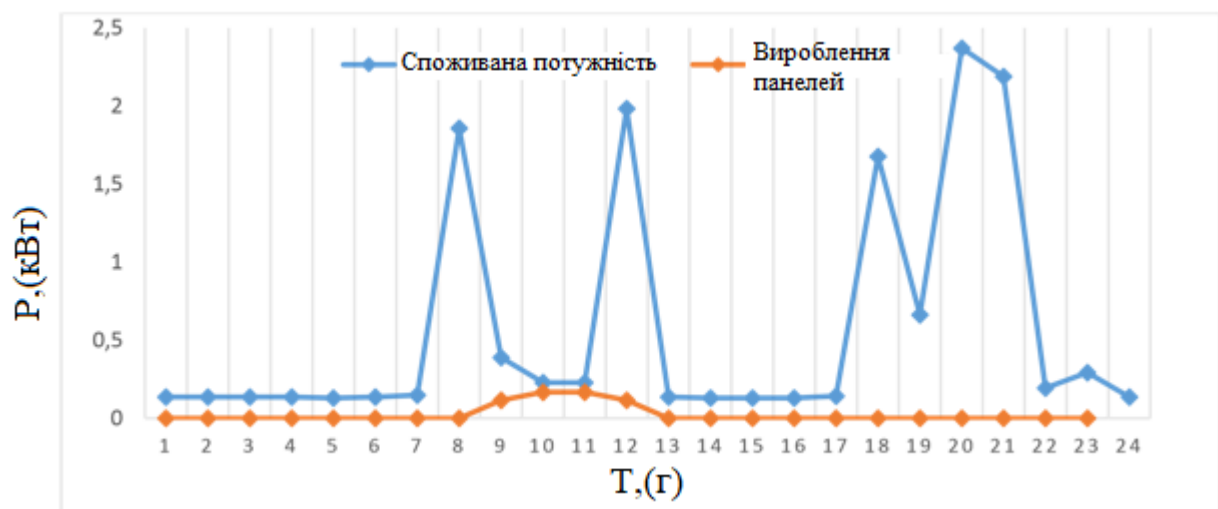
Проаналізуємо всі місяці року домножимо навантаження по годинах на підвищувальні коефіцієнти, щоб бачити реальне навантаження по сезонах і подивитися як у нас будуть працювати СП по місяцях року для підтримки будинку електроенергією і коли нам буде потрібно включити ДЕС і скільки палива знадобиться в кожному місяці.

**Січень:**

Таблиця 11. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума вироблення сонячної радіації СП в потужність при середніх умовах хмарності (січень).

t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0,13	0,13
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м <sup>2</sup>	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42	0,61	0,61
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	0,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·г	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0,17	0,17
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·г	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

На малюнку 29 представлений графік вироблення СП по дійсним значенням сонячної інсоляції за січень місяць.



Малюнок 29. Порівняння вироблення СП (січень) і реального навантаження.

Енергетичний баланс за січень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{н}} = P_{\text{н1}} + P_{\text{н2}} + \dots + P_{\text{н24}} = 13.85 \text{ кВт}$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{фЕС}} = P_{\text{фЕС1}} + P_{\text{фЕС2}} + \dots + P_{\text{фЕС24}} = 0.57 \text{ кВт}$$

$$P_{EB} = P_{ФЕС} - P_{н} = 0.57 - 13.85 = -13.28 \text{ кВт}$$

**Лютий:**

Таблиця 12. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума вироблення сонячної радіації СП в потужність при середніх умовах хмарності (лютий).

t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	0	0,04	0,17	0,34	0,38	0,42
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м <sup>2</sup>	0,3	0,17	0,08	0	-	-	-	-	-	-	-	-
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	-	-	-	-	-	-	0	0,19	0,79	1,58	1,77	1,96
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	1,39	0,79	0,37	0	-	-	-	-	-	-	-	-
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·г	-	-	-	-	-	-	0	0,05	0,22	0,44	0,49	0,54
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·г	0,39	0,22	0,1	0	-	-	-	-	-	-	-	-

На малюнку 30 представлений графік вироблення СП по дійсним значенням сонячної інсоляції за лютий місяць.



Малюнок 30. Порівняння вироблення СП (лютий) і реального навантаження.

Енергетичний баланс за січень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_{H_i} = P_{H1} + P_{H2} + \dots + P_{H24} = 13.85 \text{ кВт}$$

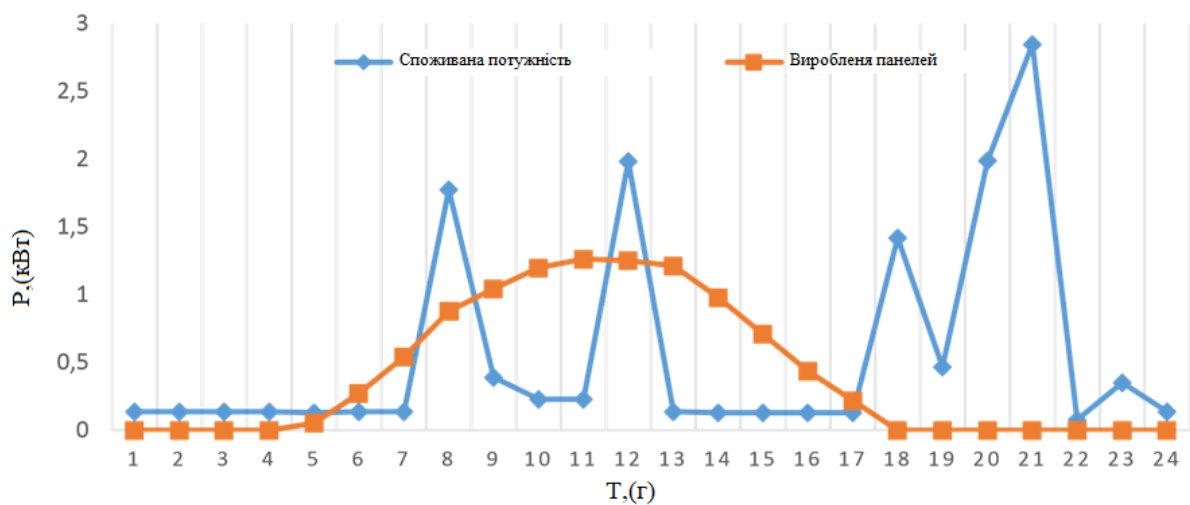
$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС24}} = 0.71 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_{H} = 0.71 - 13.85 = -13.14 \text{ кВт}$$

### Березень:

Таблиця 13. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню при середніх умовах хмарності (березень).

t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	0	0,12	0,3	0,51	0,68	0,72	0,68
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м <sup>2</sup>	0,64	0,42	0,25	0,08	0	-	-	-	-	-	-	-
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	-	-	-	-	-	0	0,56	1,4	2,37	3,17	3,35	3,17
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	2,98	1,96	1,16	0,37	0	-	-	-	-	-	-	-
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·г	-	-	-	-	-	0	0,15	0,39	0,66	0,88	0,93	0,88
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·г	0,83	0,54	0,32	0,1	0	-	-	-	-	-	-	-



Малюнок 31. Порівняння вироблення СП (березень) та реального навантаження.

Енергетичний баланс за березень:

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{н}} = P_{\text{н1}} + P_{\text{н2}} + \dots + P_{\text{н24}} = 13.5 \text{ кВт}$$

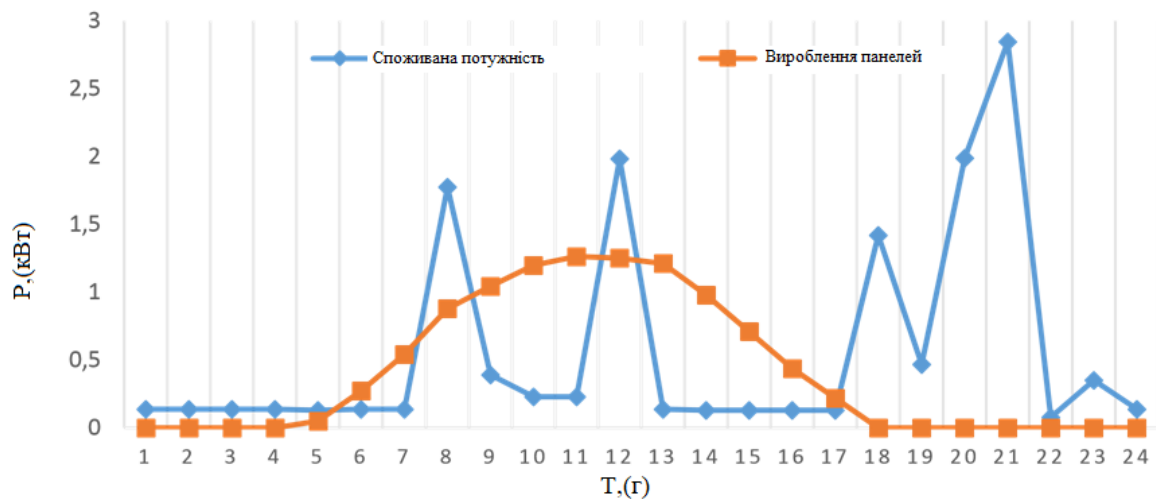
$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{фЕС}} = P_{\text{фЕС1}} + P_{\text{фЕС2}} + \dots + P_{\text{фЕС24}} = 5.67 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{фЕС}} - P_{\text{н}} = 5.67 - 13.5 = -7.83 \text{ кВт}$$

**Квітень:**

Таблиця 14. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню при середніх умовах хмарності (квітень).

t,(г)	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
МДж/м <sup>2</sup>	-	-	-	0	0,04	0,21	0,42	0,68	0,81	0,93	0,98	0,97
t,(г)	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
МДж/м <sup>2</sup>	0,94	0,76	0,55	0,34	0,17	0	0	-	-	-	-	-
t,(г)	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
МДж	-	-	-	0	0,19	0,98	1,96	3,17	3,77	4,33	4,56	4,52
t,(г)	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
МДж	4,38	3,54	2,56	1,58	0,79	0	0	-	-	-	-	-
t,(г)	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
кВт·г	-	-	-	0	0,05	0,27	0,54	0,88	1,04	1,19	1,26	1,25
t,(г)	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
кВт·г	1,21	0,98	0,71	0,44	0,22	0	0	-	-	-	-	-



Малюнок 32. Порівняння вироблення СП (квітень) і реального навантаження.

Розрахуємо енергетичний баланс за квітень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{н}} = P_{\text{н1}} + P_{\text{н2}} + \dots + P_{\text{н24}} = 13.5 \text{ кВт}$$

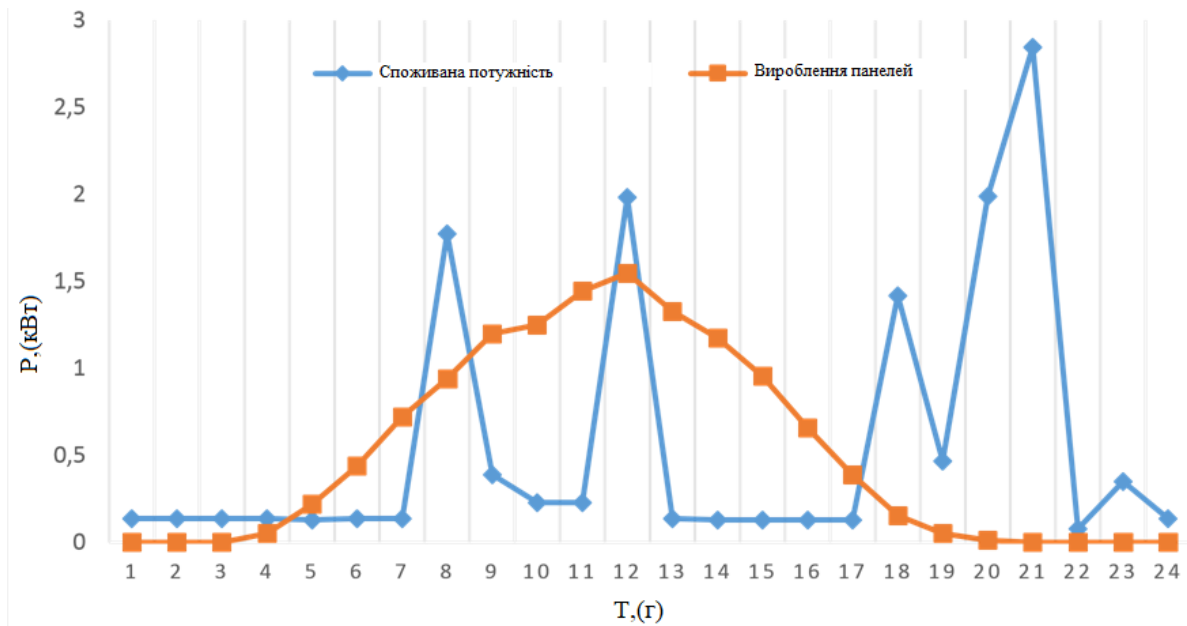
$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{фЕС}} = P_{\text{фЕС1}} + P_{\text{фЕС2}} + \dots + P_{\text{фЕС24}} = 10.06 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{фЕС}} - P_{\text{н}} = 10.06 - 13.5 = -3.44 \text{ кВт}$$

### Травень:

Таблиця 15. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума вироблення сонячної радіації СП в потужність при середніх умовах хмарності (травень).

t, (г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м <sup>2</sup>	-	-	0	0,04	0,17	0,34	0,56	0,73	0,93	0,97	1,12	1,2
t, (г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м <sup>2</sup>	1,03	0,91	0,74	0,51	0,3	0,12	0,04	0,01	0	-	-	-
t, (г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	-	-	0	0,19	0,79	1,58	2,61	3,39	4,33	4,52	5,21	5,59
t, (г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	4,79	4,24	3,45	2,37	1,39	0,56	0,19	0,05	0	-	-	-
t, (г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·г	-	-	0	0,05	0,22	0,44	0,72	0,94	1,19	1,25	1,44	1,55
t, (г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·г	1,33	1,17	0,95	0,66	0,39	0,15	0,05	0,01	0	-	-	-



Малюнок 33. Порівняння вироблення СП (травень) і реального навантаження.

Оскільки даний місяць має велику сонячну інсоляцію, то розрахунок буде проводитися, як в літній сезон.

Енергетичний баланс за травень:

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{н}} = P_{\text{н1}} + P_{\text{н2}} + \dots + P_{\text{н24}} = 12.3 \text{ кВт}$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{фЕС}} = P_{\text{фЕС1}} + P_{\text{фЕС2}} + \dots + P_{\text{фЕС24}} = 12.53 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{фЕС}} - P_{\text{н}} = 12.53 - 12.3 = 0.23 \text{ кВт}$$

З енергетичного балансу за травень місяць видно, що СП видають потрібну нам потужність для забезпечення лабораторії електроенергією, розрахуємо заряд / розряд АБ для того, щоб переконатися, що і акумулятори будуть завжди заряджені.

Таблиця 16. Енергетичний баланс по годинах (травень).

Р <sub>ЕБ1</sub>	Р <sub>ЕБ2</sub>	Р <sub>ЕБ3</sub>	Р <sub>ЕБ4</sub>	Р <sub>ЕБ5</sub>	Р <sub>ЕБ6</sub>	Р <sub>ЕБ7</sub>	Р <sub>ЕБ8</sub>	Р <sub>ЕБ9</sub>	Р <sub>ЕБ10</sub>	Р <sub>ЕБ11</sub>	Р <sub>ЕБ12</sub>
-0,13	-0,13	-0,13	-0,08	0,09	0,31	0,59	-0,75	0,81	1,02	1,21	-0,34
Р <sub>ЕБ13</sub>	Р <sub>ЕБ14</sub>	Р <sub>ЕБ15</sub>	Р <sub>ЕБ16</sub>	Р <sub>ЕБ17</sub>	Р <sub>ЕБ18</sub>	Р <sub>ЕБ19</sub>	Р <sub>ЕБ20</sub>	Р <sub>ЕБ21</sub>	Р <sub>ЕБ22</sub>	Р <sub>ЕБ23</sub>	Р <sub>ЕБ24</sub>
1,19	1,04	0,82	0,53	0,26	-1,14	-0,34	-1,52	-2,19	-0,39	-0,39	-0,13

Після того, як провели розрахунки енергетичного балансу по годинах, можемо знайти струм заряду / розряду.

Таблиця 17. Значення струму розряду / заряду по годинах (травень).

I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>7</sub>	I <sub>8</sub>	I <sub>9</sub>	I <sub>10</sub>	I <sub>11</sub>	I <sub>12</sub>
-5,4	-5,4	-5,4	-3,33	3,75	12,92	24,58	-31,25	21,25	33,75	50,42	-14,17
I <sub>13</sub>	I <sub>14</sub>	I <sub>15</sub>	I <sub>16</sub>	I <sub>17</sub>	I <sub>18</sub>	I <sub>19</sub>	I <sub>20</sub>	I <sub>21</sub>	I <sub>22</sub>	I <sub>23</sub>	I <sub>24</sub>
49,58	43,33	34,17	22,1	10,83	-47,5	-14,17	-63,3	-91,25	-16,25	-16,25	-5,4

Складаємо струм розряду з 18:00 – 4:00, то струм розряду буде дорівнювати:

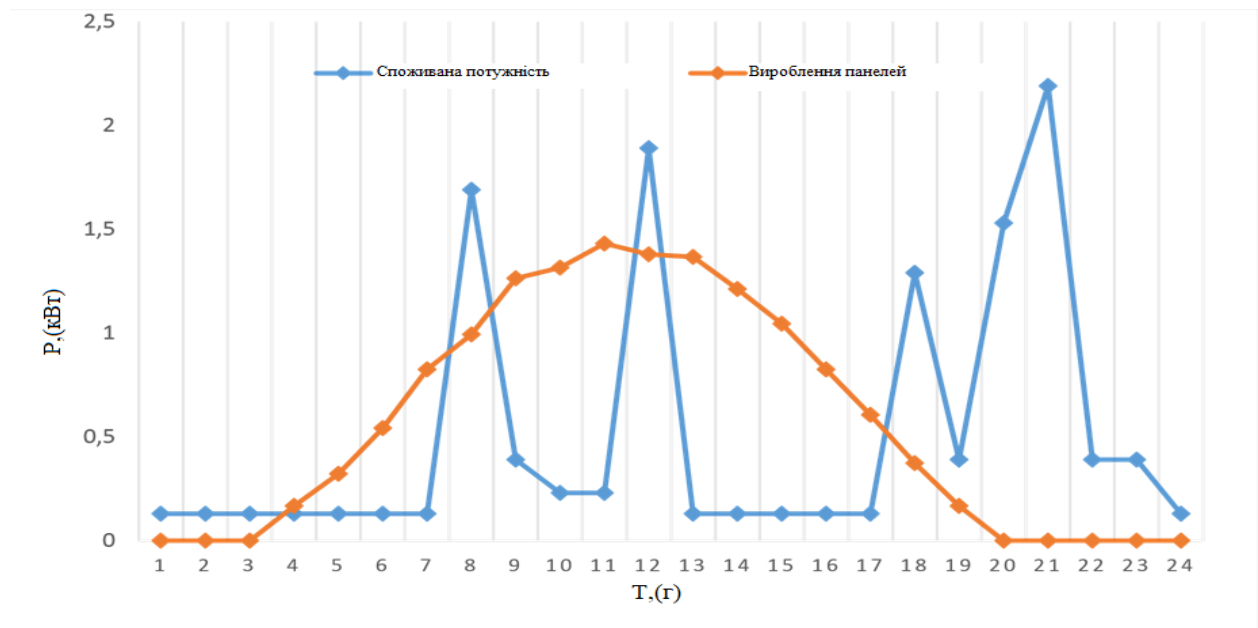
$I_{роз} = -273,65 \text{ А} \cdot \text{г}$ , розряд складе  $91,22 \text{ А} \cdot \text{год}$  на кожну пару акумуляторів протягом 12 годин.

При додаванні струму заряду і розряду з 5:00 \* 17:00 і віднімаючи від цієї суми струм розряду в пікові години навантаження 8:00, 12:00, то струм заряду буде дорівнює:  $I_{зар} = 261,26 \text{ А} \cdot \text{г}$ , де видно що таку кількість  $\text{А} \cdot \text{год}$  буде заряджати АБ на 96%, тому що кожен акумулятор протягом доби буде заряджений на  $87,1 \text{ А} \cdot \text{год}$ .

## Червень:

Таблиця 18. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума вироблення сонячної радіації СП в потужність при середніх умовах хмарності (червень).

t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м	0	0	0	0,13	0,25	0,42	0,64	0,77	0,98	1,02	1,11	1,07
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м	1,06	0,94	0,81	0,64	0,47	0,29	0,13	0	0	0	0	0
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0,61	1,16	1,96	2,98	3,59	4,56	4,75	5,17	4,98
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	4,94	4,38	3,77	2,98	2,19	1,35	0,61	0	0	0	0	0
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·г	0	0	0	0,17	0,32	0,54	0,83	0,99	1,26	1,32	1,43	1,38
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·г	1,37	1,21	1,04	0,83	0,61	0,37	0,17	0	0	0	0	0



Малюнок 34. Порівняння вироблення СП (червень) і реального навантаження.

Енергетичний баланс за червень:

$$\sum_{i=0}^{24} P_{нi} = P_{н1} + P_{н2} + \dots + P_{н24} = 12.35 \text{ кВт}$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\Phi EC} = P_{\Phi EC1} + P_{\Phi EC2} + \dots + P_{\Phi EC24} = 13.84 \text{ кВт}$$

$$P_{EB} = P_{\Phi EC} - P_n = 13.84 - 12.35 = 1.49 \text{ кВт}$$

З енергетичного балансу видно, що СП видають потрібну нам потужність для забезпечення лабораторії електроенергією, розрахуємо заряд / розряд АБ для того, щоб переконатися, що і акумулятори будуть завжди заряджені.

Таблиця 19. Енергетичний баланс по годинах (червень).

$P_{EB1}$	$P_{EB2}$	$P_{EB3}$	$P_{EB4}$	$P_{EB5}$	$P_{EB6}$	$P_{EB7}$	$P_{EB8}$	$P_{EB9}$	$P_{EB10}$	$P_{EB11}$	$P_{EB12}$
-0,13	-0,13	-0,13	0,04	0,19	0,41	0,69	-0,69	0,87	1,09	1,20	-0,51
$P_{EB13}$	$P_{EB14}$	$P_{EB15}$	$P_{EB16}$	$P_{EB17}$	$P_{EB18}$	$P_{EB19}$	$P_{EB20}$	$P_{EB21}$	$P_{EB22}$	$P_{EB23}$	$P_{EB24}$
1,23	1,08	0,91	0,69	0,48	-0,9	-0,22	-1,53	-2,19	-0,39	-0,39	-0,13

Після того, як провели розрахунки енергетичного балансу по годинах, можемо знайти струм заряду.

Таблиця 20. Значення струму розряду / заряду по годинах (червень).

$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_8$	$I_9$	$I_{10}$	$I_{11}$	$I_{12}$
-5,4	-5,4	-5,4	1,66	7,92	17,08	28,75	-29,03	23,75	45,42	50	-21,25
$I_{13}$	$I_{14}$	$I_{15}$	$I_{16}$	$I_{17}$	$I_{18}$	$I_{19}$	$I_{20}$	$I_{21}$	$I_{22}$	$I_{23}$	$I_{24}$
51,25	45	37,92	28,75	20	-38,16	-9,17	-63,75	-91,25	-16,25	-16,25	-5,4

Складаємо струм розряду з 18:00 – 3:00, то струм розряду буде дорівнювати:

$I_{роз} = -202,02 \text{ А} \cdot \text{г}$ , що дозволяє використовувати акумулятор на не знос оскільки у нас 3 пари АБ з'єднаних паралельно і розряд складе  $67,34 \text{ А} \cdot \text{год}$  на кожну пару акумуляторів протягом 12 годин.

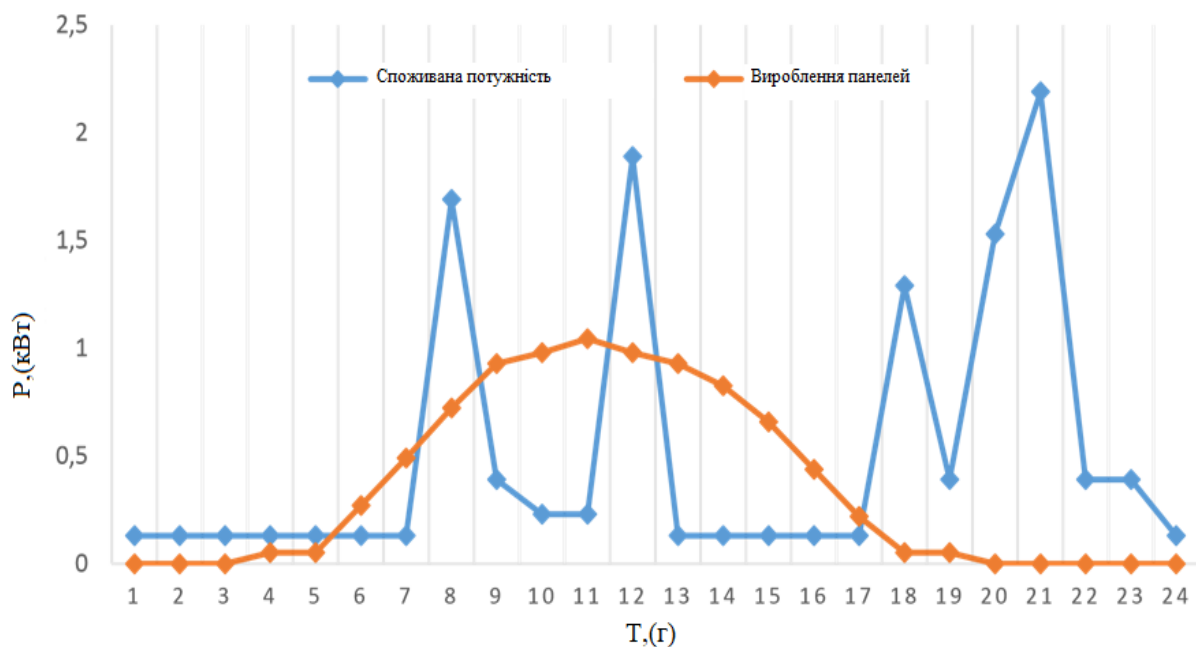
При додаванні струму заряду і розряду з 4:00 – 17:00 і віднімаючи від цієї суми струм розряду в пікові години навантаження 8:00, 12:00, то струм заряду буде дорівнювати:  $I_{зар} = 307,22 \text{ А} \cdot \text{г}$ , де видно що таку кількість  $\text{А} \cdot \text{год}$  буде

заряджати АБ на 100%, тому що кожна пара акумуляторів протягом доби буде заряджена на 102,4 А \* год.

### Серпень:

Таблиця 21. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню при середніх умовах хмарності (серпень).

t,(Г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м	0	0	0	0,04	0,04	0,21	0,38	0,56	0,72	0,76	0,81	0,76
t,(Г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м	0,72	0,64	0,51	0,34	0,17	0,04	0,04	0	0	0	0	0
t,(Г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0,19	0,19	0,98	1,77	2,61	3,35	3,54	3,77	3,54
t,(Г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	3,35	2,98	2,37	1,58	0,79	0,19	0,19	0	0	0	0	0
t,(Г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·Г	0	0	0	0,05	0,05	0,27	0,49	0,72	0,93	0,98	1,04	0,98
t,(Г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·Г	0,93	0,83	0,66	0,44	0,22	0,05	0,05	0	0	0	0	0



Малюнок 35. Порівняння вироблення СП (серпень) і реального навантаження.

Енергетичний баланс за серпень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_{н} = P_{н1} + P_{н2} + \dots + P_{н24} = 13.47 \text{ кВт}$$

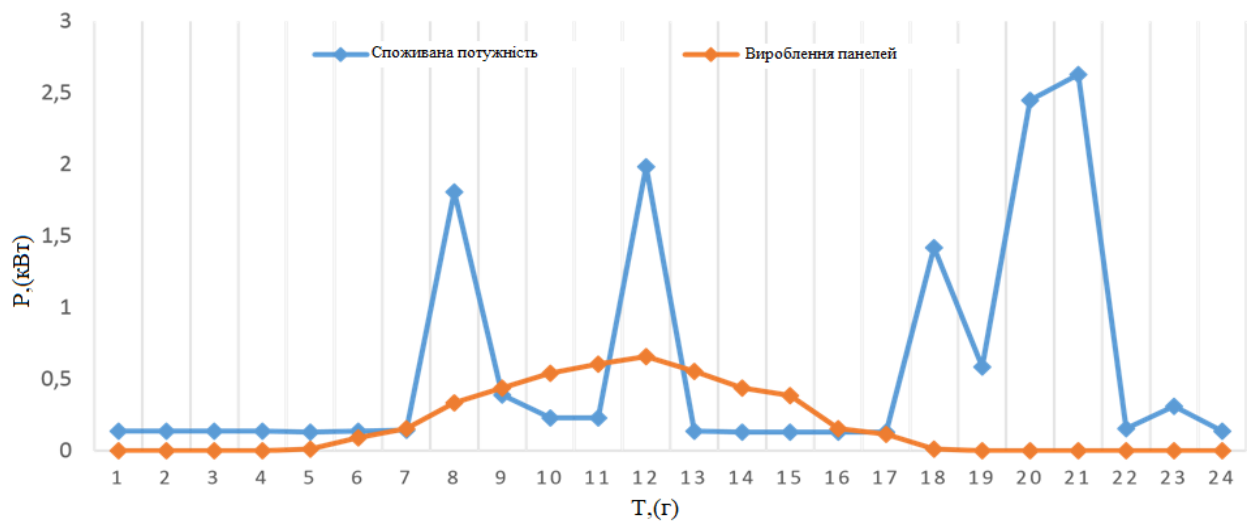
$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС24}} = 8.69 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_{н} = 8.69 - 13.47 = -3.66 \text{ кВт}$$

### Вересень:

Таблиця 22. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню при середніх умовах хмарності (вересень).

t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м	0	0	0	0	0,01	0,07	0,12	0,26	0,34	0,42	0,47	0,51
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м	0,43	0,34	0,3	0,12	0,09	0,01	0	0	0	0	0	0
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0	0,05	0,33	0,56	1,21	1,58	1,96	2,19	2,37
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	2	1,58	1,39	0,56	0,42	0,05	0	0	0	0	0	0
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·г	0	0	0	0	0,01	0,09	0,15	0,34	0,44	0,54	0,61	0,66
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·г	0,55	0,44	0,39	0,15	0,12	0,01	0	0	0	0	0	0



Малюнок 36. Порівняння вироблення СП (вересень) і реального навантаження.

Енергетичний баланс за вересень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{н}} = P_{\text{н1}} + P_{\text{н2}} + \dots + P_{\text{н24}} = 13.94 \text{ кВт}$$

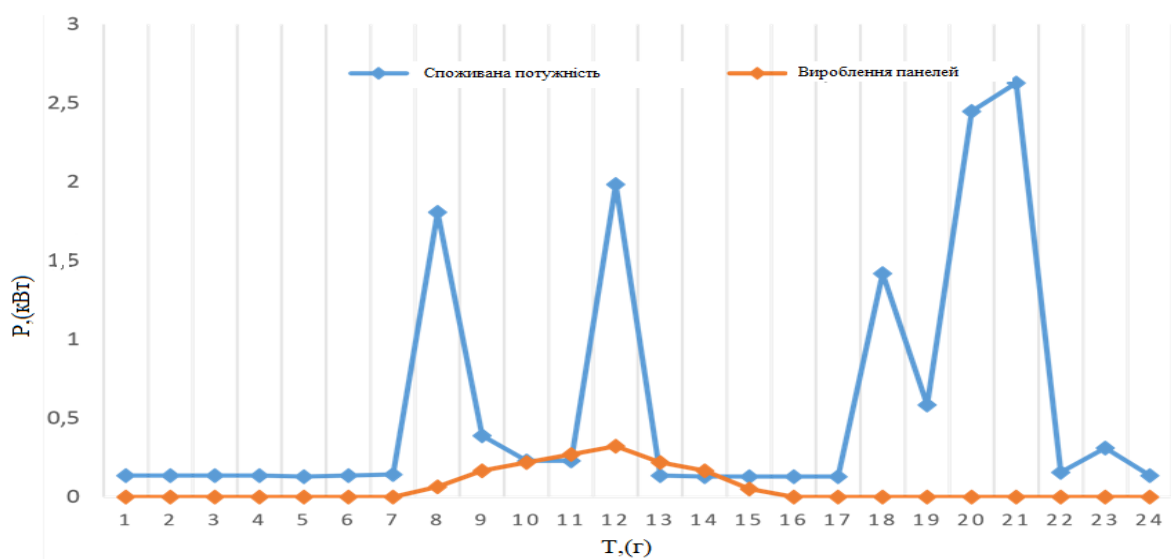
$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС24}} = 4.5 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_{\text{н}} = 4.5 - 13.94 = -9.44 \text{ кВт}$$

**Жовтень:**

Таблиця 23. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню при середніх умовах хмарності (жовтень).

t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,13	0,17	0,21	0,25
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м	0,17	0,13	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0,61	0,79	0,98	1,16
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	0,79	0,61	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t,(г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·г	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,17	0,22	0,27	0,32
t,(г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·г	0,22	0,17	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Малюнок 37. Порівняння вироблення СП (жовтень) і реального навантаження.

Енергетичний баланс за жовтень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_{н} = P_{н1} + P_{н2} + \dots + P_{н24} = 13.94 \text{ кВт}$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС24}} = 1.48 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_{н} = 1.48 - 13.94 = -12.46 \text{ кВт}$$

**Листопад:**

Таблиця 24. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню при середніх умовах хмарності (листопад).

t,(Г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,09	0,12	0,12
t,(Г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м	0,09	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t,(Г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0,42	0,56	0,56
t,(Г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	0,42	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t,(Г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·Г	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,12	0,15	0,15
t,(Г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·Г	0,12	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Малюнок 38. Порівняння вироблення СП (листопад) і реального навантаження.

Енергетичний баланс за листопад місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_{н} = P_{н1} + P_{н2} + \dots + P_{н24} = 13.94 \text{ кВт}$$

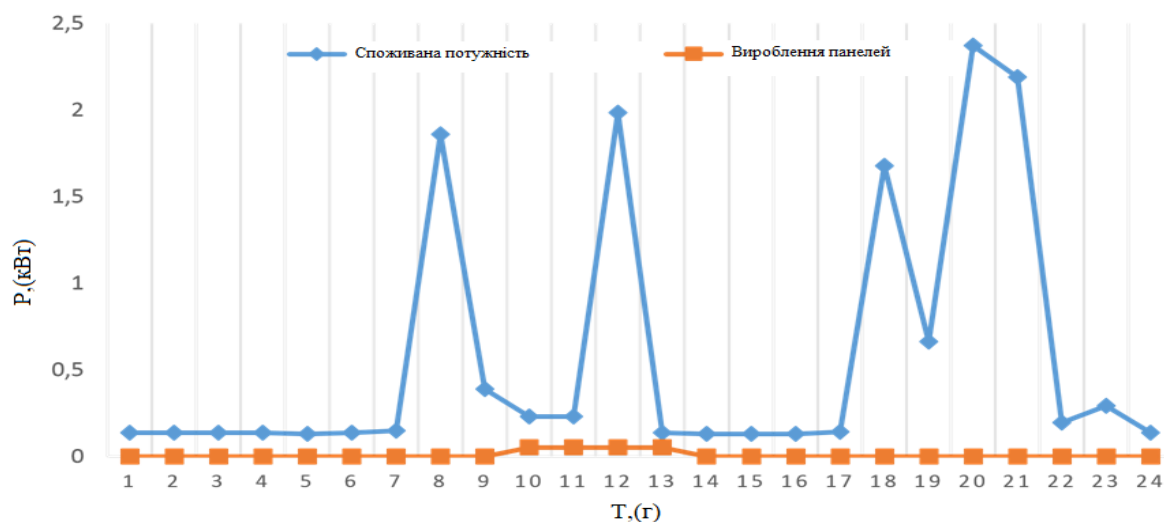
$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС24}} = 0.64 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_{н} = 0.64 - 13.94 = -13.3 \text{ кВт}$$

**Грудень:**

Таблиця 25. Сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, сума вироблення сонячної радіації СП в потужність при середніх умовах хмарності (грудень).

t,(Г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж/м	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,04	0,04
t,(Г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж/м	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t,(Г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
МДж	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0,19	0,19
t,(Г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
МДж	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t,(Г)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт·Г	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,05
t,(Г)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
кВт·Г	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Малюнок 39. Порівняння вироблення СП (грудень) і реального навантаження.

Енергетичний баланс за грудень місяць:

$$\sum_{i=0}^{24} P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n24} = 13.85 \text{ кВт}$$

$$\sum_{i=0}^{24} P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС1}} + P_{\text{ФЕС2}} + \dots + P_{\text{ФЕС24}} = 0.2 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{ЕБ}} = P_{\text{ФЕС}} - P_n = 0.2 - 13.85 = -13.65 \text{ кВт}$$

Складемо наочну таблицю енергетичного балансу по місяцях.

Таблиця 26. Енергетичний баланс по місяцях.

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$P_{\text{ЕБ}}$ (кВт·г/добу)	-13,28	-13,14	-7,83	-3,44	0,23	1,49
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$P_{\text{ЕБ}}$ (кВт·г/добу)	2,61	-3,66	-9,44	-12,44	-13,3	-13,65

З таблиці 26 наочно видно, що наша система може забезпечити електроенергією лабораторію без додаткових допоміжних пристроїв протягом трьох місяців (травень, червень, липень), а в останні місяці буде працювати ДЕС, а акумулятори будуть працювати в буферному режимі.

## 5.6 Вибір і розрахунок акумуляторних батарей

Наступним завданням є вибір типу АБ.

У таблиці 6 наведені розширені матричні (табличні) характеристики акумуляторів, що дозволяють обґрунтовано, на основі статичного аналізу, вибрати типи АБ.

Таблиця 27. Характеристики акумуляторів.

Характеристики	Типи акумуляторних батарей						
	NiCd	NiMH	свинцево-кислотні	Li-Ion	Li-Ion полімерні	Перезарядж. лужні	Гелеві
Енергетична щільність, Вт / кг	45...80	60...120	150	110...160	100...130	80	180
Внутрішній опір, мОм	100...20 (батарея на 6В)	200...300 (батарея на 6 В)	менше 100 (батарея на 12 В)	150...250 (батарея на 7,2 В)	200...300 (батарея на 7,2 В)	200...2000 (батарея на 6 В)	менше 100 (батарея на 12 В)
Число циклів заряд / розряд до зниження ємності на 80%	1500	300...500	200... 300	500...1000	300...500	50(при сняж. ємн. на 50%)	700
Час швидкого заряду, г	1	2...4	8...16	2...4	2...4	2...3	3,5
Допустимий перезаряд	середній	низький	високий	дуже низький	низький	середній	низький
Саморозряд за місяць при кімнатній температурі, %	20	30	5	10	10	0,3	3
Напруга на елементі, В	1,25	1,25	2	3,6	3,6	1,5 – 1,6	2
Струм навантаження щодо ємності (С): -піковий; -найбільш прийнятний	20С до 1С	5С до 0,5с	5С до 0,2с	>2С до 1С	>2С до 1С	0,5С до 0,2с	5С до 0,2с
Діапазон робочих температур	-40...60	-20...60	-20...60	-20...60	0...60	0...65	-20...60
Обслуговування через	30...60дн.	60...90дн.	3...6 м-ців	не регл.	не регл.	не регл.	не регл.
Початок виробництва	1950	1990	1970	1991	1999	1992	2000

З відомих типів АБ для ФЕУ найчастіше використовуються свинцево-кислотні і гелеві АБ. Вибір гелевих акумуляторів залежить від унікальних характеристик: відсутність регулятора зарядного струму, велика кількість циклів заряду-розряду, допустимість тривалого знаходження в розрядженому стані, низький саморозряд, можливість експлуатації в будь-якому положенні в приміщенні. Встановлено можливість використання нового типу АБ (гелевий акумулятор). °С

На сьогоднішній день подібні акумулятори широко використовуються в домашніх потужних системах безперебійного живлення, в альтернативній енергетиці. Гелієві акумуляторні батареї вимагають тільки захисту від перезаряду і повинні мати обмежувач напруги при заряді, що забезпечує їх максимальний термін служби понад 700 циклів заряд-розряду.

Переваги гелієвих АБ:

- Абсолютно не вимагають обслуговування;
- Захищені від проливання / протікання;
- Мають високі показники при глибокому розряді;
- Можуть встановлюватися боком (можлива втрата 10% потужності);
- Відсутність газовиділення;
- Можливість використання поряд з чутливим електронним устаткуванням;
- Тривалий термін зберігання;
- Швидка перезарядка (з 0% до 90% за 3,5 години) - в 7 разів швидше за аналогічний кислотного акумулятора;
- Немає обмеження по струму при зарядці до 13,8 В;
- Стійкість до вібрації;
- Робота у вологих середовищах, навіть на глибині 10 метрів під водою;
- При повному заряді не замерзає при температурі -30 °С;
- Оптимальна питома вартість (ціна / кількість місяців в експлуатації);
- Найнижча питома вартість (ціна / кількість циклів).

Особливості гелієвих АБ:

- Висока вартість
- Більша вага в порівнянні з іншими акумуляторами
- Неможливість долити воду при тривалому перезаряді

Для системи автономного електропостачання не можна використовувати автомобільні (свинцеві) акумулятори або акумулятори, які не мають глибокого циклу.

ФЕУ працює з обмеженням напруги АБ. При розрядній напрузі АБ,

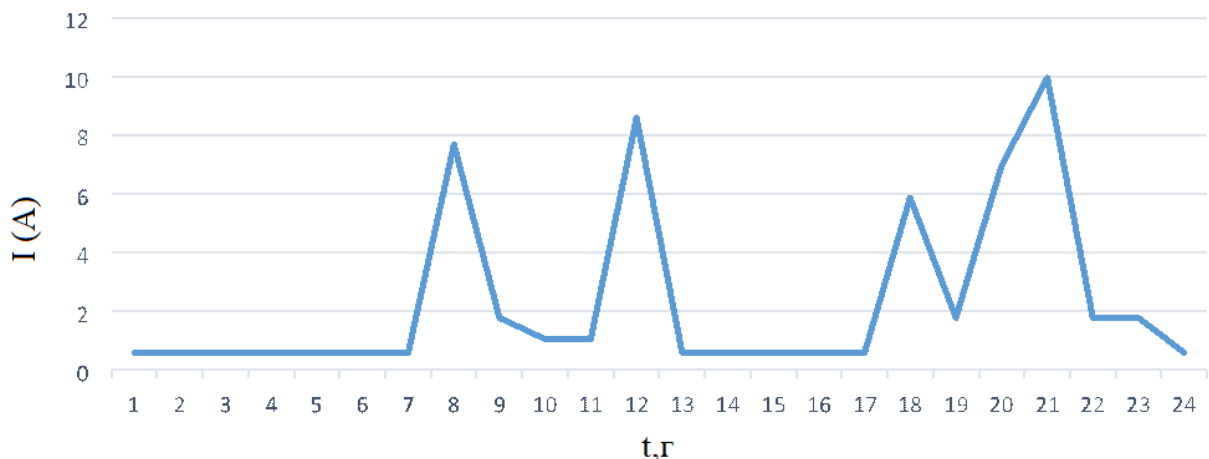
$U_{AB} = 24 \text{ В}$  (оскільки АБ підключені послідовно)

середній розрядний струм АБ  $I_{\text{ср.роз.ніч}}$  (А) дорівнює:

$$I_{\text{ср.роз.ніч}} = \frac{P_{\text{ср.ніч}}}{U_{AB}} = \frac{0.48 \text{ кВт}}{24 \text{ В}} = 20 \text{ А.}$$

Середній розрядний струм на навантаження вдень  $I_{\text{ср.роз.день}}$ :

$$I_{\text{ср.роз.день}} = \frac{P_{\text{ср.день}}}{U_{AB}} = \frac{0.54 \text{ кВт}}{24 \text{ В}} = 22.5 \text{ А}$$



Малюнок 40. Циклограма струму навантаження за 24 години.

ККД для гелевих АБ  $\eta_{\text{розряд}} = 0,75$ .

$Q_{AB \text{ роз.ніч}}$  (А \* год) з урахуванням ККД розряду і  $T_{\text{ніч}} = T_{\text{день}} = 12$  годин:

$$Q_{AB \text{ роз.ніч}} = \frac{I_{\text{ср.роз.ніч}} * T_{\text{ніч}}}{\eta_{\text{розряд}}} = \frac{20 \text{ А} * 12 \text{ г}}{0.75} = 320 \text{ А} * \text{ г.}$$

Розрядна ємність АБ на навантаження вдень  $Q_{AB \text{ роз.день}}$  (А \* год):

$$Q_{AB \text{ роз.день}} = I_{\text{ср.роз.день}} * T_{\text{день}} = 22.5 \text{ А} * 12 \text{ г} = 270 \text{ А} * \text{ г.}$$

Сумарний заряд, що віддається СП вдень на заряд АБ і живлення навантаження

$\Sigma Q_{\text{СБ}}$  (А \* г):

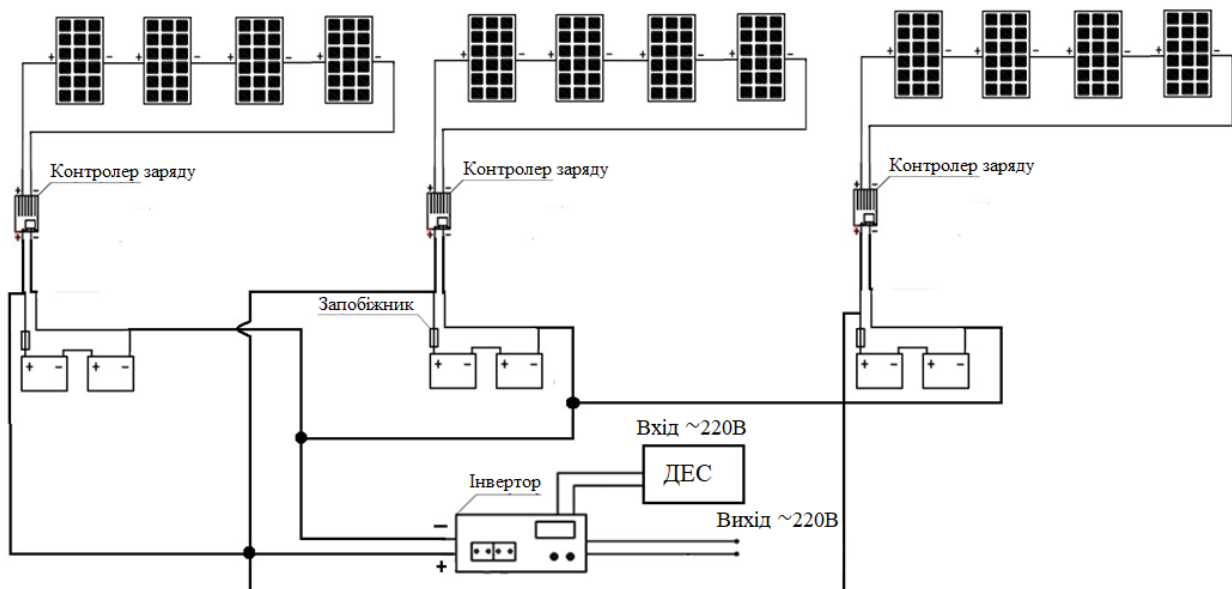
$$\Sigma Q_{\text{СБ}} = Q_{\text{АБ роз.ніч}} + Q_{\text{АБ роз.день}} = 320 + 270 = 590 \text{ А * г.}$$

Середнє значення струму СП  $I_{\text{ср.СП}}$  (А):

$$I_{\text{ср.СП}} = \frac{\Sigma Q_{\text{СБ}}}{T_{\text{день}}} = \frac{590}{12} = 49 \text{ А.}$$

Для підключення 4 СП зробимо розрахунок АБ, які будуть підключені послідовно по 2 акумулятора, якщо ємність послідовно з'єднаних АБ взяти 100 А \* г, а вольтаж 12 В одної АБ, а при послідовному з'єднанні 24 В, відповідно повна потужність складе  $100 \text{ А * г} \cdot 24 \text{ В} = 2400 \text{ Вт * год.}$  за розрахунками максимальний розряд акумуляторів становить  $91 \text{ А * г.}$  Відповідно  $100 \text{ А * г} \cdot 24 \text{ В} \cdot 0,91 = 2184 \text{ Вт * год.}$

Виходячи з цього складемо повну схему підключення всіх СП, контролерів заряду / розряду, інвертора, акумуляторів і ДЕС.



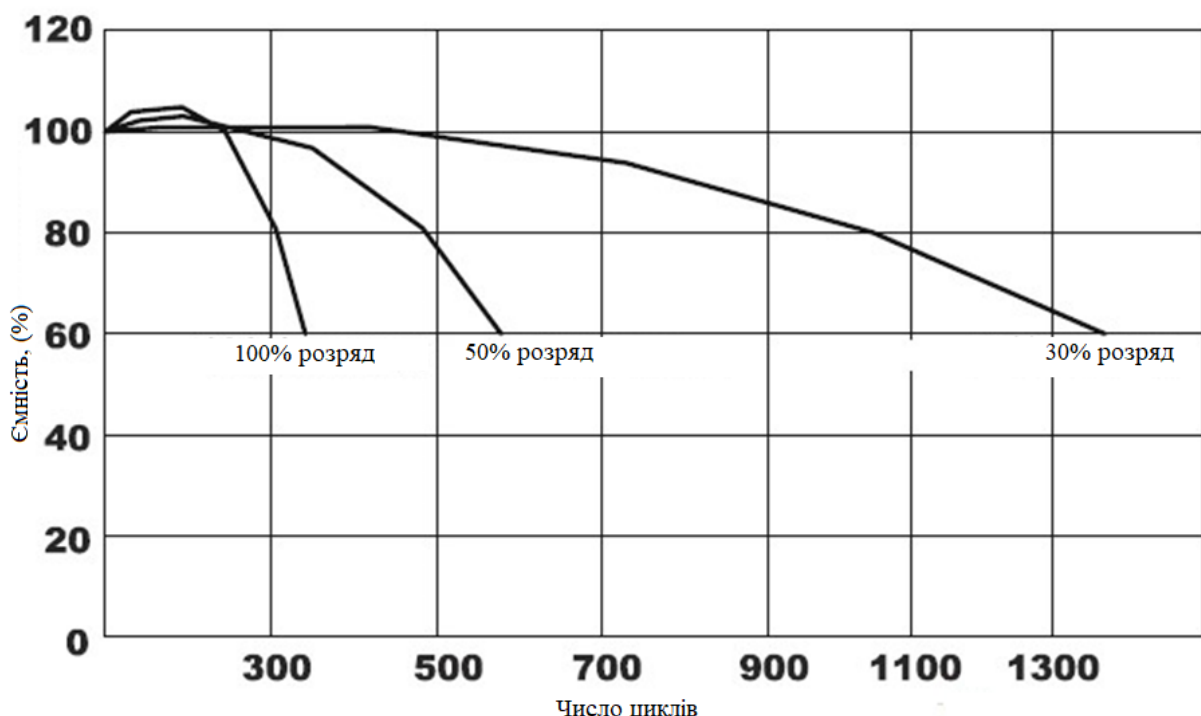
Малюнок 41. Повна робоча схема.

За схемою представленої раніше виходить 6 АБ по 100 А \* г, отже в такій системі повна ємність складе: 6552 Вт \* г, що дозволяє нам використовувати вибрану кількість АБ і їх ємність, тому що максимальний пік навантаження становить 2,85 кВт \* год. (зимовий період).

Термін служби гелевих акумуляторів в циклічному режимі роботи залежить від цілого ряду чинників:

- робоча температура навколишнього середовища
- швидкість розряду
- спосіб заряду
- глибина розряду

Найбільш істотними з них є глибина розряду, так як цей фактор впливає на термін служби АБ. На малюнку 42 нижче показано вплив глибини розряду на кількість циклів роботи гелевих акумуляторів при циклічному режимі.



Малюнок 42. Вплив глибини розряду на кількість циклів роботи гелевих АБ.

Оскільки максимальна глибина розряду становить 91 А \* г, то приблизна кількість циклів заряду / розряду становить 400 циклів. Гелеві акумулятори не вимагають зрівняльного заряду, тому буферної напруги досить, щоб підтримувати моноблоки в повністю зарядженому стані.

Вибираємо гелевий акумулятор DELTA HR 12-100, 100 А \* г 12 В.



Малюнок 43. Акумулятор DELTA HR 12-100

Модель Delta HR 12-100 - це необслуговуваний акумулятор високої ємності 100 А \* г з номінальною напругою 12 В, розроблений спеціально системою ДБЖ (UPS). Ресурс роботи виробу — понад 5 років.

#### ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Номінальна напруга, Вольт — 12

Термін служби, років — 8-12

Номінальна ємність (25 °С), А \* г — 100

Саморозряд — 3% ємності в місяць при 20 °С

#### ТЕМПЕРАТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Розряд, °С — -20 ~ + 60

Заряд, °С — -10 ~ + 60

Зберігання, °С — -20 ~ + 60

#### ГАБАРИТИ І ВАГА

Габаритні розміри, мм — 330x171x214

Вага, кг — 32

Виробник: DELTA

Країна: Китай

Модель: HR 12-100

Термін служби: 10 років

Гарантія: 1 рік

Ціна: 5239 грн.

### 5.6.1 Імовірність безвідмовної роботи акумуляторних батарей

Для акумуляторної батареї, що складається з послідовно з'єднаних акумуляторів, ймовірність безвідмовної роботи протягом певного часу автономної роботи  $t$  визначається наступною формулою:

$$P(t) = e^{-m*\lambda*t} = \frac{1}{e^{-m*\lambda*t}}$$

де  $P(t)$  — ймовірність безвідмовної роботи;  $m$  — кількість послідовно з'єднаних акумуляторів,  $\lambda$  — інтенсивність (середня частота) відмов,  $t$  — час роботи — 3

роки. Для  $\lambda = 10^{-6} \frac{1}{\text{год.}}$  — типове значення частоти відмов, час для  $t = 20$  років,

для  $t = \text{кількість років} * \text{кількість днів} * \text{год. в день} = 3 * 365 * 24 = 2638 \text{ год.}$ ,

для  $U_H = 220 \text{ В}$  кількість послідовно з'єднаних акумуляторів  $m = 2$ , таким чином, ми можемо розрахувати ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = \frac{1}{e^{2*10^{-6}*26380}} = 0.949$$

Ця висока ймовірність безвідмовної роботи означає, що немає необхідності розробляти методи підвищення надійності акумуляторної батареї: заміна раніше, ніж через 3 роки, індивідуальний контроль акумуляторів і т.п.

### 5.7 Висновок по розділу 5

З розрахунків видно, що перспектива фотоелектричної сонячної енергетики дуже велика. Сонячне випромінювання є практично невичерпним джерелом

енергії, перебуваючи "під рукою" у будь-якого споживача і є екологічно чистим доступним джерелом енергії.

Недоліком сонячного випромінювання як джерела енергії є нерівномірність його надходження на земну поверхню, яка визначається добовою і сезонною циклічністю, а також погодними умовами. Тому дуже важливою є проблема акумулювання електроенергії, вироблюваної за допомогою сонячних енергоустановок.

Великомасштабний розвиток фотоенергетики дасть величезний поштовх розвитку районів Землі з високим середньорічним надходженням сонячного випромінювання. Це стосується в першу чергу пустельних і посушливих районів. Надалі поступово переходити до досконалої, екологічно чистої і надійної енергетики та підвищення ККД.

## **Розділ 6. Аналіз пікових навантажень**

### **6.1 Аналіз заряду/розряду АБ без ДЕС при пікових навантаженнях**

З розрахунків зроблених раніше проаналізуємо розряд / заряд АБ в літній період, де сонячна інсоляція дозволяє СП виробити потрібну потужність.

#### **Травень:**

Струм розряду дорівнює:

$I_{роз} = -273,65 \text{ А} \cdot \text{г}$ , розряд складе  $91,22 \text{ А} \cdot \text{год}$  на добу на кожну пару АБ.

Струм заряду дорівнює:

$I_{зар} = 261,26 \text{ А} \cdot \text{г}$ , очевидно, що така кількість заряду зможе зарядити кожну пару АБ на 96%.

#### **Червень:**

Струм розряду дорівнює:

$I_{роз} = -202,02 \text{ А} \cdot \text{г}$ , що дозволяє використовувати акумулятора на не знос оскільки у нас 3 пари АБ з'єднаних паралельно і розряд складе  $67,34 \text{ А} \cdot \text{год}$  на кожну пару акумуляторів протягом доби.

Струм заряду дорівнює:

$I_{зар} = 307,22 \text{ А} \cdot \text{г}$ , де видно, що така кількість заряду АБ зарядить їх на 100%, тому, що кожна пара акумуляторів протягом доби буде заряджена на  $102,4 \text{ А} \cdot \text{год}$ .

### **Липень:**

Струм розряду дорівнює:

$I_{роз} = -257,4 \text{ А} \cdot \text{г}$ , де кожна пара АБ буде розряджена на  $85,8 \text{ А} \cdot \text{год}$  протягом доби.

Струм заряду дорівнює:

$I_{зар} = 356,3 \text{ А} \cdot \text{г}$ , АБ будуть забезпечені зарядом на 100%, тому, що кожна пара акумуляторів протягом дня буде заряджена на  $118,8 \text{ А} \cdot \text{год}$ .

## **6.2 Розрахунок потужності ДЕС при пікових навантаженнях**

Енергетичний баланс автономної фото-дизельної системи електропостачання на увазі покриття графіків електроспоживання об'єкта енергією, що генерується фотоелектростанцією і дизельною електростанцією.

Загальний підхід до формування балансу полягає в максимальному використанні фотоенергетичного потенціалу при мінімізації витрат на виробництво електроенергії. Тоді енергетичний баланс системи будується наступним чином.

- 1) За відомим графіками електричних навантажень визначається середнє електроспоживання об'єкта по кожному місяцю.
- 2) За відомим характеристикам фото-потенціалу і попередньо обраної фотостанції визначається середньомісячний виробіток електроенергії для кожного місяця.
- 3) В результаті порівняння генерується ФЕС і споживаної об'єктом енергії визначається ступінь участі ДЕС в сумарному енергетичному балансі.

За розрахунками та графіками споживання лабораторії і вироблення СП по місяцях видно, що 12 СП цілком можуть забезпечити стабільність і надійність подачі електроенергії в літній період, що не можна сказати про залишені періоди року, де пік навантаження буде збільшено, тому що недостатньо

сонячної радіації в ці місяці. За даними таблиці 26 видно, в які місяці потрібна робота дизельної електростанції.

Акумулятори працюють в буферному режимі, згладжуючи коливання і забезпечуючи безперервність електропостачання при перемиканні навантажень на резервний дизель-генератор.

Фактично функції управління енергокомплексом виконує інвертор Outback Power VFX3048E 3 кВт.

Можливості такого інвертора наступні:

- Перетворення постійної напруги 24/48 /96 В в змінну 220 В, 50 Гц;
- Заряд акумуляторів;
- Можливість синхронізуватися, що дозволяє підсумувати енергію від дизель-генератора і фотоустановки через акумуляторні батареї;
- Автоматичне миттєве перемикання з акумуляторів на електрогенератор і назад;
- Автоматичне відключення при перевантаженні, перегрів, захист акумуляторів від неприпустимого розряду.

З графіка представлених раніше видно, що СП не можуть виробити достатню кількість потужності для забезпечення електроенергії лабораторії в зимовий період, тому в ці періоди буде включатися дизельна електростанція, щоб забезпечити лабораторію енергією в цей період і заряджати акумулятори, які будуть віддавати свою енергію в пікові навантаження, оскільки нам потрібно потужність ДЕС в 4 кВт, щоб виробити потрібну кількість енергії в пікові навантаження, але ми виберемо ДЕС меншої потужності, тому що в нашій системі є акумулятори, які будуть заряджені від дизель-генератора і допоможуть в роботі при пікових навантаженнях і зменшить витрату палива.

Зробимо розрахунок коефіцієнта використання ДЕС (4 кВт):

Коефіцієнт використання встановленої потужності за рік роботи ДЕС:

$$K_B = \frac{E_B}{P_B} * 100 \%$$

де:  $E_v$  – вироблення електроенергії станцією в рік кВт \* год.;  $P_v$  – встановлена потужність ДЕС.

$$E_v = \frac{2743}{8760} = 0.3 \text{ кВт}$$

8760 – число годин в календарному році.

$$K_v = \frac{0.3}{4} * 100 = 8 \%$$

Таблиця 28. Необхідна потужність для ДЕС по місяцях.

Місяць	<b>Січень</b>	<b>Лютий</b>	<b>Березень</b>	<b>Квітень</b>	<b>Травень</b>	<b>Червень</b>
P(кВт·г)	411,68	381,06	242,73	103,2	-	-
Місяць	<b>Липень</b>	<b>Серпень</b>	<b>Вересень</b>	<b>Жовтень</b>	<b>Листопад</b>	<b>Грудень</b>
P(кВт·г)	-	113,46	283,2	385,66	399	423,15
						$\Sigma P = 2743,14 \text{ кВт·г в рік}$

Оскільки 3 місяці не потрібно розраховувати, тому число годин на рік складе 6552 годин, а коефіцієнт використання складе:

$$E_v = \frac{2743}{6552} = 0.42 \text{ кВт}$$

$$K_v = \frac{0.42}{4} * 100 = 10.5 \%$$

Якщо вибрати ДЕС 2 кВт і зменшимо роботу ДЕС на 5 годин на добу (нічний час) 1370 годин на рік, коли акумулятори забезпечуватимуть енергією автономного режиму для лабораторії в нічний час, коли мережа не навантажена. І акумулятори в пікове навантаження допоможуть ДЕС віддати потрібну енергію в мережу лабораторії оскільки вони будуть заряджені, то отримаємо:

$$E_{\text{в}} = \frac{2743}{6552 - 1372} = 0.53 \text{ кВт}$$

$$K_{\text{в}} = \frac{0.53}{2} * 100 = 26.5 \%$$

Таким чином, підвищили коефіцієнт використання ДЕС. Виходячи з цього зробимо розрахунок коефіцієнта використання дизель-генератора потужністю 2 кВт, по необхідній добовій електроенергії споживача по місяцях, тому що тільки в добовому споживанні можна побачити і порівняти, як буде справлятися ДЕС в пікове навантаження.

Таблиця 29. Середня добова потужність вироблення енергії для ДЕС по місяцях.

Місяць	<b>Січень</b>	<b>Лютий</b>	<b>Березень</b>	<b>Квітень</b>	<b>Травень</b>	<b>Червень</b>
P(кВт·г)	13,28	13,14	7,83	3,44	-	-
Місяць	<b>Липень</b>	<b>Серпень</b>	<b>Вересень</b>	<b>Жовтень</b>	<b>Листопад</b>	<b>Грудень</b>
P(кВт·г)	-	3,66	9,44	12,46	13,3	13,65

Оскільки АБ будуть заряджені і зможуть забезпечити енергією в ненавантажені години 24:00 – 6:00 і 14:00 – 17:00 (з таблиць 1, 2).

**Січень:**

$$E_{\text{в}} = \frac{13.28}{24 - 9} = 0.89 \text{ кВт}$$

$$K_{\text{в}} = \frac{0.89}{2} * 100 = 44.5 \%$$

Подальші розрахунки представлені в таблиці 30.

Таблиця 30. Середній добовий коефіцієнт використання ДЕС по місяцях.

Місяць	<b>Січень</b>	<b>Лютий</b>	<b>Березень</b>	<b>Квітень</b>	<b>Травень</b>	<b>Червень</b>
$K_v$ (%)	44,5	43,8	26,1	22,9	-	-
Місяць	<b>Липень</b>	<b>Серпень</b>	<b>Вересень</b>	<b>Жовтень</b>	<b>Листопад</b>	<b>Грудень</b>
$K_v$ (%)	-	12,2	31,5	41,5	44,3	45,5

Як видно в таблиці 30 в осінньо-зимовий період дизель-агрегат має високий коефіцієнт використання, що дозволяє вибрати ДЕС 2 кВт, а у весняно-літній період коефіцієнт нижче, що аргументується тим, що в цей період задіяні СП, які дозволяють не навантажувати ДЕС.

Оскільки за схемою, представленої раніше для підключення 12 СП буде працювати 6 АБ, де 3 пари акумуляторів, які з'єднані послідовно, а по відношенню один до одного паралельно. Таким чином максимальна потужність АБ складе:  $(100 \text{ А} \cdot \text{г} \cdot 24 \text{ В}) \cdot 3 = 7,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ .

Зробимо розрахунок розряду АБ в осінній період:

За 9 годин роботи акумуляторних батарей споживана потужність будинку складе  $P = 0,137 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 9 = 1,23 \text{ кВт} \cdot \text{г}$ , що становить 16,7 % розряду на добу, а в пікове навантаження відсутню потужність віддадуть акумулятори, що дозволить використовувати ДЕС потужністю в 2 кВт, оскільки дана система буде забезпечувати лабораторію електроенергією без перебоїв.

Розрахуємо розряд в пікове навантаження осіннього періоду, де пік у нас в 7:00  $\approx 1,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ ; 12:00  $\approx 1,98 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ ; 20:00  $\approx 2,45 \text{ кВт} \cdot \text{г}$ , 21:00  $\approx 2,63 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ .

Якщо використовувати ДЕС (2 кВт) на 80%, то потужність дизель-агрегату складе 1,6 кВт.

Тоді розряд АБ складе з 24:00 \* 7:00  $P_{\text{роз. АБ}} = 0,98 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  (з 24:00 по 6:00 віддають енергію АБ і ДЕС не працює, як описувалося раніше), що є не критичним розрядом батарей. Далі ДЕС буде працювати для потреб лабораторії, де немає пікового навантаження до 12:00 і АБ будуть заряджені. О

12:00 розряд АБ буде не критичним для них  $P_{\text{роз. АБ}} = 0,38 \text{ кВт} * \text{год}$ . І в подальші години роботи АБ 13:00 – 17:00 потужність розряду:

$P_{\text{роз. АБ}} = 0,52 \text{ кВт} * \text{год}$  (описувалося раніше).

Потужність розряду в період, що залишився  $P_{\text{роз. АБ}} = 1,88 \text{ кВт} * \text{год}$  (20:00 – 21:00).

Аналіз зимового періоду в пікове навантаження:

7:00  $\approx 1,86 \text{ кВт} * \text{год}$ ; 12:00  $\approx 1,99 \text{ кВт} * \text{год}$ ; 18:00  $\approx 1,67 \text{ кВт} * \text{год}$ ; 20:00  $\approx 2,5 \text{ кВт} * \text{год}$ ; 21:00  $\approx 2,7 \text{ кВт} * \text{год}$ .

Розряд АБ з 24:00 – 7:00  $P_{\text{роз. АБ}} = 1,04 \text{ кВт} * \text{г}$ , 12:00  $P_{\text{роз. АБ}} = 0,39 \text{ кВт} * \text{г}$ , години роботи АБ 13:00 \* 17:00 потужність розряду:  $P_{\text{роз. АБ}} = 0,55 \text{ кВт} * \text{год}$  і в період 20:00 – 21:00  $P_{\text{роз. АБ}} = 2 \text{ кВт} * \text{год}$ .

За даними розрахунками можна використовувати ДЕС з потужністю 2 кВт.

### **6.3 Вибір і розрахунок витрат ДЕС**

Аналізуючи ранні розрахунки, що потрібен агрегат сумарною потужністю 2 кВт, який зможе забезпечити необхідний рівень електроенергії. На відміну від бензинового варіанту, дизельний генератор має тривалий робочий цикл і більшу надійність.

1. ККД мотора станції становить 70-80%, що набагато вище, ніж у бензинових моделей.
2. Безпека гарантується низькою ймовірністю загоряння елементів.
3. Вихлопи дизпалива набагато менш токсичні продуктів спалювання Аі-92, тому саме такого типу генератори рекомендується встановлювати.

Аналізуючи ринок, зупинимо вибір на агрегаті дизельного генератора KGEG 2200. До установки приймемо ДГ потужністю 2,2 кВт. Дизельний генератор KGEG 2200 потужністю 2,2 кВт складається з 4-х тактного дизельного двигуна, об'ємом 0,418 літра. Серед переваг цієї моделі також можна виділити наступні особливості: гільзи циліндра виконані з чавуну, а сідла клапанів - з

хромовольфрама, що забезпечує довгий термін служби робочих вузлів.

Шумозахисний кожух знижує рівень шуму від працюючого генератора до 72 дБ. Надійність роботи дизельного генератора забезпечується за рахунок систем захисту від перевантаження і низького рівня масла, а колеса полегшують переміщення обладнання.

Має стабілізатор напруги. Використання нового блоку AVR (стабілізатора напруги) дозволяє згладити напругу на виході і забезпечити захист від перевантаження. Крім цього електростанція KGEG 2200 оснащується системою вентиляції генератора змінного струму, яка захищає систему від коротких замикань і забезпечує стабільну вихідну напругу.

Стандартний паливний бак ємністю 15 л. здатний забезпечити роботу електрогенератора безперервною роботою при повному баку і навантаженні 75-80% при витраті палива 0,87 л / год.



Малюнок 44. Зовнішній вигляд дизельного генератора Kolner KGEG 2200.

### **Характеристики:**

паливо: дизель;

номінальна потужність: 2,2 кВт;

напруга: 220 В;

тип запуску: ручний / електростартер, об'єм паливного бака: 15 л;

охолодження двигуна: повітряне;

габарити: 650x547x742 мм.

### Двигун:

тип ДВС: 4-х тактний;

об'єм двигуна: 163 см<sup>3</sup>;

тип запуску: ручний / електростартер;

витрата палива: 0,87 л / год;

обсяг паливного бака: 15 л;

охолодження двигуна: повітряне.

### Основне:

паливо: дизель;

вихідна напруга: 220 В (1 фаза);

номінальна потужність: 2 кВт;

максимальна потужність: 2,2 кВт;

ціна: 4490 грн.

Необхідні вироблення енергії ДЕС представлені в таблиці 28, де використовували середнє реальне споживання лабораторії мінус вироблення СП за добу і помножили їх на кількість календарних днів на місяць. Завдяки цим значенням ми можемо зробити розрахунок питомої витрати палива ДГ використовуючи середньорічне навантаження, обчислюється за формулою:

$$b = \frac{1.05 * K * g_e}{\eta_r} + \frac{1.05 * K_x * g_e * N_e * n * 0.15}{E}$$

де:  $g_e$  – питома витрата палива ДГ при номінальній потужності, кг/к.с.

\*  $\Gamma = 0.265$ ;  $E$  – запланована дизелю вироблення електроенергії кВт \* год;

$\eta_r$  – ККД генератора;  $K_x$  – коефіцієнт, що враховує витрату палива дизелем на х.х., що приймається 0.21 з урахуванням, що ДГ потужність якого менше 1000

к.с.;  $N_e$  – номінальна потужність дизеля, к.с. = 5.4;  $n$  – число пусків.

$$K = 0.87 + 0.13 * \frac{P_{\text{ном}}}{P_{\text{вигр}}}$$

$$K = 0.87 + 0.13 * \frac{2}{0.42} = 1.49$$

$$b = \frac{1.05 * 1.49 * 0.265}{0.36} + \frac{1.05 * 0.21 * 0.265 * 5.4 * 2 * 0.15}{0.42} = 1.74$$

А також зробимо розрахунок абсолютної витрати палива ДЕС за формулою:

$$G_{ГФЕС} = g_{ном} * k_{знос} * k_{реж} * W, \text{ г}$$

де:  $W$  – енергія, що виробляється ДГ = 9 874 800 (кДж);  $g_{ном}$  – питома витрата палива дизелем при номінальній потужності (за паспортними даними), кг / кВт \* год = 0,360;  $k_{знос}$  – коефіцієнт зносу (для нових генераторів приймається рівним 1);  $k_{реж}$  – режимний коефіцієнт, що враховує зміну питомої витрати палива при роботі ДГ з навантаженням, меншим номінального:

$$k_{реж} = 0.87 + 0.13 * \frac{P_{ном}}{P_{вигр}}$$

$$k_{реж} = 0.87 + 0.13 * \frac{2}{0.42} = 1.49$$

де:  $P_{ном}$  – номінальна потужність ДГ, Вт;  $P_{вигр}$  – потужність, що виробляється, Вт.

Питома вага дизельного палива – 0.84 кг/л.

$$G_{ГФЕС} = 0.360 * 1 * 1.49 * 9\,874\,800 = 5\,т\,300\,кг = 6309 \text{ л.}$$

Без використання ФЕС маємо:

$$G_{Г} = 0.360 * 1 * 1.73 * 9\,874\,800 = 6\,т\,150\,кг = 7321 \text{ л.}$$

Вартість палива за рік, якщо ДТ коштує 25 грн. за літр:

$$6309 * 25 = 157\,725 \text{ грн. за рік}$$

Тоді маємо економію палива в розмірі:

$$E_{п} = G_{Г} - G_{ГФЕС} = 1012 \text{ л/рік}$$

Система включає в себе:

1. Сонячна батарея HH-Poly 280w – 12шт. (86 832 грн.)
2. Контролер заряду Tracer 2210A, 20A, 12 / 24В – 3 шт. (9 150 грн.)
3. Синус-інвертори Outback Power VFX3048E – 1шт. (63 864 грн.)
4. Акумулятор DELTA HR 12-100, 100Ah 12В – 6шт. (31 434 грн.)
5. Дізельний генератор Kolner KEGE 2200 – 1шт. (4 490 грн.)

Разом: 195 770 грн.

Порахуємо термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{195\,770}{E_{\text{п}} \cdot 25} = 7.74 \text{ років (приблизно 7 років 9 місяців)}$$

#### **6.4 Висновок по розділу 6**

У даній розробці вибір кількості і ємності АБ підходять для роботи в усталеному режимі для споживача (літній період), оскільки розряд АБ не дозволяє розрядитися їм на 100%, а також підтримувати їх в стані повного заряду.

Обрана і аргументована дизельна електростанція низької потужності, яка буде працювати в пікові навантаження, які перевищують номіналом ДЕС. А також завдяки акумуляторним батареям цей дизель-агрегат підвищив свій коефіцієнт використання і зменшив свої витрати, що дозволяє економити на паливі і забезпечує стійку енергію для потрібної кількості електроенергії лабораторії, використовувалася ДЕС і АБ потрібної ємності. Вся система працює цілий рік, щоб забезпечити злагоджену роботу ДЕС і не навантажувати її в повному обсязі.

## **Загальний висновок**

В зв'язку з важкою екологічною обстановкою, що загострюється парниковим ефектом та забрудненням води і ґрунту, необхідний перехід від невідновлюваних копалин первинних джерел енергії до поновлюваних.

Очевидно, що в перспективі ці переваги будуть збільшуватися, розширюючи сфери застосування відновлюваної енергетики та збільшуючи її внесок у світовий енергетичний баланс.

З проведених вище розрахунків видно, що перспектива фотоелектричної сонячної енергетики дуже велика. Сонячне випромінювання є практично невичерпним джерелом енергії, перебуваючи "під рукою" у будь-якого споживача і є екологічно чистим доступним джерелом енергії. Масштабний розвиток фотоенергетики дасть величезний поштовх для розвитку енергетики, основаної на сонячному випромінюванні, що приведе до поступового переходу на екологічно чисту і надійну енергетику з високим ККД.

Таким чином, подальший сталий розвиток сільського господарства і національної економіки України нерозривно пов'язане із зниженням споживання паливно-енергетичних ресурсів, підвищенням енергетичної та екологічної ефективності виробництва. Комплексне впровадження і максимальне використання переваг перерахованих енергоефективних технологій дозволить створити довготривалі конкурентні переваги і зміцнити позиції держави в світовому рейтингу.

### Список використаної літератури:

1. [Електронний ресурс]. <http://lib.rosenergосervis.ru/2011-07-20-04-56-55.html?start=4>.
2. [Електронний ресурс]. <http://altenergiya.ru/apologiya/perspektivy-solnechnojenergetiki-2015.html>.
3. [Електронний ресурс]. <http://www.aetechnologies.ru/about/structure/1details.htm>.
4. [Електронний ресурс]. [http://www.solarhome.ru/autonom/pros\\_cons.htm](http://www.solarhome.ru/autonom/pros_cons.htm).
5. [Електронний ресурс].  
[http://net220.ru/poleznye\\_staty/solnechnaya\\_radiaciya\\_tablicy\\_insolyacii](http://net220.ru/poleznye_staty/solnechnaya_radiaciya_tablicy_insolyacii)
6. [Електронний ресурс]. <http://www.solarroof.ru/theory/30/51/>.
7. [Електронний ресурс]. <http://www.helios-house.ru/on-line-kalkulyator.html>.
8. [Електронний ресурс]. <http://www.helios-house.ru/solar-controller.html>.
9. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные-Санкт-Петербург.: Гидрометеиздат., 1993.
10. [Електронний ресурс]. [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2600](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2600)
11. [Електронний ресурс]. <https://eschool.center/blogs/geliostanczii>
12. [Електронний ресурс].  
<http://energ2010.ru/Stati/Elektrostanciya/geliostanciya.html>
13. [Електронний ресурс]. <https://xn--80asq.xn--j1amh/articles/1339-primeneni-panelei-solnechnoi-energii-v-selskom-hozjaistve.html>
14. Гребенюк А.М. Методичні вказівки до проектування з дисципліни «Сонячна енергетика».
15. Розрахунок системи автономного енергопостачання з використання фотоелектричних перетворювачів / О.М. Гребенюк // Матеріали /М-во освіти и науки України; Нац. гірн. ун-т. - Д., 2015.

16. Сонячні батареї. [Електронний ресурс].

<https://www.civicsolar.com/product/ja-solar-jap72s01-330sc-325w-poly-slvwht1500v-solar-panel>

17. Сонячна енергія [Електронний ресурс]. Режим доступа:

<http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html>.