

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Центр перепідготовки та післядипломної освіти
Кафедра електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ
НА БАЗІ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ»

Виконав: студент II курсу, групи ЕЕд-2,
спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Кім Нестор Ярославович

(прізвище та ініціали)

Керівник Оробчук Б.Я.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Тернопіль – 2022 рік

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Центр перепідготовки та післядипломної освіти

Кафедра Електричної інженерії

Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр

Галузь знань 14 – «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Електричної інженерії

д.т.н., проф. Тарасенко М.Г.

“05” вересня 2022 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Kim Нестору Ярославовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Системи автономного водопостачання на базі нетрадиційних джерел енергії»

керівник роботи Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 26 червня 2022 р. № 4/7-717

2. Строк подання студентом роботи - грудень 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Оцінити теоретичний потенціал відновлюваних джерел енергії України для використання в електроенергетиці. Визначити графіки водоспоживання та споживання електроенергії для конкретної місцевості. Розробити математичні моделі фотовольтичного модуля, стану акумуляторної батареї та приводного двигуна насоса і на їх базі побудувати сонячну водопостачальну систему. Розробити алгоритм спільної роботи сонячної фотовольтичної енергоустановки, двигуна-насоса і акумуляторної батареї.

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунково-дослідницький розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Актуальність теми, предмет і об'єкт дослідження, поставленні задачі та шляхи їх розв'язку

2. Структурні схеми фотовольтичної водопідійомної системи

3. Математична модель фотовольтичного модуля

4. Математична модель стану акумуляторної батареї

5. Математична модель приводного двигуна насоса

6. Схема сонячної водопідійомної системи

7. Загальні висновки до дипломної роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Гурик О.Я., к.т.н., доцент</i>		
<i>Напмоконтроль</i>	<i>Вакулєнко О.О., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання - вересень 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Аналітичний розділ</i>		
2	<i>Проектно-конструкторський розділ</i>		
3	<i>Розрахунково-дослідницький розділ</i>		
4	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>		
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>		
6	<i>Оформлення графічної частини</i>		

Студент

_____ **Кіт Н. Я.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Оробчук Б. Я.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кіт Н.Я. Системи автономного водопостачання на базі нетрадиційних джерел енергії. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Центр перепідготовки та післядипломної освіти. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕд-2. – Тернопіль: ТНТУ, 2022.

Стор. - 92; рис. - 30; табл. - 16; плакатів - 7; джерел – 37

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання актуальності та перспективності використання відновлюваних джерел енергії у південних сільськогосподарських районах України.

Проведене аналітичне дослідження показало, що пріоритетне значення має використання енергії Сонця та її перетворення в електричну. Вирішення проблеми водопостачання в південних сільськогосподарських районах України може бути забезпечене при використанні сонячних водопостачальних установок.

У кваліфікаційній роботі обґрунтовано доцільність використання сонячних електричних установок з подальшими їх детальними дослідженнями, підвищенням ефективності, надійності, що дозволить відкрити для сонячних водопостачальних установок безперечну перспективу практичного застосування.

Ключові слова: сонячна водопостачальна установка; система електропостачання; акумуляторна батарея; сонячна панель; математичне моделювання.

ABSTRACT

Kit Nestor. Development of wind power supply system of the training laboratory of the Department of Electrical Engineering Ivan Puluj TNTU. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Center for retraining and postgraduate education. Chair of Electrical Engineering, group ЕЕд-2. – Ternopil: TNTU, 2022.

Page – 92; Illustrations – 30; Tables – 16; Blueprints – 7; Sources – 37

In the qualification work, the issue of relevance and perspective of using renewable energy sources in the southern agricultural regions of Ukraine is considered.

The conducted analytical study showed that the use of solar energy and its conversion into electrical energy is of priority. Solving the problem of water supply in the southern agricultural regions of Ukraine can be ensured by using solar water supply systems.

In the qualification work, the expediency of using solar electrical installations is substantiated with their further detailed research, increase in efficiency, reliability, which will open up an indisputable prospect of practical application for solar water supply installations.

Key words: solar water supply system; power supply system; battery; solar panel; mathematical modeling.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	12
1.1 Перспективи використання сонячного випромінювання	12
1.2 Характеристики сонячної енергії і варіанти її застосування	13
1.3 Сонячна радіація на земній поверхні	18
1.4 Принцип перетворення сонячного випромінювання	21
1.5 Впровадження сонячних водопостачальних систем для потреб автономних споживачів	25
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	27
2.1 Формування даних про отримане сонячне випромінювання	27
2.2 Похибки методів при розрахунку параметрів сонячного випромінювання	38
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	48
3.1 Характеристика структури водоспоживання	48
3.2 Вибір та обґрунтування функціональної схеми	49
3.3 Дослідження режимів роботи сонячної водопостачальної системи	54
3.4 Модель сонячного модуля	61
3.5 Модель стану акумуляторної батареї	65
3.6 Модель електродвигуна насоса	69
3.7 Принцип роботи сонячної системи водопостачання	73
3.8 Вибір електронасоса системи водопостачання	77
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	79
4.1 Організація безпечної системи водопостачання	79
4.2 Заходи охорони праці на водопостачальних об'єктах	81
4.3 Забезпечення стійкості роботи об'єкта водопостачання під час надзвичайних ситуацій	84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	89
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	90

Актуальність теми. На сьогоднішній день енергія є джерелом потужної сили сучасних країн, основою високого рівня життя, а також розвитку економічної стабільності та національної безпеки [1].

Однією із сучасних глобальних світових проблем виступають енергетичні проблеми, оскільки вони безпосереднім чином впливають як на нерозвинуті країни, так і на індустріально розвинуті країни з високотехнологічним рівнем. Проблема недостатньої генерації електроенергії, особливо її висока ціна є гальмом не тільки розвитку промисловості та переробних сільськогосподарських напрямків таких держав, а також і їх соціального розвитку. Аналіз ситуації на енергетичному ринку показує, що на даний час проблеми енергетики стали домінувати не тільки серед фахівців цієї галузі, але і серед фахівців інших технічних і наукових галузей [2]. Зараз часто виникають проблеми забезпечення енергією, які пов'язані із значним зростанням споживання енергії на душу населення, зменшенням запасів традиційних видів палива, зокрема нафти і газу, що мають нерівномірний територіальний розподіл, складні природні, географічні та диспропорційні умови їх добування, а також принципами розподілу та отримання енергії для споживачів. Аналізуючи виниклу ситуацію в енергетиці, можна зробити висновок, що без суттєвої перебудови загальної структури паливної енергетичної галузі, без залучення до її складу нових початкових енергетичних джерел і проведення обґрунтованого перерозподілу відповідних джерел традиційної енергії нереально вирішити сучасні глобальні проблеми енергетичної галузі нашого століття [3].

Також варто відзначити важливу винятковість цієї проблеми впливу паливної енергетичної галузі на оточуюче середовище, оскільки наслідком збільшення генерації енергії для потреб споживачів питання екологічного забруднення набуде нової гостроти. Отже, суспільство вже на цьому етапі має подумати про необхідність значно ширшого застосування відновлюваних джерел енергії на екологічно чистій основі [4].

Україна, наслідуючи інші країни, повинна також впроваджувати сучасні прогресивні технології, щоб задовільнити неухильний ріст попит усіх споживачів на чисту, надійну та дешеву. В цьому плані важливим є завдання підвищення ефективності застосування власних джерел енергії. Але, якщо розглядати довгострокову перспективу, то в підсумку необхідно знайти таке рішення, яке дозволить позбавитися залежності від нафти. Наша держава знаходиться зараз на новому етапі розвитку, на якому важливим фактором виступає використання наявних початкових джерел енергії та зміна впровадження діючих технологій, які потрібні для соціального і економічного розвитку. Використання чистих в екологічному аспекті відновлюваних джерел енергії, зокрема енергії сонячного випромінювання, має бути головною та стратегічною проблемою з метою визначення майбутнього сталого розвитку

суспільства в умовах зростаючого зменшення традиційних запасів органічного палива та збільшення ризику антропогенного забруднення середовища.

Якщо проводити аналіз з енергетичних та термодинамічних позицій, то сонячна радіація виступає високоякісним початковим джерелом енергії, яку в принципі можна перетворити в інші види енергії, зокрема в електричну, теплову, з досить значним коефіцієнтом корисної дії. Крім того, ця енергія є доступною по всій планеті. Коло взяти до уваги добові, сезонні, кліматичні та географічні показники, то середньорічна густина енергетичного потоку на поверхню землі для ділянок південних районів нашої держави складає приблизно біля 200 Вт/м^2 . Згідно статистичних даних в Україні загальний середньорічний потенціал сонячного випромінювання становить $1235 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$, тобто є досить високим і навіть вищим, ніж в Німеччині ($1000 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$), чи сусідній Польщі ($1080 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$) [5]. Отже, наша держава має достатньо потенціальних можливостей, щоб на своїй території ефективно використовувати сонячні електричні станції.

Тепер в багатьох країнах проводяться дослідження, де одним із основних завдань є наукове обґрунтування, розробка і створенні модерних технологій та обладнання під використання сонячного випромінювання, які в подальшому можуть принести економічно ефективну користь при застосуванні в різних галузях народного господарства, беручи до уваги специфіку конкретного регіону та споживачів.

В нашій державі, беручи до уваги недостатньо розвідані власні запаси нафти та газу, а також зростання споживання електричної енергії і бажання мати технологічну незалежність, намагаються впроваджувати альтернативні джерела енергії. В Україні на даний час велика увага приділяється розвитку і освоєнню відновлювальних джерел енергії, зокрема ця кваліфікаційна робота також долучається до цієї проблематики.

На початку 2000-х років доля відновлювальних джерел енергії в загальному енергетичному балансі України надзвичайно малою. Під час етапу загальної індустріалізації створилися умови повної централізації господарського життя, включаючи і енергопостачання, які відтіснили всі відновлювальні джерела енергії, доля яких на енергетичному ринку становить більше 5% [6]. Але диверсифікація власності, на яку орієнтована нова енергетична політика, дає нові можливості для значно широкішого розвитку малої енергетики, включаючи і відновлювальні джерела енергії. У новій енергетичній програмі зроблено значний акцент на їх використання у майбутньому [7].

Клімат південних регіонів нашої держави та Криму мають усі передумови для успішного розвитку сонячної енергетики, оскільки тут більше двохсот активних сонячних днів у році. Враховуючи велику кількість сонячної енергії в цих районах нашої держави, а також постійні проблеми з

водопостачанням, зростання ціни на електроенергію та паливо, можна вважати що проблема розробки економічно ефективних сонячних водопостачальних установок для споживачів малої потужності є надзвичайно актуальною. Таке обладнання має бути надійними, доступним в експлуатації, економічно ефективними з достатньо великим терміном служби та гарантувати технологічну ефективність і мінімальний вплив на оточуюче середовище.

Мета і завдання досліджень. Метою кваліфікаційної роботи є розробка методики вибору технічних параметрів і режиму роботи електричної сонячної водопостачальної системи для окремих автономних споживачів з ненормованим рівнем водоспоживання.

Для досягнення мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- виконано оцінку теоретичного потенціалу відновлюваних джерел енергії в південних регіонах нашої держави з метою подальшого використання у електроенергетиці;
- проведено аналітичний огляд літературних джерел сучасного технічного досягнення і впровадження сонячних електричних установок;
- досліджено графіки споживання води та споживання електричної енергії для визначеної місцевості і типів споживачів в південних регіонів нашої країни;
- проведено аналіз роботи системи водопостачання для декількох характерних варіантів впровадження сонячних систем водопостачання;
- виконано дослідження характеристики і взаємного зв'язку елементів у системі водопостачання автономного споживача;
- виконано вибір найбільш ефективного варіанту для забезпечення оптимальної роботи загальної системи автономного водопостачання.

Об'єктом дослідження є сонячна установка водопостачання, яка здійснює перетворення сонячної енергії в механічну енергію, з додатковими пристроями.

Предметом дослідження є процес перетворення сонячної в механічну енергію в електричній сонячній водопостачальній установці та оптимальний варіант забезпечення нормальної роботи загальної системи індивідуального автономного водопостачання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- обґрунтовано актуальність ефективного впровадження сонячних електричних установок в енергетичну систему нашої країни, беручи до уваги певні особливості економіки енергетичної галузі та соціального і екологічного стану держави;
- виконано вибір оптимального способу системи водопостачання індивідуальних споживачів у досліджуваних південних районах нашої держави.

Практичне значення одержаних результатів роботи. Отримані результати виконаного теоретичного дослідження можна використати при проектуванні, розробці та експлуатації систем автономного індивідуального водопостачання споживачів невеликої потужності в умовах південних регіонів нашої країни. Застосування проведених досліджень на етапі проектування створює умови високої конкурентоздатності та економічної ефективності розроблених систем водопостачання за допомогою енергії Сонця, а також покращує екологічні та соціальні умови в районах з браком постачання води.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 24-25 листопада 2022 р. (м. Тернопіль).

Публікації.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Імітаційна модель автономної сонячної електростанції». Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24–25 лист. 2022) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2022.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (37 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини: 92 сторінка, 16 таблиць, 30 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Перспективи використання сонячного випромінювання

За масштабами ресурсів, екологічною чистотою й найбільшою розповсюдженістю серед поновлюваних джерел енергії найперспективнішим є сонячне випромінювання [8]. При можливості використання тільки менше 1% сонячного випромінювання, яке попадає на земну поверхню, дозволило б компенсувати світові енергетичні потреби в енергії з урахуванням майбутньої 100-ї перспективи. Істотною завадою для широкого використання енергії Сонця є дуже мала територіальна інтенсивність сонячної радіації. Якщо брати до уваги найсприятливіші умови, то густина потоку сонячної радіації складає не більше 250 Вт/м^2 . Завадою є також змінне нерівномірне надходження сонячного випромінювання: уночі воно взагалі відсутнє, а при появі хмари його потужність зменшується в декілька раз. За таких умов не можна сподіватися на стабільну генерацію електричної енергії, необхідно розробляти нові технологічні процеси з орієнтацією на відповідність особливостям і можливостям приймачів сонячної енергії. Варто врахувати, що сонячна енергетика використовує найбільш затратні види матеріалів для перетворення енергії.

Аналіз літературних джерел свідчить, що сонячна енергетика має доволі довгу історію [9]. На початку XVII століття у Франції було представлено перший двигун на сонячній енергії, суть роботи якого ґрунтувалася на нагріванні повітря для перекачування води. Наприкінці цього ж століття відомий французький хімік А. Лавуазьє продемонстрував вперше сонячну піч, у якій зміг отримати температуру майже $1700 \text{ }^\circ\text{C}$ та нагрівав у ній дослідні зразки матеріалів у захисній атмосфері і вакуумі.

Для дистиляції води і приведення в рух насосів французький інженер Андре Мушо в 1867 р. спорудив і використав в Алжирі декілька великих сонячних, а на Всесвітній виставці в Парижі в 1877 р. він презентував розроблену ним сонячну піч для готування їжі, у якій пів кілограма м'яса можна було приготувати за двадцять хвилин. Повітряний двигун з сонячним параболоїдним циліндричним концентратором розміром $5 \times 3,3 \text{ м}$ у 1879 р. було будовано в Америці інженером Д. Еріксоном, а перший плоский колектор сонячної енергії був представлений французом Ш. Тельером. Цей колектор площею 20 м^2 приводив в рух в тепловий аміачний двигун. В 1885 р. було продемонстровано роботу схеми сонячної установки із плоским колектором, яка використовувалася для водопостачання, який встановили на даху житлового будинку.

Американський інженер Ч. Уілсоном у 1871 р. в Чилі вперше представив доволі потужну сонячну установку для дистиляції води, яка експлуатувалася більше тридцяти років для доставки питної води від природнього джерела.

Варто також згадати процес плавлення металів сонячною енергією продемонстрований ще в 1890 р. московським професором Володимиром Цераським за допомогою сфальцьованого параболоїдного дзеркала, робоча температура якого у фокусі становила більше 3000 °С.

Сонячні термо- і фотогенератори, установки з фотохімічного і фотосинтетичного перетворення сонячної енергії стали важливим доповненням до уже розроблених енергетичних установок з тепловими процесами, які безпосередньо перетворюють енергію Сонця в електричну і що детально відображено в дослідженнях багатьох вчених [9, 10].

1.2 Характеристики сонячної енергії і варіанти її застосування

Земля є складовою нашої планетної системи, центром якої є Сонце, що представляє собою велику газову кулю діаметром біля 1,5 млн. км і складається з атомів водню та невеликої кількості гелію і додаткових елементів. Його загальна маса рівна $2 \cdot 10^{30}$ кг, температура – біля 6000 К, загальний випромінюваний потік енергії в космічний простір рівний $3,8 \cdot 10^{26}$ Вт, джерелом якої є термоядерний процес перетворення водню в гелій - $4 \cdot 10^6$ тон маси випромінювання Сонця щосекунди перетворюється в енергію [11].

Спектр сонячного випромінювання охоплює довжину хвиль від 10^{-10} м і до метрових радіохвиль. Якщо брати до уваги енергетичне використання сонячної енергії, то практичне значення мають хвилі довжиною від 300 нм до 2500 нм, а це становить біля 98% всієї випромінюваної на поверхню Землі енергії. Зокрема, сонячна енергія попадає на земну поверхню і його атмосферу зі стабільною потужністю $4 \cdot 10^{17}$ Вт, а загальна річна сума сонячного випромінювання становить $1,5 \cdot 10^{10}$ кВт/год, а для сучасних річних потреб населенню нашої планети потрібно $100 \cdot 10^{12}$ Вт/год на рік. Якщо зробити порівняння, то побачимо, що попадання на Землю сонячної енергії перевищує необхідні на даний час потреби майже в 15000 раз. Щоб задовольнити людство в енергетичних потребах, наприклад для 5% коефіцієнта корисної дії, достатньо буде перетворення сонячної енергії на 0,15% поверхні нашої планети.

За межами земної атмосфери інтенсивність сонячної радіації рівна біля 1350 Вт/м^2 , а при сприятливих умовах на поверхню планети через атмосферу попадає біля 1000 Вт/м^2 . Тому через відбиття від земної поверхні, забруднення атмосфери та прямого розсіювання випромінювання в хмарах спостерігаємо явище дифузійного випромінювання (рис. 1.1).

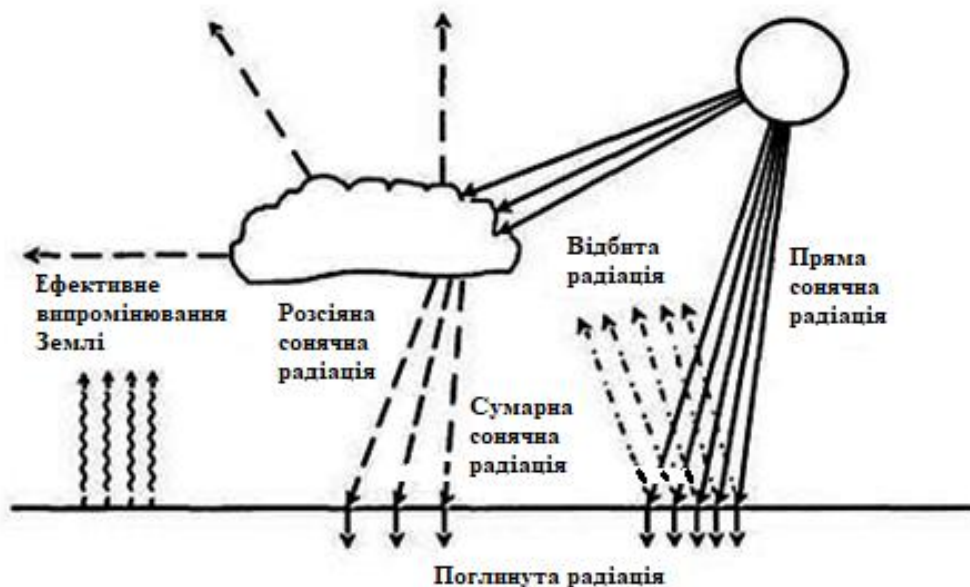


Рисунок 1.1 – Дифузійне випромінювання

Головним джерелом енергії атмосферних явищ є сонячне випромінювання, яке змінюється на протязі доби і всього року, тобто має прямий зв'язок із зміною висоти Сонячного диску над горизонтом та денної тривалості.

Відомо, кут падіння сонячних променів або його висота залежать від географічної широти місцевості, а також положення нашої планети відносно світила в певний момент її добового і річного руху. Оскільки Україна знаходиться у помірному поясі освітленості середніх широт, то полуднева висота Сонячного диску завжди менша від 90° і кожної доби спостерігаємо зміну дня і ночі. Варто зазначити, що тривалість дня має значні зміни під час календарного року, а також і висота Сонця, тому в Україні ми спостерігаємо чітко вираження пір року.

Південна частина України має більше річної сонячної радіації у порівнянні з північною, так як полуднева висота Сонячного диску на півдні кожен день вища за північну. Більшу частину сонячного випромінювання отримуємо з травня по вересень, тобто під час більшої тривалості сонячного випромінювання. З поверхні Сонця до Землі безпосередньо попадає пряме сонячне випромінювання у вигляді променів і частина розсіяного випромінювання, що розсіюється в атмосфері під дією водяної пари, пилу, газів і хмар. Пряме і розсіяне випромінювання, яке попадає на земну поверхню, становить сумарну сонячну радіацію, яка розподіляється на земній поверхні не зовсім зонально, так як її попадання залежить від таких чинників, як хмарність і прозорість атмосфери. Відповідно, західні регіони нашої держави, де є більше хмарних днів, отримують на протязі року менше сумарного сонячного випромінювання у порівнянні зі східними регіонами на відповідних широтах. Загальна річна кількість сумарного сонячного випромінювання в межах нашої держави може змінюватися у північно-

західних районах і північно-східних від 3500 МДж/м² і 4000 МДж/м² відповідно до 5200 МДж/м² в південній частині Криму [12].

Відомо, що частина сонячного випромінювання відбивається від земної поверхні, а деяка частина поглинається і вона виступає характеристикою надходження теплової енергії на поверхню Землі. Внаслідок поглинання й розсіювання пилом, аерозолями та молекулами газів потужність сонячного випромінювання спадає при проходженні через земну атмосферу, а деяка частина цієї енергії відбивається в космічний простір. Ця частина відбитої енергії залежить від того, на яку поверхню вона попадає. Наприклад, для сухого чорнозему вона становить 0,15, для обробленого поля 0,25...0,36, для снігового покриву - 0,5...0,8, а для поверхні води - 0,3...0,8 в залежності від кута падіння сонячного випромінювання. Відповідно густина теплового потоку є різною на різних земних широтах, а також певні пори року й часу доби. Наприклад, у центральній європейській частині вона становить 140 - 220 Вт/м², а у північній європейській частині - 90 - 140 Вт/м² [13].

Інтенсивність або потужність, з якою попадає на певну площу земної поверхні є основним параметром сонячного випромінювання, який є різним в різних регіонах планети. Відомо, що максимальна інтенсивність сонячного випромінювання на Землі становить вище 1300 Вт/м², але при вимірюваннях для зручності застосовують стандартизовану величину на рівні 1 Вт/м².

Для різних умов на рис. 1.2 приведено графік спектрального розподілу інтенсивності сонячної радіації [14]. Для характеристики цього графіку використано термін АМ (Air Mass - повітряної маси): наприклад, повітряна маса АМ 0 - це спектральний склад випромінювання сонячної радіації за межами земної атмосфери; АМ 1 - випромінювання на земній поверхні Землі, коли Сонце перебуває чітко над точкою спостереження (після проходження променів світла крізь атмосферу; АМ 1,5 - є стандартним значенням при вимірюваннях і відповідній величині сонячної радіації, яка пройшла значення 1,5 атмосфери.

Атмосферне поглинання. Біля 20% сонячного випромінювання, яке попадає на Землю, згідно усереднених оцінок для всіх широт і всіх пір року поглинається атмосферою. У верхніх шарах земної атмосфери ультрафіолетова радіація поглинається зазвичай озоном і киснем, а в нижніх шарах - червоне і інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі більше 630 нм поглинається в більшості випадків водяною парою і трохи менше вуглекислим газом [8].

Поверхнєве земне поглинання. Біля 35% випромінюваної у верхню частину атмосфери прямого сонячного випромінювання відбивається в космічний простір, а біля 50% проходить через атмосферу Землі і поглинається її поверхнею. В табл. 1.1 приведено зміну кількості поглинутої земною поверхнею енергії в залежності від широти, яка виражена через середньорічну кількість енергії, що поглинається на

протязі доби горизонтальною поверхнею площею 1 м². Різниця між середньорічною кількістю сонячного випромінювання у верхніх границях атмосфери протягом доби і випромінювання, що попало на поверхню Землі при відсутності хмар на різних широтах, відображає його втрати під дією певних атмосферних факторів без врахування хмарності. За підрахунками втрати в загальному складають десь більше 30% від сукупної сонячної радіації [15].

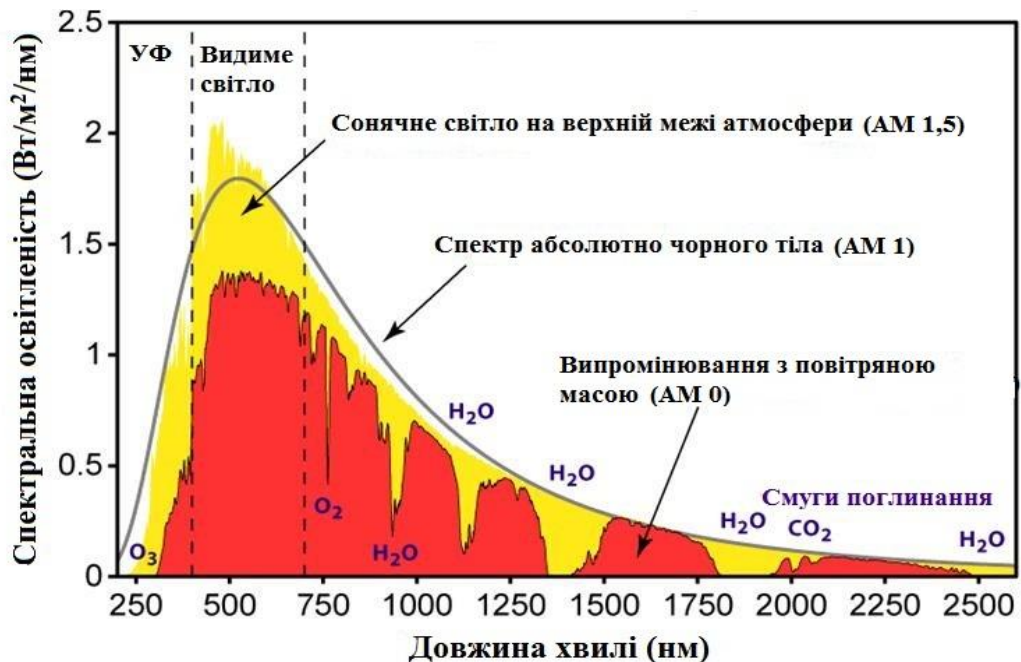


Рисунок 1.2 – Атмосферний вплив на розподіл сонячної радіації

Різниця між часом сонячного випромінювання до верхньої межі земної атмосфери і її попаданням на поверхню Землі при середній хмарності виникає внаслідок втрат випромінювання в атмосфері та має суттєву залежність від географічної широти, зокрема 53% на екваторі, 42% - на 30° с.ш. і 58% - на 60° с.ш. Це є прямим результатом кількісної зміни хмарної погоди з широтою. Внаслідок особливостей циркуляції атмосфери у Північній частині планети хмарність є мінімальною на широті 30°. Варто зазначити, що хмарність має доволі суттєвий вплив, в результаті якого максимум енергії доходить до земної поверхні в субтропічних широтах, а не на екваторі [15].

Різниця між величиною випромінювання, яке попадає на поверхню Землі, і величиною поглинутого випромінювання виникає внаслідок альбедо, тобто відношення відбитого потоку випромінювання до загального потоку на земну поверхню, який є досить великим у вищих широтах й пояснюється значною відбивною характеристикою поверхні снігу і криги.

Із загальної кількості енергії Сонця, що використовується в системі «Земля – атмосфера», менше 30% поглинається безпосередньо атмосферою, а базову долю енергії атмосфера отримує за рахунок відбитої від поверхні Землі. Найбільше енергії Сонця отримують райони, які знаходяться в низьких широтах.

Таблиця 1.1 - Середньорічна величина сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню в Північній частині (Вт/м² протягом доби)

Широта	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Рівень випромінювання на зовнішній межі атмосфери	404	398	381	353	318	274	221	193	176	168
Рівень випромінювання на земній поверхні при яснім	271	268	261	247	222	192	155	132	117	107
Рівень випромінювання на земній поверхні при середній х	195	204	215	209	172	132	98	77	71	73
Поглинуте земною поверхнею	182	188	192	186	154	118	89	65	46	32

1.3 Сонячна радіація на земній поверхні

Відстань між Сонцем і Землею на протязі року не є постійною, оскільки Земля обертається навколо Сонця за еліптичною орбітою (рис. 1.3). Земля є трохи сплюснutoю на полюсах кулею, яка має середній радіус 6380 км. Різниця між радіусами на екваторі і півночі рівна 21 км, а загальна поверхня Землі складає 510100935 км². Найменша відстань від Землі до Сонця припадає на 2 січня, а найбільша – на 4 липня, вісь обертання нашої планети має нахил 66,5°, який є постійним за весь період обертання Землі навколо Сонця і цей факт впливає на зміни пір року [11].

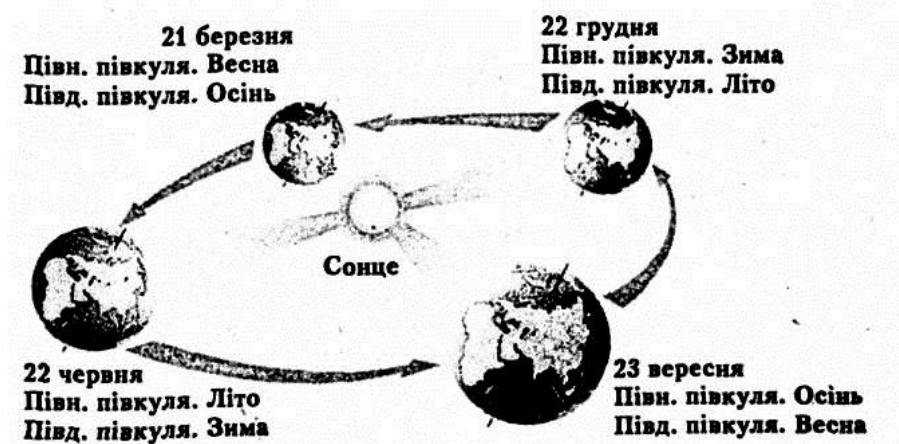


Рисунок 1.3 - Рух Землі навколо Сонця

Величина сонячної постійної є значно меншою за сонячну радіацію, яка падає на земну поверхню (рис. 1.4).

Ця радіація збільшується від нуля перед сходом Сонця при чистому небі до максимуму опівдні, а потім спадає до нуля після заходу Сонця. На зазначені зміни

має додатковий вплив залежність від величини прозорості атмосфери, величини й типу хмарності, з якими пов'язане поглинання й розсіювання певної частини сонячної радіації [9].

Сонячне випромінювання зазнає послаблення через поглинання й розсіювання його атмосферними газами й аерозолями, коли проходить через атмосферу Землі. Це супроводжується зміною спектру сонячного випромінювання, який можна розділити на три основні області (рис. 1.5):

- 9 % інтенсивність: ультрафіолетове випромінювання ($X < 0,4$ мкм);
- 45 % інтенсивність: видиме випромінювання ($0,4$ мкм $< X < 0,7$ мкм);
- 46 % інтенсивність: інфрачервоне випромінювання ($X > 0,7$ мкм).

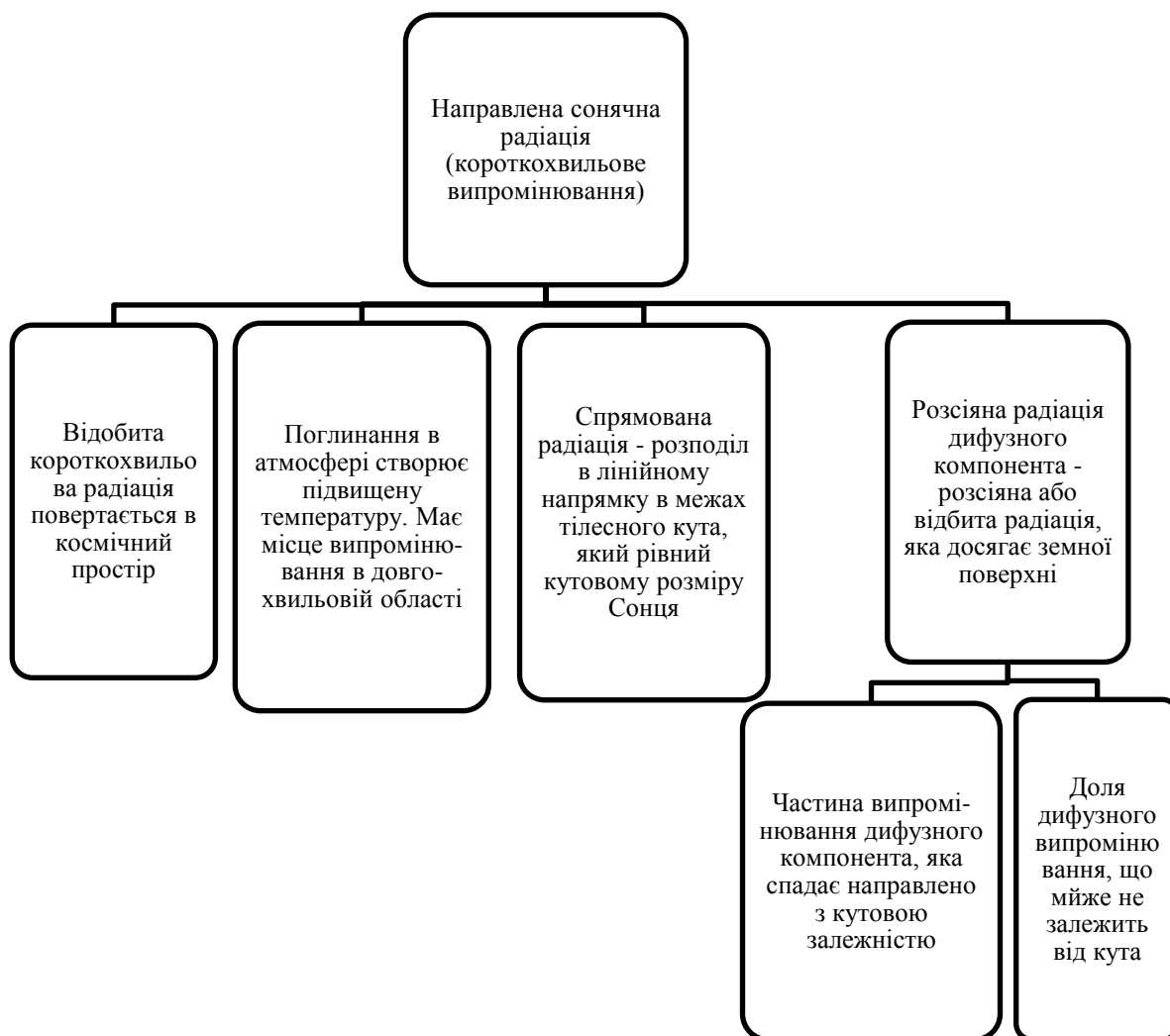


Рисунок 1.4 - Етапи проходження сонячної радіації крізь атмосферу

Ці три області є складовою частиною короткохвильового випромінювання. Довжина шляху сонячного проміння в атмосфері є різною в залежності від різної висоти Сонця над поверхнею Землі, а це впливає на зміну спектра сонячного випромінювання (рис. 1.2).

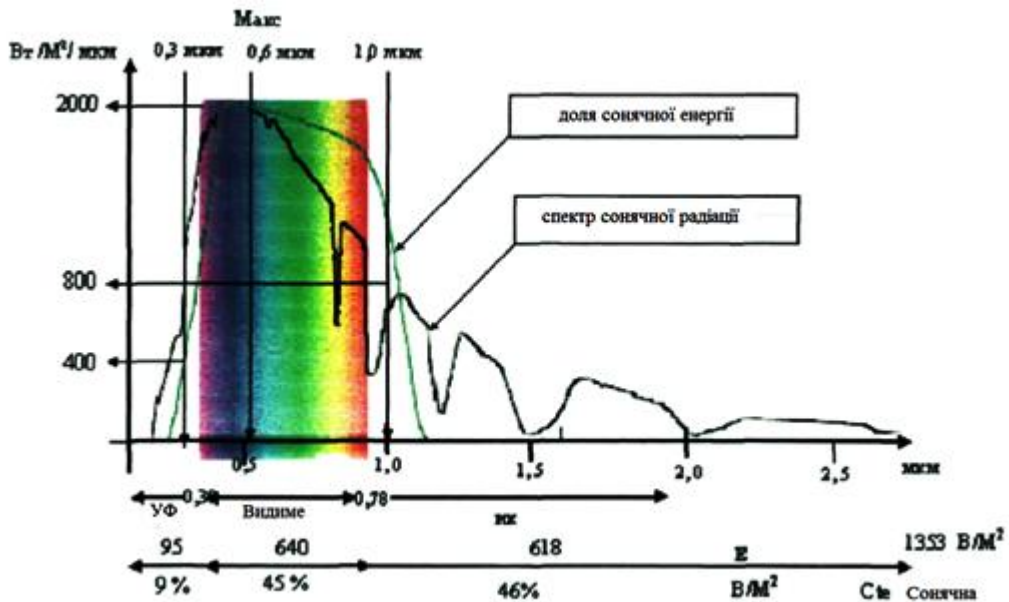


Рисунок 1.5 - Інтенсивність сонячного випромінювання за спектром

1.4 Принцип перетворення сонячного випромінювання

Якщо представити отримання енергії в найбільш доступній формі, то фотоелектричний спосіб перетворення енергії Сонця є найбільш надійним, довговічним та екологічно чистим і також може бути використаний з метою покращення екологічної обстановки за місцем застосування, а в майбутньому - здійснювати регулювання умов екології на великих територіях (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Можливості використання сонячної енергії в побуті і на виробництві

На даний час в фізичній основі фотоелектричного перетворення енергії Сонця використовують фотовольтаїчний ефект напівпровідників, хоча є та впроваджуються і інші (їх ще називають прямими) методи перетворення сонячного

випромінювання в електричну енергію, з яких можна виділити термоелектричний, термофотоелектричний, фотоелектрохімічний, але вони не знайшли широкого застосування в практичній діяльності [9, 10, 17].

Найбільш розповсюдженим і доволі перспективним видом застосування прямого перетворення енергії Сонця в електричну є водопостачальних установок з підземних джерел, живленням якої здійснюється від сонячної батареї. В країнах з сухим кліматом, особливо в тих, що розвиваються і є проблеми електропостачання, водопостачання, дороге зрошення сільськогосподарських ділянок земель, згадані установки отримують досить широке застосування. Як правило, такі ділянки бувають на значних відстанях від центрального енергопостачання і використання автономного електропостачання є одним із шляхів виходу з такого становища. Варто відмітити, що і колись, і сьогодні в якості автономних джерел енергії в більшості випадків використовуються дизельні генератори, а в останні часи їм на зміну почали приходити фотоелектричні сонячні установки малої потужності [17].

Водопостачальні установки з підземних джерел, які використовують живлення від фотоелектричних установок, отримали назву сонячних водопостачальних установок. Вони мають суттєву перевагу над дизельними електроустановками як за об'ємом так і за вартістю піднятої води за певний період часу, чи отриманої з глибоких колодязів, чи з низько розміщених водосховищ [18].

Над питанням підвищення ефективності сонячних водопостачальних установок наукові дослідження проводяться у багатьох країнах. Оскільки ККД цих установок поки що є не дуже високим і собівартість електричної енергії, отриманої від сонячних батарей є доволі високою, то здійснюється дослідження за багатьма напрямками щодо зменшення собівартості такої електричної енергії, і одним з цих напрямків розглядається впровадження концентраторів сонячної радіації в фотоелектричних системах [9].

Найближчим часом світові бренди в галузі сонячних елементів планують знизити вартість електричної енергії, отриманої від цих елементів до 1 дол. США за 1 Вт. У табл. 1.2 приведено відомості про ціну 1 кВт потужності для різних електростанцій, які мають потужність 1 МВт (на кінець 2021 р.)

Зараз можна спостерігати за швидкими темпами зниження ціни фотоелектричних перетворювачів енергії Сонця і вони продовжуються. Електрична енергія, яку ми отримуємо із сонячного випромінювання за допомогою фотоелектричних модулів, уже в наш час починає конкурувати за ціною з роздрібними цінами на електричну енергію в багатьох розвинутих країнах світу.

Ціна сонячної електричної енергії в країнах, які активно впроваджують сонячну енергетику, уже майже рівна ціні електричної енергії "з розетки". Уже зараз, за прогнозами аналітиків, зростає кількість країн, які знаходяться в межах умовного мережевого паритету, а це дозволяє в майбутньому

знижувати вартість на обладнання для фотоелектричних системи і зменшувати ціну отриманої електрики. Аналітики також прогнозують, що до кінця 20-х років буде побудовано новітні сонячні електричні станції сумарною потужністю 800 ГВт, а щорічний прибуток від продажу отриманої сонячної електроенергії може перевищити \$300 млрд.

Таблиця 1.2 - Ціна 1 кВт для різних електростанцій потужністю 1 МВт (2021 р.)

Тип станцій	Вартість 1 кВт (\$ США)
ТЕС	2000 - 3000
АЕС	4900
ГЕС	990
ПЕС	3450
ВЕС	1510
ГеоТЕС	1990
СЕС	3500

Відомо, Америка і країни Азіатсько-тихоокеанського регіону найбільш активно розвивають сонячну енергетику на даний час, оскільки вони уже зараз досягли мережевого паритету та мають доволі великий потенціал для підвищення цього енергетичного сегменту.

Згідно відомостей Європейської асоціації фотоелектричної промисловості сумарна потужність всіх задіяних у світі фотоелектричних систем у 2020 році збільшилася на 63 ГВт і досягає зараз межі в 200 ГВт. Наприклад, в Італії ці системи генерують більше 10% від всієї споживаної електричної енергії, у Німеччині - 9%, у Греції - 8%, а в таких країнах як Болгарія, Чехія, Бельгія та Іспанія - по 6%.

Згідно інформаційних даних Міжнародного енергетичного агентства електроенергія, що виробляється фотоелектричними системами, уже сьогодні є дешевшою за роздрібні ціни на електричну енергію в таких країнах як Італія, Іспанія, Данія, Австралія та Німеччина.

Уряд України ще в листопаді 2014 року прийняв рішення щодо зниження на 27% "зелених тарифів" для наземних фотоелектричних систем, для дахових та фасадних установок (потужність вище 100 кВт) - на 22%, для дахових та фасадних установок (потужність менше 100 кВт) - на 16%. Але це не зупинило закордонні та українські компанії – вони і надалі будують сонячні електричні станції. На даний час вкладені суми інвестицій в розвиток сектору сонячної енергетики уже перевищили 600 млн. євро, а сумарна встановлена потужність сонячних електричних станцій виросла майже до 1 ГВт [19].

Сьогодні в Україні здійснюється реалізація більше 200 проектів сонячних електричних станцій, сумарна потужність яких становить більше 2180 МВт, і в будівництві яких задіяні компанії з таких країн як Португалія, Німеччина, Франція, Австрія, Чехія, Ізраїль і українські розробники [20].

Вдалому розвитку методу фотоелектричного перетворення енергії Сонця сприяє сьогодення ситуація, яка виникла у зв'язку з розвитком космічних технологій, зростанням вимог до джерел живлення автономних споживачів малої потужності. На даний час за допомогою впровадження сонячних фотоелектричних систем можна успішно вирішити проблему водопостачання в південних сільськогосподарських районах нашої держави і застосувати їх в якості джерел енергії для систем водопостачання з підземних джерел. Промисловістю уже налагоджено випуск великої кількості варіантів сонячних енергетичних установок для нерухомих систем, систем з одноосьовим і двохосьовим спостереженням, систем на основі кремнію й арсеніду галію, систем з концентратором і без концентратора і ін. Отже, маємо актуальну проблему вибору характеристик і типів сонячних енергетичних установок, особливо для водопостачальних систем на півдні України [21].

1.5 Впровадження сонячних водопостачальних систем для потреб автономних споживачів

Водопостачальні насосні установки із живленням від сонячних батарей уже сьогодні використовуються для подачі води окремим споживачам, а також для потреб комунального водопостачання і поливу земель сільськогосподарського призначення. Сонячні водопостачальні насосні установки отримали широке впровадження в тих країнах, які мають достатній рівень сонячної енергії та великий дефіцит доступної води. Зокрема в нашій державі на даний час впроваджену достатню кількість подібних установок, які показали доволі успішну експлуатацію.

Як зазначає CDER (Центр розвитку поновлюваних енергоресурсів), першочергове застосування фотовольтаїчного перетворення сонячного випромінювання є в телекомунікаціях і децентралізованій сільській електрифікації. В недавньому минулому CDER виконав інсталяцію сонячних насосів різних типів та виконав більше 100 пілотних проектів, зокрема експериментальні дослідні станції в Марракешському Гірничому інституті, в Тата і Тароданті. І отримані в результаті цих проектів показали, що сонячні водопостачальні системи є простими в обслуговуванні, володіють надійною технологією і легкістю при експлуатації. Проведений порівняльний аналіз показало, що межа конкурентоздатності сонячних водопостачальних систем стосовно дизельної установки коливається на рівні 1300-1400 м³ піднятої протягом доби води. Тобто ця межа відповідає середньому споживанню 40 л на добу на одного мешканця населеного пункту із 1000 жителів та 40-50 м глибини підземного джерела. Враховуючи цей досвід на даний час у світі

уже використовується більше 800 сонячних водопостачальних систем потужністю від 500 Вт до 2 кВт та постачанням води від 50 до 150 м³/добу.

Підсумовуючи сказане, можна зробити висновок, що базовим енергетичним джерелом великої кількості природних процесів на нашій планеті є сонячне випромінювання. Пряме споживання тільки енергії Сонця може без проблем компенсувати загальні потреби суспільства в електричній енергії, оскільки така енергія є фактично безперебійним і постійним джерелом енергії, потрапляє на всю територію Землі, легко попадає до будь-якого споживача і саме основне – це екологічно чисте і усім доступне джерело енергії.

Доволі перспективним напрямком електроенергетики є використання енергії Сонця, оскільки такі фактори як екологічність, відновлювальні ресурси, відсутність ремонтних витрат (сонячні модулі можуть експлуатуватися до 30 років), а також зниження ціни відносно класичних методів одержання електричної енергії формують важливі переваги сонячних перетворювачів енергії. Вони потребують мінімального ремонту, так як в них відсутні механічні рухомі частини, вони виконані в герметичному корпусі, володіють екологічністю і безшумністю під генерації електричної енергії.

Як джерело енергії сонячне випромінювання має також і недоліки, зокрема його нерівномірне надходження на поверхню Землі, що можна пояснити циклами доби і сезону, а також умовами погоди .

Варто відмітити, що одним із шляхів розвитку сільськогосподарських районів Землі, які мають високе середньорічне надходження сонячної радіації, є розвиток сонячної енергетики. Це, зокрема, особливо відноситься до дуже сухих районів, які з впровадженням сонячної електроенергетики можуть стати придатними для раціонального землеробства територіями.

Отриманий багаторічний досвід переконує у перспективності і доцільності впровадження сонячної енергетики в Україні, особливо це актуально для малих автономних споживачів енергії тепла й електрики, а також фермерських господарств [22].

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Формування даних про отримане сонячне випромінювання

Нерівномірний розподіл загального потоку сонячного випромінювання на земній поверхні характеризується значною нерівномірністю, попадання енергії Сонця енергії змінюється в ритмічно в залежності від дня й ночі, пори року, а також від зміни умов погоди. Для живлення сонячних водопостачальних установок малої потужності згідно графіку навантаження встановлено сонячну батарею, необхідна площа якої для генерації визначеної потужності обчислюється величиною випромінювання. Для сонячних фотоелектричних установок в певному виробничому районі величина випромінювання визначається географічними координатами району, часом дня, пори року, орієнтацією сонячної батареї відносно напрямку сонячного випромінювання. В цьому випадку правильний вибір оптимальних характеристик сонячної енергетичної установки можна виконати на основі початкового розрахунку отриманої кількості сонячної енергії в необхідному районі.

У дипломній роботі за основу формування бази даних про отримання сонячного випромінювання ми скористалися базою даних Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору (НАСА) [23].

Інформаційна база даних НАСА. Інформація бази Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору базується на послідовному і постійному десятилітньому ряді супутникових фіксацій радіаційного стану поверхні Землі для ділянок 300x300 км на протязі певного періоду, виконані за допомогою супутникових спостережень World Climate Research Program International Satellite and Cloud Climatology Program. В цій базі даних також використано метеорологічні спостереження для аналогічного часового діапазону наземної системи спостережень Goddard Earth Observationsystem.

На основі експериментальних даних про променеви баланс, використовуючи різні моделі розповсюдження сонячної радіації в атмосфері, були отримані величини сонячного випромінювання на горизонтальній площадці. Ця методика враховує характеристики кліматичних зон поверхні Землі, зокрема відбиття радіації від її поверхні, щільності хмар та врахування аерозольного забруднення атмосфери.

Перераховані методи розрахунку сонячного випромінювання було оброблено із врахуванням даних вимірів на Землі. Отримані величини обсягів сонячного випромінювання пройшли нелінійну інтерполяцію для географічної сітки земної кулі розміром $1^\circ \times 1^\circ$.

Розрахунок сонячного випромінювання. Розглянемо інформація щодо методів розрахунку обсягів сонячного випромінювання, а також його прямої і дифузійної радіації на похилі поверхні, які використовуються при формуванні

бази даних Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору. У якості початкових даних беруть середньомісячні дані про обсяги випромінювання на горизонтальну площину. Для розрахунку випромінювання на похилих поверхнях необхідна детальніша інформація про пряму й дифузійну радіацію з їх часовим розподілом. Послідовність методики такого розрахунку представлено на загальній блок-схемі на рис. 2.1.

Зазвичай завжди є інформація про середньомісячні величини загального сонячного випромінювання на горизонтальну площину. Дифузійне сонячне випромінювання на горизонтальну площину виконують наступними методами:

- за допомогою методу Ербса;
- за допомогою розширеного методу Пейджа.

Згадані методи використовуються для широт до 55° і коефіцієнтів атмосферної прозорості $0,4 < 1c < 0,9$ з різницею отриманих результатів в межах 15 %. При північній або південній широті вище 67° розширений метод Пейджа не застосовують.

Наступним кроком є розрахунок середньомісячного значення сумарного сонячного випромінювання на похилу площину з використанням таких методів:

- ізотропний розподіл дифузійної радіації (RETScreen);
- неізотропний розподіл дифузійної радіації (Перез/Ербс);
- неізотропний розподіл дифузійної радіації (Перез/Пейдж).

Перший і другий методи беруть за основу середньомісячні величини дифузійної сонячної радіації по методу Ербса, а третій метод базується на основі методу Пейджа.

Дальше ми виконуємо операцію переходу від середньомісячних показників до часових з використанням коефіцієнтів, які передбачають використання методу:

- Колларес-Перейра для сумарного сонячного випромінювання;
- Джордана для дифузійного сонячного випромінювання.

В результаті на підставі часових показників розраховують сумарне сонячне випромінювання на похилу площину перерахованими методами і звичайним підсумовуванням отримуємо середньомісячні показники (рис. 2.2 і 2.3).

Як повідомляють самі розробники бази даних, використані ними методи розрахунку сонячної сонячного випромінювання дозволяють отримати результати з різницею між ними в межах 12-15% для літньої пори року при куті нахилу приймача, рівним заданій широті. Розходження можуть перевищувати цю межу тільки в зимовий період на широтах вище 40° . Це є надзвичайно важливим, так як дозволяє отримати характеристику очікуваний рівня похибок параметрів в базі даних. Також у кваліфікаційній роботі виконано окремо аналіз похибок, які можуть мати місце на території України.

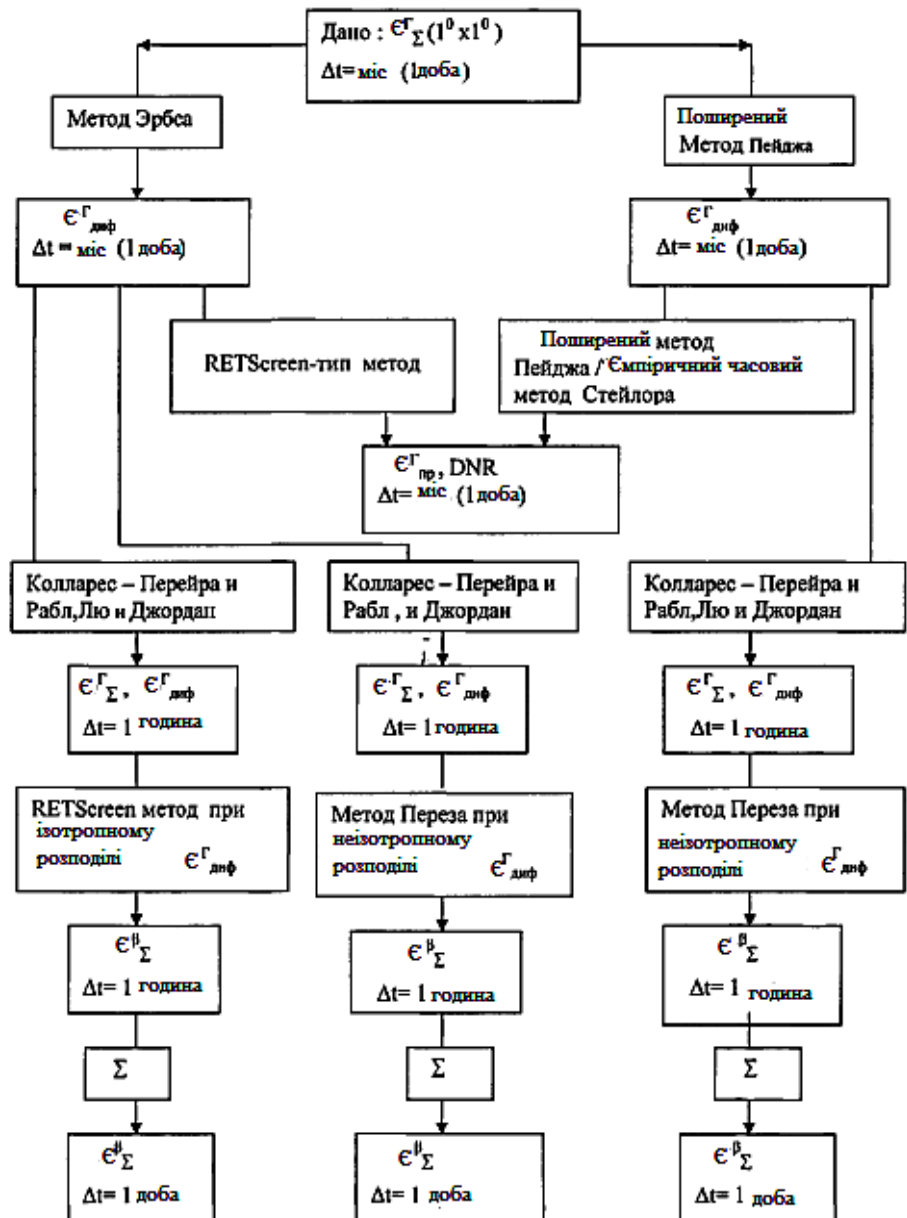


Рисунок 2.1 – Методика розрахунку сонячного випромінювання

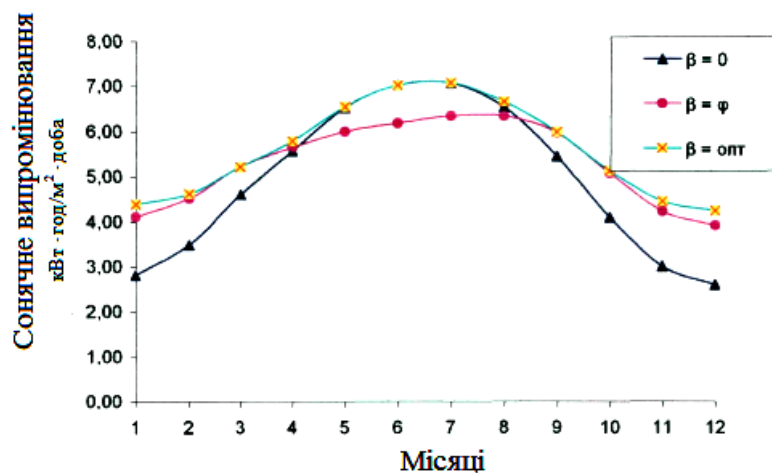


Рисунок 2.2 – Розрахунок сонячного випромінювання на різні поверхні згідно методики НАСА

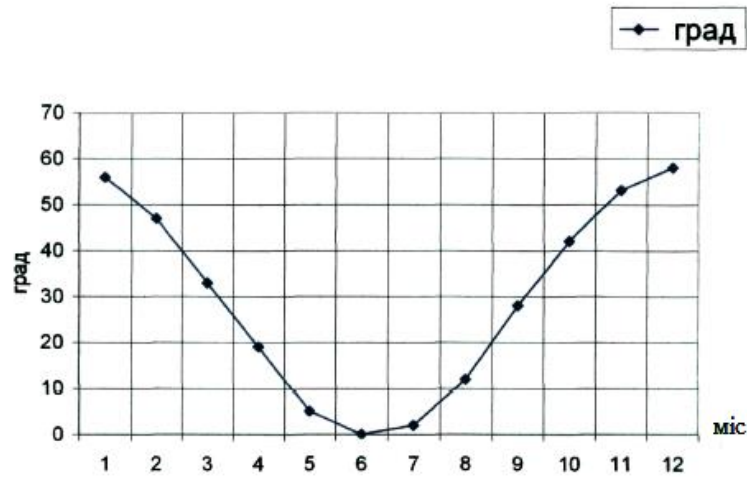


Рисунок 2.3 – *Оптимальний кут нахилу сонячної батареї*

Розрахунок прямого і дифузійного сонячного випромінювання на похилих поверхнях. Вирази для знаходження середньомісячного дифузійного сонячного випромінювання на горизонтальну площадку є наступними.

1) *Метод Ербса*

$$(R_{\text{ДИФ}}^{\Gamma} / R_{\Sigma}^{\Gamma}) = 1,391 - 3,569K + 4,189K^2 - 2,137K^3, \quad (2.1)$$

де R_{Σ}^{Γ} - значення сумарного сонячного випромінювання на горизонтальну площину;

$R_{\text{ДИФ}}^{\Gamma}$ - значення дифузійного сонячного випромінювання на горизонтальну площину;

$$(R_{\text{ДИФ}}^{\Gamma} / R_{\Sigma}^{\Gamma}) = 1,311 - 3,022K + 3,427K^2 - 1,821K^3, \quad (2.2)$$

$K = (R_{\text{ДИФ}}^{\Gamma} / R_{\text{O}}^{\Gamma})$ - значення коефіцієнта прозорості ($0,3 \leq K \leq 0$).

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan g(\varphi) \cdot \text{tg}(\delta)]. \quad (2.3)$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin[6,303 \cdot \{(284 + n)/365\}], \quad (2.4)$$

де δ - кут нахилу Сонця;

n - порядковий день року.

2) *Метод Пейджса (розширений)*

$$(R_{\text{ДИФ}}^{\Gamma} / R_{\Sigma}^{\Gamma}) = [a + (b \cdot k)]; \quad (2.5)$$

де a і b – розрахункові коефіцієнти [23].

Для обліку сезонних змін у цей вираз вводять 3-й член – Макданіелса і Вігнола:

$$(R_{ДИФ}^{\Gamma} / R_{\Sigma}^{\Gamma}) = [a + (b \cdot k) + (c \cdot \sin(2\pi(n - 40)/365))], \quad (2.6)$$

де n - порядковий день року;

c - значення максимальної амплітуди процесу дисперсійного аналізу.

Розрахунок середньомісячного сумарного сонячного випромінювання на похилу площину виконують за наступними методами:

1) *RETScreen метод*:

$$R_{\Sigma}^{\beta} h = \text{пряме СВ} + \text{дифузійне СВ} + \text{відбите СВ},$$

де $R_{\Sigma}^{\beta} h$ - часове загальне сонячне випромінювання на похилу площину:

$$R_{\Sigma h}^{\beta} = (R_{\Sigma h}^{\Gamma} - R_{ДИФ h}^{\Gamma}) R_{bh} + R_{ДИФ h}^{\Gamma} \left[\frac{1 + \cos \beta_h}{2} \right] + R_{\Sigma h}^{\Gamma} \cdot \rho_s \left[\frac{1 - \cos \beta_h}{2} \right], \quad (2.7)$$

де $R_{ДИФ h}^{\Gamma}$ - часове загальне дифузійне сонячне випромінювання на горизонтальну площадку;

β_h - погодинне нахилення приймача щодо горизонтальної поверхні. Це значення є постійним для фіксовано встановленої площадки приймача при вертикальній системі спостереження по двох осях;

ρ_s - значення альбедо (становить 0,2 при температурі вище 0°C і 0,7 при температурі нижче -5°C). Якщо значення температури знаходяться в цьому інтервалі, то застосовують лінійну інтерполяцію:

$$R_{bh} = \cos \theta_h / \cos \theta_{Zh} \quad (2.8)$$

$$\cos \theta_{Zh} = \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos \omega + \sin(\varphi) \sin(\delta) \quad (2.9)$$

$$\cos \theta_{Zh} = \cos \theta_{Zh} \cos \beta_h + (1 - \cos \theta_{Zh})(1 - \cos \beta_h)(\cos(\gamma_{Sh} - \gamma_h)) \quad (2.10)$$

де $\gamma_{Sh} = \sin^{-1} \left[(\sin \omega \cos(\delta)) / \sin \theta_{Zh} \right]$ - значення погодинного сонячного азимуту;

γ_h - значення погодинного азимуту нахиленої поверхні (γ_h є постійним для стабільних площин та $\gamma_h = \gamma_{Sh}$ - для вертикальних площин і систем слідування за двома осями (рис. 2.4). В інших системах спостереження користуються довідниковими даними з [24];

2) *Метод Переза/Пейджса*:

$$R_{\Sigma h}^{\beta} = (R_{\Sigma h}^{\Gamma} - R_{ДИФ h}^{\Gamma}) R_{bh} + R_{ДИФ h}^{\Gamma} \left[(1 - F_{1h})(1 + \cos \beta_h) / 2 + F_{1h}(a_h / b_h) + F_{2h} \sin \beta_h \right] + \quad (2.11)$$

$$+ R_{\Sigma h}^{\Gamma} \cdot \rho_s \left[(1 - \cos \beta_h) / 2 \right],$$

$$A = 0,409 + 0,5016 \sin[\omega_S - (\pi/3)] \quad (2.22)$$

$$B = 0,6609 + 0,4767 \sin[\omega_S - (\pi/3)] \quad (2.23)$$

- за методом Джордана:

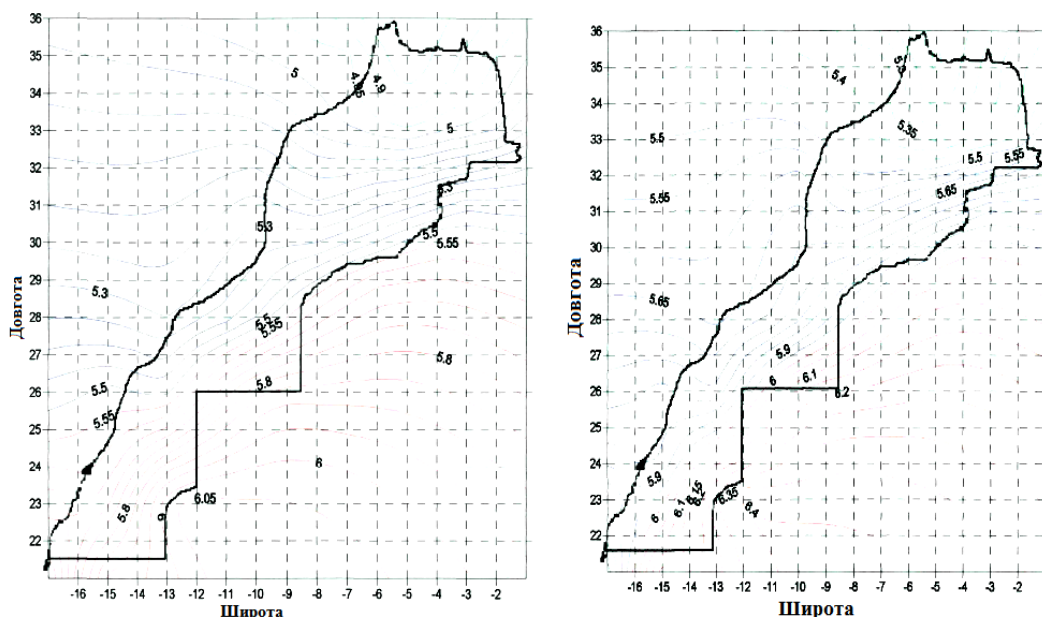
$$r_d = (\pi/24)[(\cos \omega - \cos \omega_S)/(\sin \omega_S - \omega_S \cos \omega_S)]. \quad (2.24)$$

Аналіз інформаційних даних картографії. Для практичної можливості побудови карт сонячного випромінювання використовують аналіз інформації бази даних Національного управління з авіації та космонавтики і дослідження космічного простору про загальне сонячне випромінювання на горизонтальну й похилу площини, включаючи і територію України з географічним кроком сітки $1^0 \times 1^0$ по широті й довготі [25]. В картографічному вигляді подають такі дані:

- загальне сонячне випромінювання на горизонтальну площину;
- загальне сонячне випромінювання на похилу площину (для кутів $\beta = \varphi$ і $\beta = \text{опт}$).

На рис. 2.5 показано карту річного загального сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню, з яких бачимо, що південь отримує найбільше сонячної радіації в добу (більше $5,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2 \cdot \text{добу}$), на решті території середньорічний обсяг сонячної радіації становить $4,8 - 4,95 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2 \cdot \text{добу}$

Аналіз випромінювання показує, що при розгляді середньорічних загального сонячного випромінювання на нерухомі південні поверхні орієнтації оптимальним для кожної географічної території є кут нахилу до горизонту. Оскільки південь України знаходиться в помірному кліматичному поясі з малою кількістю хмарних днів, то він отримує на протязі цілого року рівномірну кількість сонячного випромінювання від $4,0$ до $4,95$ (рис. 2.5, б).



а) під кутом $\beta = 0$

б) під кутом $\beta = \varphi$

Рисунок 2.5 - Середньорічне сонячне випромінювання на площину

Приведені дослідження свідчать про те, що на півдні території України є досить можливостей щодо використання енергії Сонця при правильному виборі кута нахилу прийомних поверхонь, оскільки це має суттєвий вплив на середнє отримання сонячної радіації.

Отримані володіють надзвичайним практичним значенням, так як вони представляють повну якісну і кількісну інформацію при отримання сонячного випромінювання на горизонтальну й похилу поверхні, що в свою чергу можна використати для ефективної оцінки впровадження сонячних установок в умовах півдня України.

Ці дані відкривають шлях для розробки атласу ресурсів сонячного випромінювання для південної території України. Середній річний обсяг сонячної енергії на території нашої держави становить $1200 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ у рік, тобто можемо визначити річну величину валового потенціалу енергії за формулою:

$$E_{\text{вал}} = \sum_{i=1}^n R_i^{\text{сop}} \cdot F_i [\text{кВт} \cdot \text{год}], \quad (2.25)$$

де $R_i^{\text{сop}}$ - середньорічний показник сонячної радіації в i -й зоні України;

F_i - площа i -ї зони, яка визначається за формулою:

$$F_i = \iint_{\varphi\psi} f(\varphi, \psi) \partial\varphi \partial\psi. \quad (2.26)$$

Загальна величина валового потенціалу, яка попадає на горизонтальну площу території України, рівна:

$$E_{\text{вал}}^{\text{гор}} = 1300 \cdot 10^{12} \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2 \cdot \text{рік}.$$

$$E_{\text{вал.р.}}^{\text{гор}} = 3,57 \cdot E_{\text{вал}}^{\text{гор}} = 4641 \cdot 10^{12} \text{ МДж}/\text{м}^2 \cdot \text{рік}.$$

Технічні можливості функціонування сонячної енергетики для території України згідно наявних даних $E_{\text{вал}}^{\text{гор}}$ і технічного параметру $C_{\Phi EY}$ можна визначити за формулою:

$$E_{\text{tex}} = K_{\text{np}} \sum_{j=1}^{12} E_{\text{tex } j}^{\text{сop}}, \quad (3.27)$$

де K_{np} можна знайти за формулою [26]:

$$K_{\text{np}} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \pi/180 \cdot \omega_s \cdot \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \pi/180 \cdot \omega_s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta}, \quad (2.28)$$

де ω_s - величина часового кута заходу Сонця на горизонтальній площині:

$$\omega_s = \arccos(-\text{tg} \varphi \cdot \text{tg} \delta); \quad (2.29)$$

$E_{\text{tex}}^{\text{сop}}$ - місячні показники технічного потенціалу енергії Сонця на горизонтальну площину, які можна визначити за формулою:

$$\epsilon_{TEHj}^{2op} = \epsilon_{ВАЛ}^{2op} \cdot K_F \cdot \tau \eta_{CC} \eta_N, \quad (2.30)$$

де $\epsilon_{ВАЛj}^{2op}$ - загальна величина валового потенціалу в рік;

$\tau = 0,85$ - значення коефіцієнта світлового пропускання захисного покриття сонячних модулів;

K_F - значення коефіцієнта затінення площі сонячної батареї (1%);

η_{CC} - коефіцієнт плоских сонячних модулів з монокристалічного кремнію;

η_N - сумарний коефіцієнт корисної дії перетворення й передачі енергії від сонячної установки до споживача і визначається за формулою:

$$\eta_N = k_{зан} \cdot \eta_u \cdot \eta_e, \quad (2.31)$$

де $k_{зан} = 0,99$; $\eta_u = 0,95$; $\eta_e = 0,97$.

Отже, враховуючи отримані вихідні дані, будемо мати наступні показники:

$$\epsilon_{ТЕХ}^{гори} = 161 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}; \quad \epsilon_{ТЕХ} = 145 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}.$$

2.2 Похибки методів при розрахунку параметрів сонячного випромінювання

Розрахунок загального сонячного випромінювання у базі даних Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору здійснюють трьома методами: RETScreen, Perez/Пейдж і Perez/Ербс. Було розраховано похибку методів Perez/Пейдж і Perez/Ербс відносно методу RETScreen даних Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору для території України з кроком сітки $1^\circ \times 1^\circ$ для однорічного періоду, результати яких приведені на рис. 2.1 - 2.10.

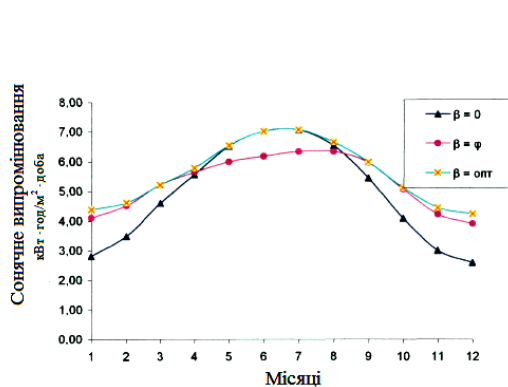


Рисунок 2.1 - Сонячне випромінювання на різні поверхні

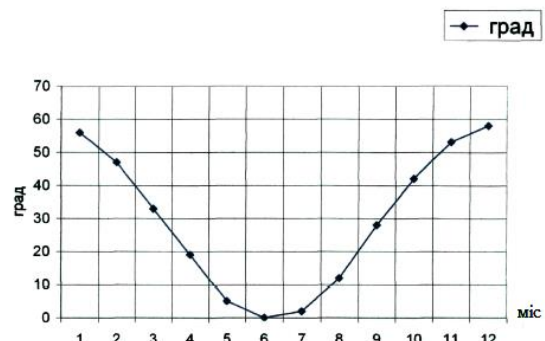


Рисунок 2.2 - Оптимальний кут нахилу сонячної батареї

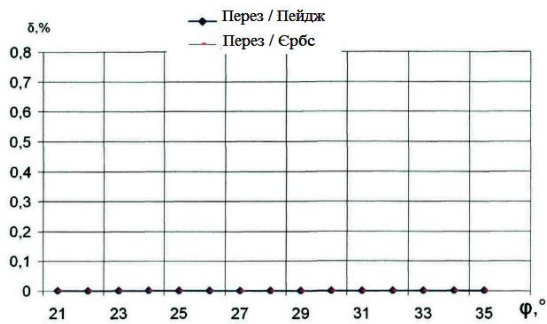


Рисунок 2.3 - Середнє значення похибок розрахунку сонячного випромінювання на горизонтальну площадку по широті

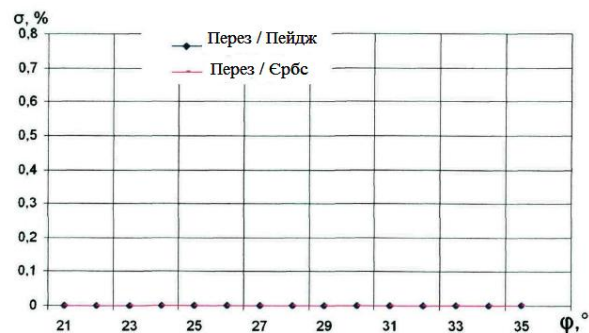


Рисунок 2.4 - Стандартне відхилення похибок розрахунку сонячного випромінювання на горизонтальну площадку по широті

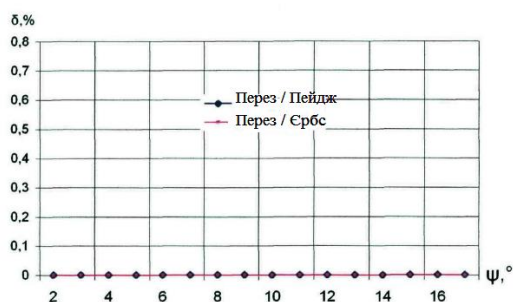


Рисунок 2.5 - Середнє значення похибок розрахунку сонячного випромінювання на горизонтальну площадку по довготі

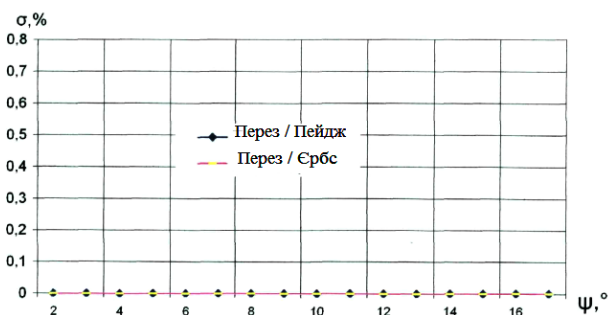


Рисунок 2.6 - Стандартне відхилення похибок розрахунку сонячного випромінювання на горизонтальну площадку по довготі

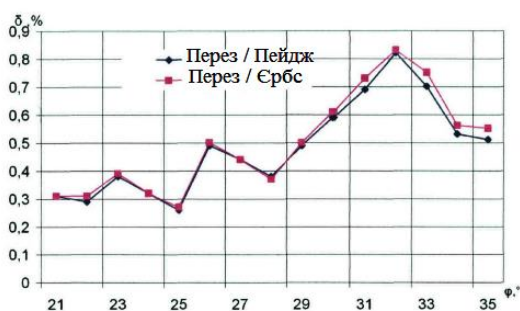


Рисунок 2.7 - Середнє значення похибок розрахунку сонячного випромінювання на похилу площадку $\beta=\varphi$ по широті

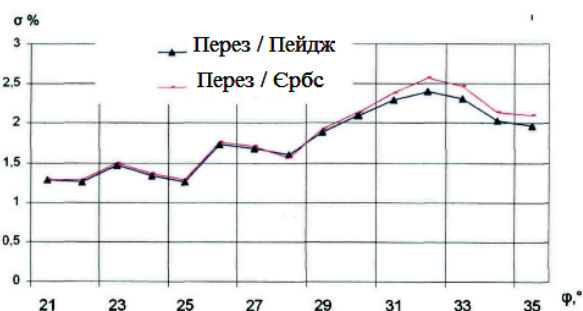


Рисунок 2.8 - Стандартне відхилення похибок розрахунку сонячного випромінювання на похилу площадку $\beta=\varphi$ по широті

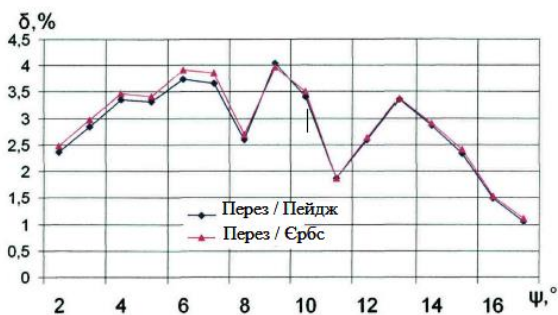


Рисунок 2.9 - Середнє значення похибок розрахунку сонячного випромінювання на похилу площадку $\beta=\varphi$ по довготі

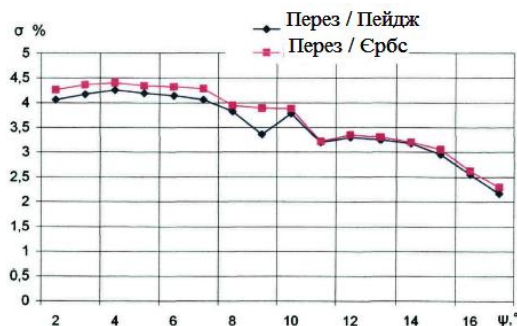


Рисунок 2.10 - Стандартне відхилення похибок розрахунку сонячного випромінювання на похилу площадку $\beta=\varphi$ по довготі

Згідно цих даних було проведено по широті й довготі розрахунки:

- середньої похибки (середнє арифметичне);
- стандартного відхилення.

Для проведення розрахунків були використані наступні формули:

$$\delta = \frac{\epsilon_{\sum}^{mic} (\text{Перез} / \text{Пейдж}; \text{Перез} / \text{Єрбс}) - \epsilon_{\sum}^{mic} (\text{RETSscreen})}{\epsilon_{\sum}^{mic} (\text{RETSscreen})}. \quad (2.32)$$

$$\bar{\delta}_{шир} = \frac{\sum_{-1}^{-17} \delta}{93}. \quad (2.33)$$

$$\bar{\delta}_{довж} = \frac{\sum_{21}^{36} \delta}{15}. \quad (2.34)$$

$$\bar{\sigma}_{шир} = \sqrt{\frac{93 \sum_{-1}^{-17} \delta^2 - (\sum_{-1}^{-17} \delta)^2}{93(93-1)}}. \quad (2.35)$$

$$\bar{\sigma}_{довж} = \sqrt{\frac{15 \sum_{21}^{36} \delta^2 - (\sum_{21}^{36} \delta)^2}{15(15-1)}}. \quad (2.36)$$

Результати розрахунків в якості прикладу представлено в табл. 2.1, інші результати представлено в табл. 2.2 - 2.12).

Таблиця 2.1 - Похибка розрахунку сумарного сонячного випромінювання на різні орієнтовані площі методами бази НАСА по широті для однорічного періоду

φ ⁰	β = 0				β = φ				β = орт			
	П/П(RETS)		П/Е(RETS)		П/П(RETS)		П/Е(RETS)		П/П(RETS)		П/Е(RETS)	
	δ	σ	δ	σ	δ	σ	δ	σ	δ	σ	δ	σ
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	1,97	0,55	2,10	0,49	1,88	0,53	2,01
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	2,03	0,56	2,14	0,52	1,97	0,54	2,07
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	2,31	0,75	2,46	0,71	2,34	0,74	2,43
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	2,40	0,83	2,57	0,88	2,70	0,85	2,61
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	2,29	0,73	2,38	0,74	2,42	0,75	2,47
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	2,1	0,61	2,14	0,65	2,29	0,65	2,28
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	1,89	0,50	1,92	0,54	2,08	0,54	2,05
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	1,60	0,37	1,56	0,42	1,77	0,43	1,79
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	1,68	0,44	1,7	0,52	1,98	0,49	1,97
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	1,73	0,50	1,76	0,58	2,05	0,56	2,04
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,26	0,27	1,29	0,32	1,53	0,32	1,52
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	1,33	0,32	1,36	0,38	1,63	0,39	1,66
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	1,47	0,39	1,49	0,49	1,86	0,48	1,85
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	1,26	0,31	1,28	0,38	1,63	0,39	1,66
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	1,29	0,31	1,29	0,42	1,77	0,42	1,79

Таблиця 2.12 - Похибка розрахунку сумарного сонячного випромінювання на різні орієнтовані площі методами НАСА по широті для однорічного періоду

φ^0	$\beta = 0$				$\beta = \varphi$				$\beta = \text{орт}$			
	П/П(RETS)		П/Є(RETS)		П/П(RETS)		П/Є(RETS)		П/П(RETS)		П/Є(RETS)	
	δ	σ	δ	σ	δ	σ	δ	σ	δ	σ	δ	σ
-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,36	4,06	2,48	4,26	2,41	4,16	2,46	4,22
-3	0,00	0,00	0,00	0,00	2,85	4,17	2,98	4,36	2,89	4,26	2,99	4,39
-4	0,00	0,00	0,00	0,00	3,35	4,25	3,47	4,40	3,44	4,39	3,48	4,42
-5	0,00	0,00	0,00	0,00	3,31	4,19	3,42	4,34	3,38	4,31	3,41	4,33
-6	0,00	0,00	0,00	0,00	3,74	4,14	3,90	4,32	3,87	4,29	3,98	4,41
-7	0,00	0,00	0,00	0,00	3,67	4,06	3,86	4,28	3,79	4,21	3,91	4,32
-8	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	3,82	2,69	3,94	2,8	4,10	2,79	4,08
-9	0,00	0,00	0,00	0,00	4,04	3,36	3,97	3,89	4,42	4,28	4,34	4,20
-10	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42	3,78	3,5	3,88	3,82	4,22	3,74	4,18
-11	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	3,20	1,87	3,22	2,14	3,68	2,11	3,63
-12	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	3,30	2,64	3,35	3,12	3,95	3,10	3,94
-13	0,00	0,00	0,00	0,00	3,35	3,25	3,38	3,30	4,2	4,08	4,10	3,98
-14	0,00	0,00	0,00	0,00	2,86	3,17	2,89	3,20	3,53	3,90	3,50	3,88
-15	0,00	0,00	0,00	0,00	2,32	2,95	2,40	3,05	2,87	3,67	2,92	3,70
-16	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48	2,55	1,53	2,62	1,78	3,07	1,89	3,25
-17	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	2,16	1,11	2,29	1,37	2,86	1,48	3,10

Дослідження похибок розрахунку загального сонячного випромінювання на горизонтальну площу при $\beta = 0$ за методами баз даних НАСА

Середні величини та стандартні відхилення похибок отриманого загального сонячного випромінювання по широті на горизонтальну площадку показано на рис. 2.3 і 2.4. На отриманих графіках можна побачити, що згадані раніше три методи мають майже подібні значення, тобто для річних показників середнє і стандартне відхилення похибок (δ і σ) знаходяться в межах нуля, що можна побачити в табл. 2.1. Також бачимо, що на всьому діапазоні широт майже відсутня різниця між методами Perez/Пейдж, Perez/Єрбс і RETScreen.

Середні величини та стандартні відхилення похибок отриманого загального сонячного випромінювання по довготі на горизонтальну площадку показано на рис. 2.5 і 2.6. В цьому випадку теж на всьому діапазоні широт бачимо відсутню різницю між методами Perez/Пейдж, Perez/Єрбс і RETScreen.

Дослідження похибок розрахунку загального сонячного випромінювання на горизонтальну площу при $\beta = \varphi$ за методами баз даних НАСА

Було проведено аналіз рисунків 2.7 і 2.8, на яких приведено графіки середніх показників і стандартного відхилення по широті на похилу площу. На графіках що $\beta = \varphi$, яке є середнім значенням похибок для методу Perez/Єрбс і Perez/Пейдж, при збільшенні широти також збільшується. Аналіз засвідчує, що стандартне відхилення також збільшується, але при цьому всі параметри знаходяться у межах нормального діапазону. Отже, можна констатувати, що параметри методу Perez/Єрбс і Perez/Пейдж однакові з параметрами методу RETScreen.

Було проведено аналіз рисунків 2.9 і 2.10, на яких приведено графіки середніх показників і стандартного відхилення по довготі на похилу площу при $\beta = \varphi$. З графіків видно, що параметри середніх похибок й стандартне відхилення знаходяться у межах нормального діапазону.

Використовуючи методи бази даних НАСА, виконаємо аналіз рисунків 2.6, 2.7, 2.8 і 2.9 для проведення дослідження похибок розрахунку загального сонячного випромінювання на похилу площину при $\beta = \text{опт}$. На цих рисунках представлено графіки середніх значень та стандартного відхилення по широті довготі на похилу площину при $\beta = \text{опт}$. З отриманих результатів бачимо, що характер графіків подібний до залежності отримання загального сонячного випромінювання на горизонтальну площину.

На основі проведеного вище аналізу можна зробити наступний висновок. Бачимо, що застосовані методи RETScreen і Perez/Єрбс/Perez/Пейдж дають доволі подібні результати, а отримані дані розрахунку отримання загального сонячного випромінювання на горизонтальну та похилу площі можна вважати однаковими.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Характеристика структури водоспоживання

При проведенні розрахунку системи водопостачання беруть до уваги одним із важливих параметрів, а саме середньодобову водозабезпеченість ($V_{\text{срдоба}}$ ($\text{м}^3/\text{доба}$)), і обов'язково враховують тип водоспоживання з його добовим графіком.

Для деяких сільськогосподарських районів проблема з водопостачанням є надзвичайно актуальною і для обґрунтування її структури потрібно врахувати місцеві аспекти автономного споживача. Відомо, що в деяких південних віддалених районах України є автономні індивідуальні споживачі, які готові використовувати водопідйомну установку на сонячній основі. Подача води є функцією часу і залежить від інтенсивності сонячної радіації на протязі дня, місяця і року, а також від гідрогеологічних умов та від потреб споживача у воді (рис. 3.1).

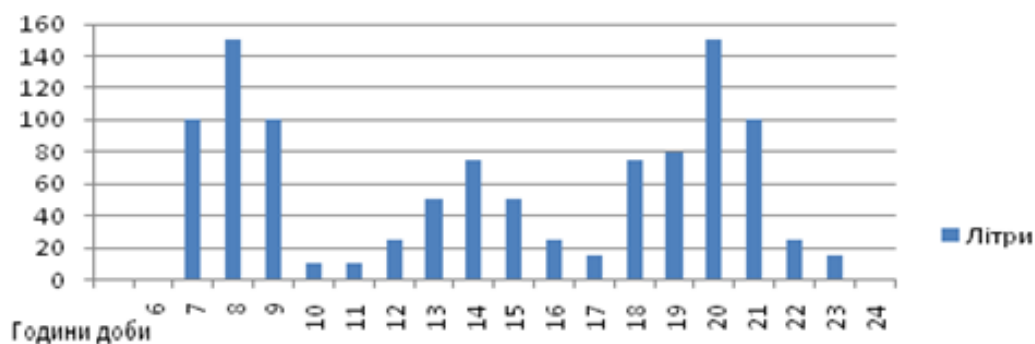


Рисунок 3.1 - Умовний графік добового водоспоживання

Будемо вважати, що комунальні потреби є постійними і відповідають максимальним й мінімальним параметрам відповідно для теплої і прохолодної пори року, які суттєво залежать від інтенсивності сонячної радіації і їх необхідно приймати у якості змінної величини. Проаналізувавши графік на рис. 3.1 та приймаючи до уваги певний запас загальний об'єм добового водоспоживання буде коливатися в межах $V_{\text{доба}} = 1,05 \text{ м}^3/\text{доба}$.

3.2 Вибір та обґрунтування функціональної схеми

Функціональну схему автономної системи водопостачання можна представити як сонячну фотоелектричну установку типу *електродвигун-насос*. При її дослідженні потрібно вибрати найбільш економічний варіант системи водопостачання, у якій електричний насос буде піднімає воду з підземного джерела трубопроводом у накопичувальний резервуар. Так як згідно рис. 3.1 водоспоживання для потреб споживача складає $1,05 \text{ м}^3/\text{добу}$, то ємність

накопичувального резервуара повинна становити 4,2 м³, що дозволить забезпечити необхідний запас води. У випадку випадання дощів протягом декількох днів подачу води насосом можна припинити, а для забезпечення необхідного тиску накопичувальний резервуар необхідно розмістити на висоті 6 м над землею.

Вибору функціональної схеми підключення сонячної електричної установки до споживача і схеми використання отриманої сонячної енергії надається першочергове значення, оскільки від цього залежить ефективна робота вибраної системи водопостачання. Початковими даними при виборі таких схем є достатня кількість води для споживача, яку піднімають із свердловини деякої глибини протягом сонячного дня з мінімальними витратами електричної енергії установкою піднімання води. Будемо вважати, що тривалість сонячного дня рівна приблизно 10 годин на добу у літню пору та розглянемо декілька варіантів функціональних схем сонячних електричних установок піднімання води.

1) *Варіант з електричним насосом (рис. 3.2).*

Особливість даної системи полягає у багатоступінчатому перетворенні енергії на шляху від сонячної батареї до споживача і потужність сонячної батареї можна визначити за допомогою рівняння балансу енергії:

$$P_{CB} \cdot \tau \cdot \eta_{AB}^{зар} = \frac{P_{ED} \cdot \tau_{сум}}{\eta_{инв} \cdot \eta_{AB}^{раз}}, \quad (3.1)$$

$$P_{ED} = \frac{V \cdot \rho \cdot H \cdot g}{\tau_{сум} \cdot \eta_{ED} \cdot \eta_H}, \quad (3.2)$$

де τ - середня тривалість сонячного дня на протязі місяця;

$\eta_{AB}^{зар}$ - коефіцієнт корисної дії акумуляторної батареї при зарядці;

P_{ED} - потужність електричного двигуна;

$\tau_{сум}$ - час роботи установки протягом доби;

$\eta_{инв}$ - коефіцієнт корисної дії інвертора;

$\eta_{AB}^{раз}$ - при розряді акумуляторної батареї при розрядці;

ρ - значення щільності води;

g - значення прискорення вільного падіння;

$\eta_{ED} \cdot \eta_H$ - коефіцієнт корисної дії електричного двигуна і насоса.

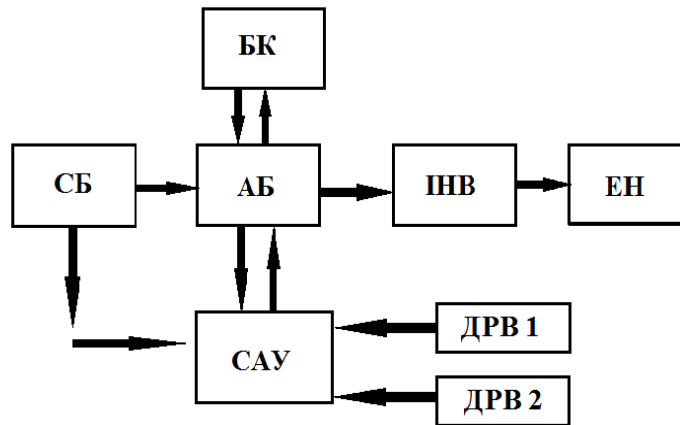


Рисунок 3.2 - Варіант № 1 функціональної схеми:

СБ – сонячна батарея; БК - блок контролю напруги акумулятора; АБ - акумуляторна батарея; ІНВ – інвертор напівпровідниковий; ДРВ 1 і ДРВ2 – датчики рівня води у верхньому резервуарі і свердловині; ЕН – електронасос

З представлених рівнянь бачимо, що без врахування витрат на власні потреби потужність сонячної установки буде рівною:

$$P_{СБ} = \frac{V \cdot \rho \cdot H \cdot g}{\tau_{сум} \cdot \eta_{ЕД} \cdot \eta_{Н} \cdot \eta_{АБ}^{зар} \cdot \eta_{інв}} \quad (3.3)$$

Згідно цієї схеми для забезпечення стабільної роботи електричного насоса потрібно скористатися спеціальним інвертором, який ми розглянемо в наступному розділі.

2) Варіант із двигуном постійного струму (рис. 3.3)

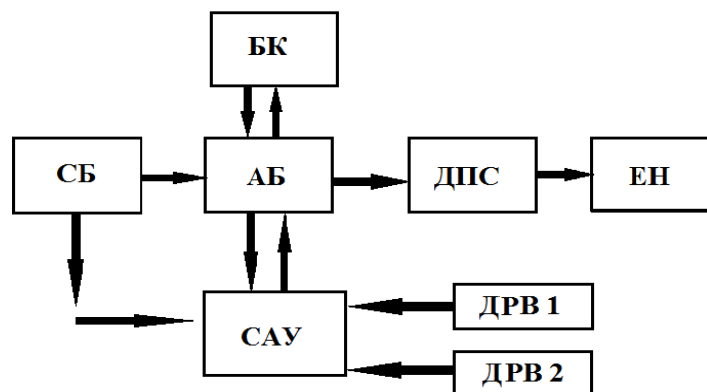


Рисунок 3.3 - Варіант № 2 функціональної схеми:

СБ – сонячна батарея; БК - блок контролю напруги акумулятора; АБ - акумуляторна батарея; ДРВ1 і ДРВ2 - датчики рівня води у верхньому резервуарі і свердловині; ДПС - двигун постійного струму насоса.

Особливість даної системи полягає у використанні двигуна постійного струму незалежного збудження, для якого потрібно вибрати напругу $U_{АБ}$. Для даної системи потужність сонячної батареї можна визначити з такого

рівняння балансу енергії:

$$P_{CB}^{CP} \cdot \tau \cdot \eta_{AB}^{зар} = \frac{P_{ED} \cdot \tau_{сум}}{\eta_{AB}^{раз}} \cdot \quad (3.4)$$

$$P_{ED} = \frac{V \cdot \rho \cdot H \cdot g}{\tau_{сум} \cdot \eta_{ED} \cdot \eta_H}, \quad (3.5)$$

де τ - середня тривалість сонячного дня на протязі місяця;

$\eta_{AB}^{зар}$ - коефіцієнт корисної дії акумуляторної батареї при зарядці;

P_{ED} - потужність електричного двигуна;

$\tau_{сум}$ - час роботи установки протягом доби;

$\eta_{AB}^{раз}$ - коефіцієнт корисної дії акумуляторної батареї при розрядці;

ρ - значення щільності води;

g - значення прискорення вільного падіння;

η_{ED}, η_H - коефіцієнт корисної дії електричного двигуна насоса.

З рівнянь 3.4 і 3.5 видно, що без врахування витрат на власні потреби потужність сонячної установки буде рівною:

$$P_{CB} = \frac{V \cdot \rho \cdot H \cdot g}{\tau_{сум} \cdot \eta_{ED} \cdot \eta_H \cdot \eta_{AB}^{зар} \cdot \eta_{AB}^{раз}} \cdot \quad (3.6)$$

3) Варіант з електронасосом без силової АБ (рис. 3.4)

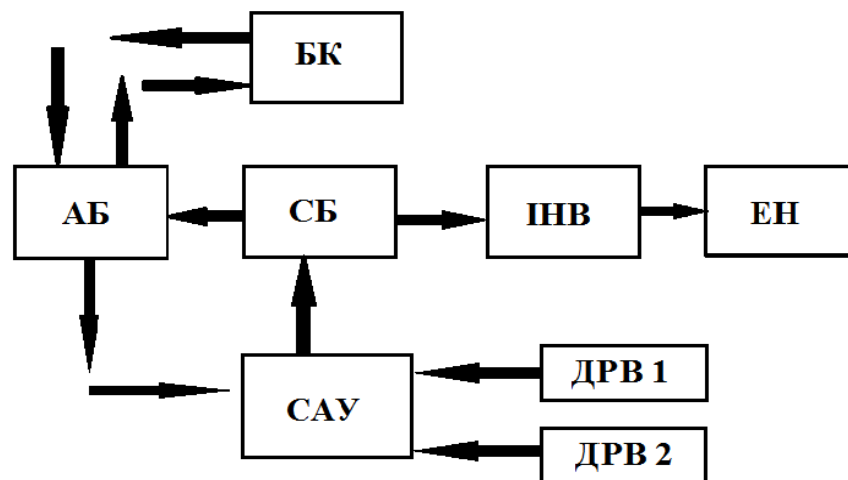


Рисунок 3.4 - Варіант № 3 функціональної схеми:

СБ - сонячна батарея; АБ – акумуляторна батарея; САУ - система автоматичного керування; БК - блок контролю напруги акумуляторів;

ІНВ - інвертор з мікропроцесором; ЕН - електродвигун насоса

Для цього варіанту середня потужність сонячної батареї буде приблизно рівна потужності, яку споживає електричний двигун, тобто:

$$P_{CB} \approx \frac{P_{ED}}{\eta_{инв}}; \quad (3.7)$$

$$P_{ED} = \frac{V \cdot \rho \cdot H \cdot g}{\tau \cdot \eta_{ED} \cdot \eta_H}, \quad (3.8)$$

де $\eta_{инв}$ - коефіцієнт корисної дії інвертора з мікропроцесором

В результаті отримаємо:

$$P_{CB} = \frac{V \cdot \rho \cdot H \cdot g}{\tau \cdot \eta_{ED} \cdot \eta_H \cdot \eta_{инв}}. \quad (3.9)$$

4) Варіант № 4 із прямим з'єднанням ДПС і СБ (рис. 3.5)

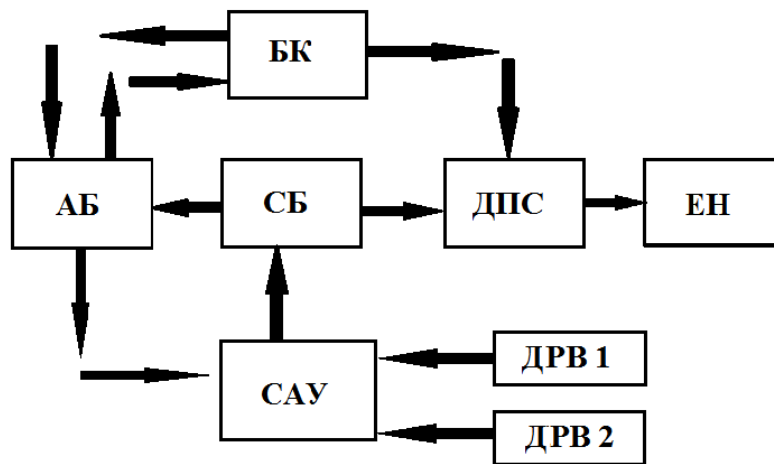


Рисунок 3.5 - Варіант № 4 функціональної схеми

Для цього варіанту середня потужність сонячної батареї буде приблизно рівна потужності, яку споживає електричний двигун, тобто:

$$P_{CB} \approx P_{ED}; \quad (3.10)$$

$$P_{ED} = \frac{V \cdot \rho \cdot H \cdot g}{\tau \cdot \eta_{ED} \cdot \eta_H}. \quad (3.11)$$

В результаті отримаємо:

$$P_{CB} = \frac{V \cdot \rho \cdot H \cdot g}{\tau \cdot \eta_{ED} \cdot \eta_H}. \quad (3.12)$$

Для цього варіанту за енергетичними показниками потрібно розрахувати узгодження параметрів двигуна постійного струму і сонячної батареї.

3.3 Дослідження режимів роботи сонячної водопостачальної системи

В попередньому розділі ми розглянули чотири можливих варіанти реалізації сонячної водопостачальної системи.

З метою побудови оптимального складу обладнання і характеристики з його експлуатації потрібно розглянути особливості режиму функціонування розглянутих варіантів. Існує декілька підходів до побудови насосних систем з живленням від сонячних електричних установок:

- за схемами, представленими на рис. 3.2 і рис. 3.3, тобто з використанням акумуляторної батареї для накопичення енергії сонячної електричної установки при її надлишку [12, 21];

- за схемами, представленими на рис. 3.4 і рис. 3.5, тобто з використанням схеми без акумуляторної батареї.

Другий підхід характеризується перевагами, коли використовують глибинні насоси відцентрового типу у парі з трифазними електричним двигунами. Така комбінація може працювати при різних напорах і об'ємах води, яка піднімається з свердловин. У таких водопостачальних системах при відсутності акумуляторних батарей для накопичення надлишкової енергії застосовують водяний накопичувальний бак (рис. 3.6).

В даному випадку об'єм накопичувального бака можна визначити за наступною формулою:

$$E = E_1 + E_2 + E_3,$$

де E_1, E_2, E_3 знаходять згідно рис. 3.6.

Коли споживачу достатньо роботи сонячної батареї при достатній кількості сонячного випромінювання, тобто не потрібно накопичувати воду або електроенергію, то для роботи вибирають простіші варіанти (№2 або №3) в залежності від типу електричного двигуна. Коли споживачу необхідна безперервна робота сонячної водопостачальної системи на протязі всієї доби, то в цьому випадку обирають варіанти з накопиченням енергії. Основні складові сонячної водопостачальної системи мають такі елементи: сонячна батарея і електричний акумулятор, електричний двигун і насос, резервуар для накопичення води.

За допомогою електричного акумулятора в денний час при надлишку отриманої електричної енергії можна її накопичувати і використовувати в ночі, ранком і ввечері, коли відсутня сонячна радіація або її недостатньо для роботи сонячної водопостачальної системи.

У водяному баку на високих відмітках можна керувати витратою води протягом певного часу і його об'єм вибирають, враховуючи необхідну кількість води, потрібної для задоволення потреб споживачів у нічний час, тобто коли не працює сонячна батарея.

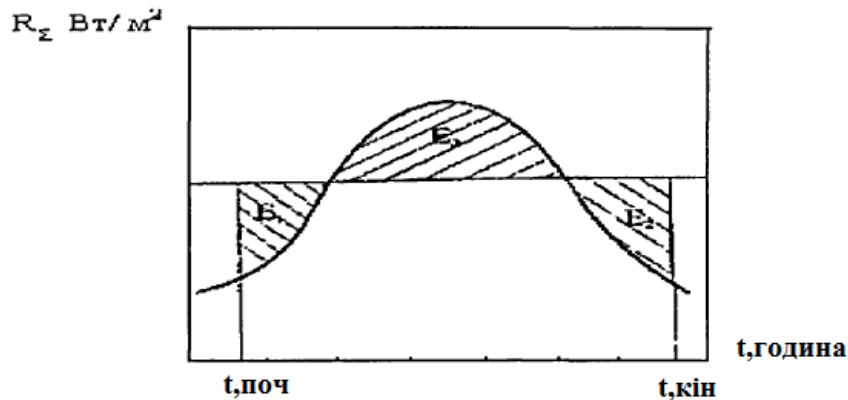


Рисунок 3.6 - Необхідна ємність накопичувального резервуару

Вироблена сонячною батареєю напруга постійного струму за допомогою інвертора напруги перетворюється на напругу змінного струму. Також інвертор забезпечує роботу сонячної батареї в режимі максимальної потужності при коливанні випромінювання при прямому підключенні електродвигуна насоса до клем сонячної батареї. При застосуванні слідкуючих систем спостереження можна визначати і підтримувати максимальне значення вихідної потужності або підключати до сонячної батареї електронні пристрої регулювання.

Розглянемо функціональну схему на рис. 3.2, до переваг якої відносяться:

- можливість функціонування безперебійної роботи електричного насоса в стандартному режимі, а зручно з енергетичної точки зору, оскільки коефіцієнт корисної дії електродвигуна та насоса будуть завжди максимальними, відповідно через інвертор буде йти майже весь енергетичний потік системи. Варто відмітити, що коефіцієнт корисної дії інвертора зазвичай характеризує загальну ефективність системи;

- забезпечення напівпровідниковим інвертором необхідної якості параметрів електричної енергії;

- постійне електропостачання споживача при використанні енергії, яка накопичується в акумуляторній батареї. Доведено, що в денний час навіть під короткочасної сильної хмарності батарея може забезпечити нормальний запуск асинхронного двигуна.

Для покращення енергетичних і перехідних характеристик сонячної електричної системи *двигун-насос* рекомендується використовувати акумуляторні батареї (варіант №1 і варіант №2) щоб накопичити енергію для роботи системи при слабкому випромінюванні або вночі, оскільки в цьому випадку не потрібно узгоджувати режим й характеристики її навантаження з вольт-амперною характеристикою сонячної установки [12].

Розглянуті схеми підключення акумуляторних батарей у водопостачальну систему мають свої нюанси, зокрема накопичення загальної енергії від сонячної установки в акумуляторі з наступним її використанням

вимагає вибору акумулятора більшої ємності але тут не потрібний бак-накопичувач взагалі або тільки малої ємності.

Розглянемо функціональну схему на рис. 3.3, де передбачена можливість підключення електродвигуна насоса напряму до акумуляторної батареї. Враховуючи потужність споживача напруга акумуляторної батареї може бути 12 В або 24 В, то тут потрібно використати спеціальний низьковольтний двигун (потужністю менше 1 кВт) з коефіцієнт корисної дії в межах від 0,6 до 0,75. Для його нормального функціонування необхідно узгодити режими роботи електродвигуна насоса і акумуляторної батареї. Зазвичай насос працює в сталому режимі і його електродвигун живиться від сонячної батареї, відповідно водопостачальна система включається тільки в денний час. В цьому випадку також паралельно сонячній батареї підключено акумулятор і система *сонячна батарея-акумуляторна батарея* стає є генератором напруги з невеликим внутрішнім опором, який можна знайти за формулою:

$$R_{AB} \cong \frac{0,2 - 0,3}{C_{AB}} \cdot n, \quad (3.13)$$

де n - кількість акумуляторних батарей.

Зазначена схема системи дозволяє:

- забезпечити нормальний запуск двигуна постійного струму;
- забезпечити роботу електричного насоса при номінальних параметрах;
- підвищити коефіцієнт використання потужності сонячної установки;
- зменшити об'єм резервуара, оскільки накопичення енергії відбувається в акумуляторах.

Є доволі багато варіантів підключення акумуляторів у сонячну електричну систему *двигун-насос* в залежності від її ємності, тривалості роботи на протязі доби та потужності електричного двигуна [27].

Використовуючи характеристики сонячних батарей, акумуляторів, двигунів насосів, провідників та опорів автоматичних пакетів було розроблено схему заміщення розглянутої системи (рис. 3.7),

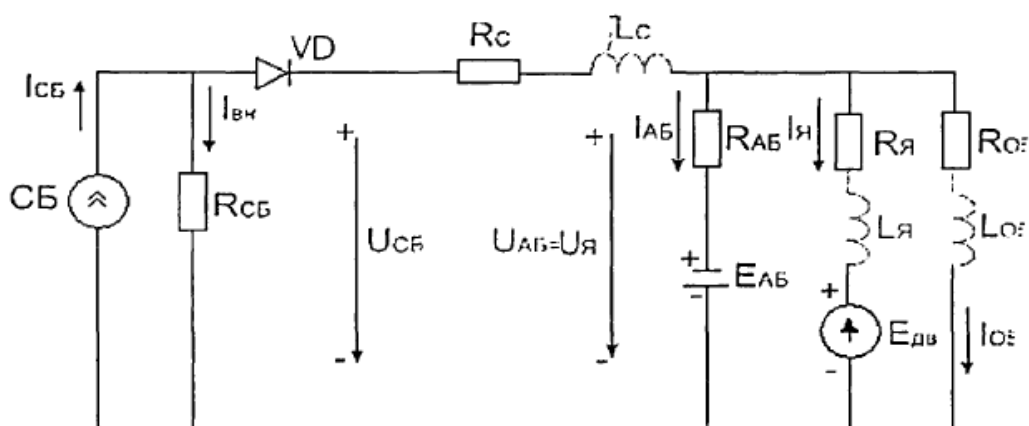


Рисунок 3.7 - *Схема заміщення системи «сонячна батарея-двигун постійного струму»*

Параметри системи «акумуляторна батарея - двигун постійного струму» можна знайти за допомогою спільного розв'язку рівнянь, для яких пускові режими двигуна постійного струму приведені на графіку (рис. 3.8):

$$K_M i_{ЯД}(t) - K_1 \omega^2 - M_{CO} = J \frac{d\omega(t)}{dt}. \quad (3.14)$$

$$(i_{Я}(t) + i_{OB}(t) + i_{AB}(t))R_C + L_C \frac{d(i_{Я}(t) + i_{OB}(t) + i_{AB}(t)))}{dt} = U_{CB}(t) - U_{AB}(t) \quad (3.15)$$

$$R_{Я} i_{Я}(t) + L_{Я} \frac{di_{Я}(t)}{dt} + K_2 i_{OB}(t) \omega(t) = E_{AB} + i_{AB}(t) \cdot R_{AB}. \quad (3.16)$$

$$i_{CB}(t) = i_{AB}(t) + i_{OB}(t) + i_{Я}(t), \quad (3.17)$$

де $R_{Я}$ - значення опору якоря двигуна;

R_{AB} - значення опору акумуляторної батареї;

R_C - значення опору комутаційного обладнання;

K_M - значення коефіцієнта електромагнітного моменту двигуна;

K_1 - значення коефіцієнта навантаження насоса;

J - значення моменту інерції;

$i_{Я}$ - величина струм якоря двигуна;

$L_{Я}$ - значення індуктивності якоря і комутаційних провідників;

$$K_2 = \frac{K_2}{i_{OB}} = \frac{C_E \Phi}{i_{OB}} - \text{значення коефіцієнта пропорційності}; \quad (3.18)$$

M_{CO} - значення статичного моменту при запуску насоса.

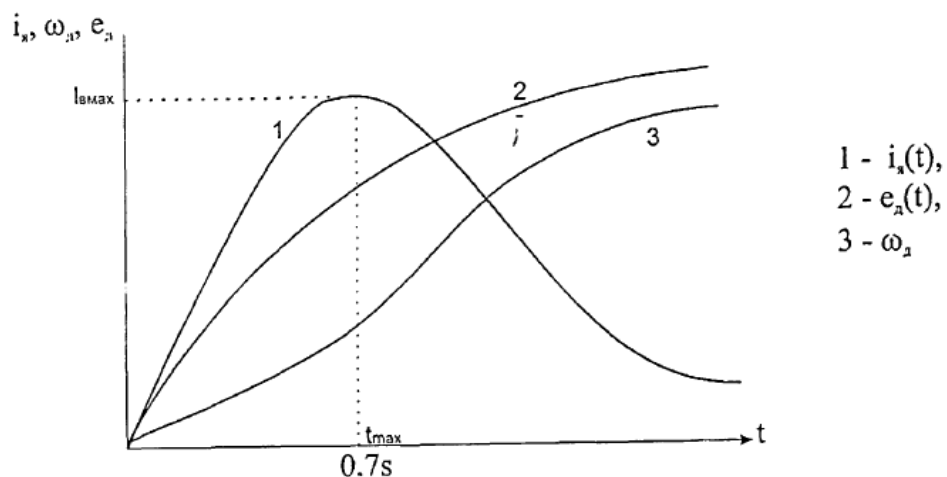


Рисунок 3.8 - Режимы пуску двигуна постійного струму

При перехідному процесі приймають $U_{AB} = const$, а це означає, що

$$i_{OB} = \frac{U_{AB}}{R_{OB}} = const. \quad (3.19)$$

При впровадженні цього варіанту в якості двигунів насосів можна використати двигуни постійного струму із незалежним збудженням, які можуть бути двигунами постійного струму зі шпунтовим збудженням із-за відсутності незалежного джерела потужності в автономній системі живлення, а також використати двигуни постійного струму із постійними висококоерцитивними магнітами. Якщо застосовують двигуни постійного струму із незалежним збудженням, то обмотку збудження потрібно підключити паралельно до якоря машини. З метою уникнення запуску двигуна з ослабленим потоком якір потрібно під'єднувати до акумулятора з деякою затримкою в часі щодо моменту під'єднання обмотки збудження (рис. 3.9).

Для двигунів з висококоерцитивними магнітами не потрібні дії щодо стабілізації потоку збудження, хоча ціна таких двигунів майже в три рази більша, а термін їх роботи є невеликим, відповідно їх не недоцільно використовувати в системах водопостачання.

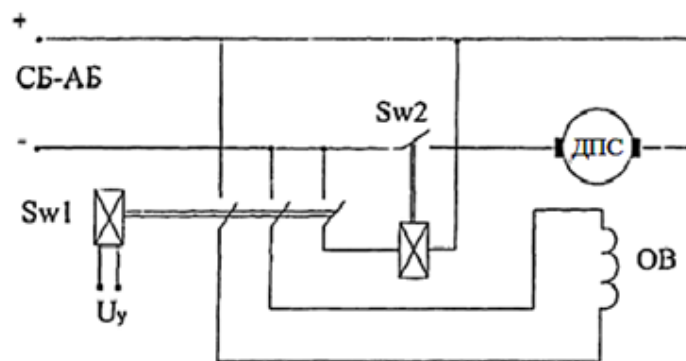


Рисунок 3.9 - Під'єднання двигуна постійного струму до джерела живлення

Значно ефективнішим і більш рентабельним буде робота електричного двигуна від акумуляторних батарей в час незначного сонячного випромінювання ($P_{СБ} < P_{ДВ}$), інакше двигун постійного струму заживлюється напряму від сонячної електричної установки. Практика показує, що застосування акумуляторної батареї в якості накопичувача енергії для живлення двигуна постійного струму дозволяє спростити роботу водопостачальної установки.

У кваліфікаційній роботі було розглянуто роботу сонячної водопостачальної установки для подачі води згідно графіку водоспоживання, приведеного на рис. 3.1. З графіка бачимо, що автономним споживачам необхідне постійне водопостачання, оскільки централізована енергосистема знаходиться на віддалі і єдиним автономним джерелом електричної енергії є сонячні батареї. Відповідно до приведеного вище аналізу необхідно забезпечити безперервну роботу сонячної водопостачальної установки на протязі доби і в цьому випадку можна обирати варіант установки з такими складовими: сонячна батарея – акумуляторна батарея – електричний насос і накопичувальний водяний бак.

3.4 Модель сонячного модуля

На рис. 3.10 представлено еквівалентну схему сонячної установки у якості джерела електричного живлення [10]. Енергія в сонячному модулі перетворюється на основі фотovoltaїчного ефекту в неоднорідних напівпровідникових структурах при дії на них сонячної радіації [28]. Тут через p - n -перехід в обох напрямках протікає струм додаткових носіїв заряду (фотоелектронів і фотодірок), а напрям основних носіїв створює перешкоду формування на переході потенційного бар'єру, тобто отримуємо електрорушійну силу в сонячному модулі. Згенерований елементом струм співпадає по напрямку з електричним полем елемента і в розімкненому колі це є напруга холостого ходу U_{xx} . Опромінення сонячного модуля викликає зниження потенційного бар'єра та збільшення дифузійних потоків основних носіїв - виникає умовний струм витоку I_{∂} через діод та струм через навантаження:

$$I_{\phi} = I_{\partial} + I, \quad (3.20)$$

$$I_{\partial} = I_0 \left[e^{\frac{qU}{KT}} - 1 \right], \quad (3.21)$$

де I_0 - величина зворотного струму насичення;

q - значення заряду електрона;

T - значення абсолютної температури;

K - значення сталої Больцмана;

U - величина напруги.

Якщо сонячний модуль під'єднати до навантаження R_H , то стабільний стан виникне при незначній напрузі U_H та струм у зовнішнього кола буде рівним:

$$I = I_{\phi} - I_{\partial} = I - I_0 \left[e^{\frac{qU}{KT}} - 1 \right]. \quad (3.22)$$

Приведене рівняння характеризує вольт-амперну характеристику ідеального сонячного елемента з p - n переходом. У дійсних сонячних елементах крім втрат струму і напрузі присутні втрати від послідовного опору фотоперетворювача, від в шунтування p - n -переході, тунельного ефекту та емісії. Щоб оцінити степінь ідентичності параметрів реального елемента з параметрами ідеального, використовують коефіцієнт A , який можна визначити експериментально і він є різним для різних фотоелементів. В результаті отримаємо рівняння:

$$I = I_{\phi} - I_0 \left[e^{\frac{q(U + IR_n)}{AKT}} - 1 \right], \quad (3.23)$$

$$U = \frac{AKT}{q} \cdot \ln \left[\frac{I_{\phi} - I}{I_0} \right] - I \cdot R_n. \quad (3.24)$$

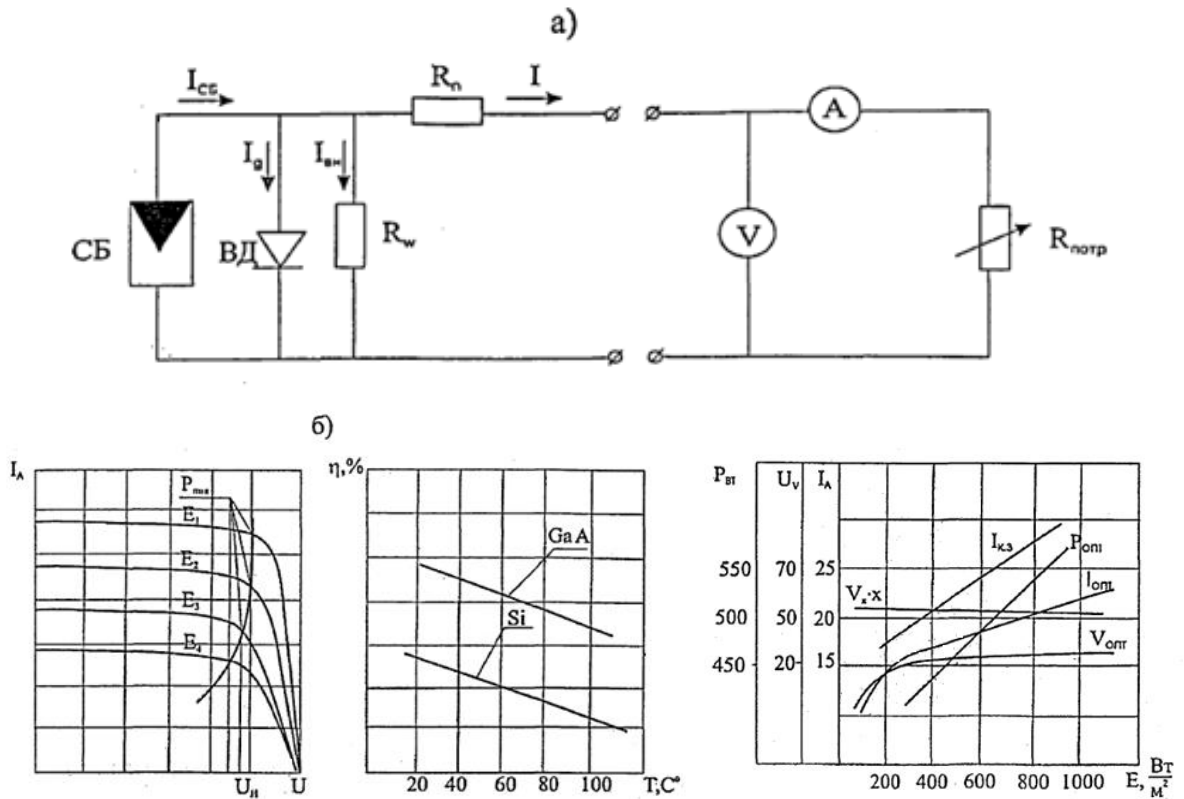


Рисунок 3.10 - Еквівалентна схема сонячної установки:

а) еквівалентна схема сонячного елемента;

б) графік залежності характеристик фотоелемента

Так як змінні A, R_n, I_0 є різні для різних типів фотоелементів, то їх знаходять експериментальним способом. Рівняння (3.23) і (3.24) дозволяють визначити вольт-амперну характеристику ідеального сонячного елемента (рис. 3.10).

Вихідну (номінальну) потужність, яку знімають з 1 см^2 сонячного елемента, характеризують таким виразом:

$$P_{НОМ} = (I_H U_H) \max = \xi \cdot I_{кз} \cdot U_{хх}, \quad (3.25)$$

де ξ - значення коеф. заповнення вольт-амперної характеристики (0,8-0,9).

Коефіцієнт корисної дії сонячного елемента зазвичай залежить від своєї температури, яка може мати великі значення при використанні систем фокусування [27] або в космосі [29], але в умовах Землі з плоскими

фотоелектричними панелями температура елемента коливається в межах від 20 до 45°, тобто мало впливає на його коефіцієнт корисної дії. Коли змінюється температура, то коефіцієнт корисної дії сонячного елемента знаходять за виразом [30]:

$$\eta = \eta_r [1 - \Delta(T_c - T_r)], \quad (3.26)$$

де T_r - значення еталонної температури сонячного елемента;

T_c - величина дійсної температури сонячного елемента;

η_r - значення еталонного коефіцієнта корисної дії сонячного елемента;

Δ - значення температурного коефіцієнта.

Графік залежності характеристик для кремнієвих й арсенід-галієвих елементів показано на рис. 3.10, б.

Сонячні батареї в наземних умовах працюють при непостійній густині випромінювання, значення і величина якого залежить від добового положення Сонця, хмарності та прозорості атмосфери. Значення зовнішньої характеристики сонячного фотоелемента та номінальної потужності значно залежать від випромінювання і внутрішніх параметрів генератора, а вплив температури фотоперетворювачів без концентратора є несуттєвим і ми його не приймаємо до уваги. Але зміна номінальної потужності виникає зазвичай за рахунок зміни струму сонячної батареї, а коливання напруги лежить у вузькій межі, яка описується такими рівняннями:

$$I = I_r \cdot \eta_i \cdot (T - T_o) \cdot \frac{E}{E_o}, \quad (3.27)$$

$$U = U_r \cdot \eta_u \cdot (T - T_o), \quad (3.28)$$

де η_i, η_u - значення температурних коефіцієнтів струму і напруги елемента.

Аналіз залежності основних характеристик сонячної установки від рівня випромінювання (рис. 4.1) показав, що з ростом інтенсивності сонячної радіації на її поверхню, лінійно зростає струм та потужність, а напруга змінюється у дуже малому діапазоні відносно зміни інтенсивності [31]. Варто зазначити, що цей закон працює лише при певних високих значеннях інтенсивності випромінювання, а при низьких значеннях ($E < 100 \text{ Вт/м}^2$) напруга може стрімко знижуватися до нуля і, відповідно, інші значення сонячної установки. Тому при прямому під'єднанні сонячної установки до споживача як правило спостерігаються перепади потужності – це негативне явище, яке може в результаті викликати зупинку подачі води. Тому необхідно встановити мінімальний рівень інтенсивності для визначення діапазону змін параметрів сонячної установки та водопостачальної установки [26].

3.5 Модель стану акумуляторної батареї

Енергія від сонячної батареї поступає паралельно на підключені акумуляторні батареї та інвертор, щоб забезпечити оптимальний режим віддачі енергії при роботі системи *сонячна батарея – акумулятори*. Напругу на акумуляторній батареї можна представити у вигляді суми 2-х параметрів:

$$U_{AB} = E_{AB} \pm i_{AB} \cdot R_{BH}, \quad (3.29)$$

де E_{AB} - електрорушійна сила акумулятора;

R_{BH} - значення внутрішнього опору акумуляторної батареї;

i_{AB} - значення струму акумулятора при заряді і розряді.

Електрорушійна сила акумулятора та його внутрішній опір є непостійними величинами та залежать від стану його зарядки, яка характеризується поточною величиною [32]:

$$Q = \int_0^t i_{AB} dt. \quad (3.30)$$

Електрорушійна сила акумулятора в діапазоні номінальної розрядної ємності змінюється за лінійним законом, тобто цю залежність можна досить просто реалізувати у моделі. Отже, для побудови математичної моделі акумулятора використаємо такі рівняння:

$$\begin{aligned} E_{AB} &= E_P = E_H \pm \kappa \cdot Q \pm E_{II}, \\ U_{AB} &= E_{AB} \pm i_{AB} \cdot R_{BH}, \end{aligned} \quad (3.31)$$

де E_H - вихідна електрорушійна сила акумулятора;

E_P - значення рівноважної електрорушійної сили акумулятора;

E_{II} - значення електрорушійної сили поляризації;

κ - величина коефіцієнта пропорційності;

Q - величина розрядної ємності при заряді і розряді;

E_{AB} - значення електрорушійної сили акумуляторної батареї;

R_{BH} - значення внутрішнього опору акумуляторної батареї.

Будемо розглядати модель для одного акумулятора в батареї і при розрахунку параметрів батареї отримані величини E_{AB} та R_{BH} необхідно помножити на потрібну кількість акумуляторів.

Значення вихідної електрорушійної сили акумулятора залежить від густини його електроліту, а розрахунки рівноважної електрорушійної сили показали, що в межах густини електроліту 1,20-1,34г/см³ вона буде рівною:

$$E_H = 0,32 + 1,43 \cdot d, \quad (3.32)$$

де d - густина електроліту (г/см^3).

В цьому виразі коефіцієнт пропорційності електрорушійної сили залежить від об'єму і густини електроліту, яка в заданих межах впливає на величину коефіцієнта несуттєво, тобто не приймаємо його до уваги. Розрахункову залежність коефіцієнта α_p від кількості електроліту можна виразити [33]:

$$\alpha_p = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{\nu}, \text{В/А} \cdot \text{год} \quad (3.33)$$

де ν - об'єм електроліту в акумуляторі (л).

Опори пластин акумулятора, сепараторів та електроліту є складовими внутрішнього опору акумулятора. Питома провідність двоокису свинцю і губчатого свинцю, які є активною масою пластин, в зарядженому стані наближена до величини провідності металевого свинцю. Активна маса розряджених акумуляторних пластин складається з великої маси сульфату свинцю, який має негативну провідність електричного поля, відповідно опір цих пластин має суттєву залежність від значення зарядки акумулятора. Найменше значення опору акумулятора свідчить про повну зарядку акумулятора і протягом його розряду опір пластин буде зростати. Із зменшенням густини електроліту та ростом опору активної маси пластин у зв'язку з її переходом у сульфат свинцю внутрішній опір акумулятора буде збільшуватися в процесі його розряду. У цьому випадку величина внутрішнього опору акумулятора при рівній відданій ємності буде залежна від величини розрядного струму, тобто чим він більший, тим швидше зменшується об'єм електроліту в пластинах, що викликає зростання його опору.

В процесі зарядки концентрація електроліту зростає, його внутрішній опір спадає, а сульфат свинцю регенерується в двоокис свинцю та губчатий свинець. Графік зміни внутрішнього опору акумулятора під час заряду й розряду приведено на рис. 3.11.

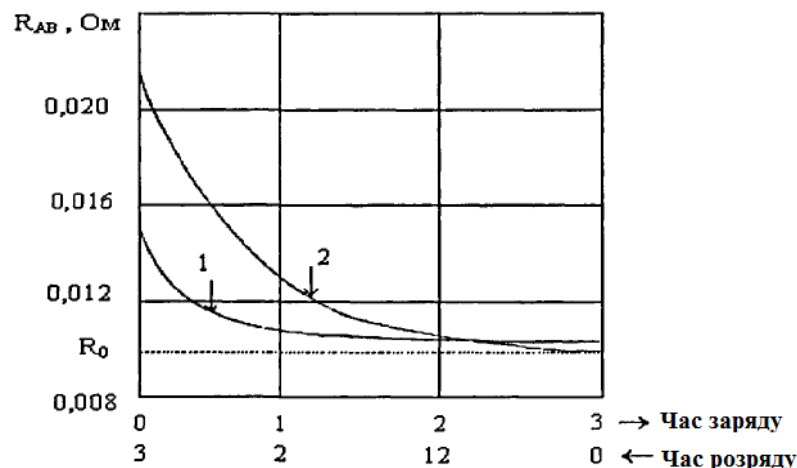


Рисунок 3.11 - Внутрішній опір акумулятора при заряді (1) і розряді (2)

Процес зміни внутрішнього опору подібних акумуляторів з іншою номінальною ємністю з мінімальною похибкою можна розрахувати за наступною формулою:

$$R_{BH} = R_{BH} \frac{C_{ABном}}{C_{AB}}, \quad (3.34)$$

де $C_{ABном}$ - значення номінальної ємності акумулятора (12,5 А·год);

C_{AB} - значення номінальної ємності робочого акумулятора.

Визначимо за графіком (рис. 3.11) залежність внутрішнього опору акумулятора від ємності, яка віддається:

$$R_{BH} = \left[1 - \frac{0,95}{C_{ABном}} \cdot Q + \frac{3,7}{C_{ABном}^2} \right] \cdot R_0, \quad (3.35)$$

де $R_0 = 0,0091 \text{ Ом}$

$C_{ABном}$ – значення номінальної ємності акумулятора.

Оскільки внутрішній опір акумулятора при десяти- тригодинному процесі розряду не є вищим 30%, то можна розрахувати для залежності (3.35) поправочний коефіцієнт, який залежить від розрядного струму:

$$K_{II} = \left[0,5 + 0,2 \cdot \frac{i_{AB}(t)}{i(10)} \right], \quad (3.36)$$

де $i(10)$ - величина струму при десятигодинному розряді акумулятора;

i_{AB} - значення дійсного струму розряду.

Вносимо корекцію у формули (3.34) і (3.36), тоді формула (3.35) буде мати наступний вигляд:

$$R_{BH} = \left[1 - \frac{0,95}{C_{ABном}} \cdot Q + \frac{3,7}{C_{ABном}^2} \cdot Q^2 \right] \cdot R_0 \cdot \left[0,5 + 0,2 \cdot \frac{i_{AB}(t)}{i(10)} \right] \cdot \frac{C_{ABном}}{C_{AB}} \quad (3.37)$$

Дальше переходимо до побудови моделі акумулятора і для розрахунку її параметрів необхідно провести вимірювання:

- величини струму акумуляторної батареї;
- величини напруги на клемі акумуляторної батареї;
- значення температури електроліту;
- значення густини електроліту.

При допомозі побудованої моделі акумулятора згідно виміряних початкових значень можна визначити напругу акумуляторної батареї, її електрорушійну силу, опір і величину заряду, які є початковими параметрами для контролера керування.

3.6 Модель електродвигуна насоса

У водопостачальних установках, що живляться від сонячних батарей, використовують електропривод, який характеризується певними факторами впливу на її ефективність, зокрема технічними і економічними показниками, режимами і умовами роботи. В кваліфікаційній роботі для аналізу приводних електродвигунів було використано двигун постійного струму і асинхронний двигун змінного струму. Для забезпечення ввімкнення приводного електродвигуна у випадку, коли згенерована сонячними батареями енергія є достатньою для його нормальної роботи не потрібна споживачеві, необхідно створити систему автоматичного керування.

Відзначаючи надійну роботу та значний діапазон високоефективного регулювання швидкості, двигуни постійного струму отримали широке практичне застосування, хоча дуже чутливі до наявності піску та пилу при роботі [32].

Двигуни постійного струму можна представити такими основними рівняннями [10]:

$$\left. \begin{aligned} U &= I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} + E_{\text{ДВ}}, \\ E_{\text{ДВ}} &= K \cdot \Phi \cdot \omega, \\ M &= I_{\text{я}} \cdot K \cdot \Phi, \end{aligned} \right\} \quad (3.38)$$

де $E_{\text{ДВ}}$ - величина електрорушійної сили двигуна;

K - значення конструктивного коефіцієнта двигуна;

$U, I_{\text{я}}, R_{\text{я}}$ - величина напруги, струму і опору якоря;

M - значення пускового моменту двигуна;

Φ - величина магнітного потоку.

По відношенню до кутової швидкості валу двигуна систему (3.38) можна перетворити до наступного вигляду:

$$\omega = \frac{U - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}}{K \cdot \Phi}. \quad (3.39)$$

Це рівняння описує швидкісну характеристику двигуна і воно дозволяє перейти до рівняння його механічної характеристики, виразивши струм якоря через момент двигуна:

$$\omega = \frac{U}{K \cdot \Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{(K \cdot \Phi)^2} \cdot M_{\text{ДВ}}. \quad (3.40)$$

Напругу на клеммах електричного двигуна визначають за допомогою сонячної установки, яка є постійною в області пікової потужності, а струм якорного кола можна визначити за моментом навантаження, прикладеним зі сторони насоса до валу двигуна. Але цей струм не має бути більшим струму сонячної батареї, тому при прямому підключенні двигуна постійного струму

до сонячної установки повинні виконуватись умови:

$$\begin{aligned} I_{CB} &\geq I_{ЯДВ}, \\ U_{CB} &= U_{ЯДВ}. \end{aligned} \quad (3.41)$$

Виразимо кутову швидкість електродвигуна через параметри сонячної установки рівнянням (3.40) та отримаємо такий вираз:

$$\omega_{ДВ} = \frac{1}{K \cdot \Phi} \cdot \frac{1}{A} \cdot \ln \left[1 + \frac{I \phi - I}{I_0} \right] - I \cdot (R_{Я} - R_n). \quad (3.42)$$

На рис. 3.12 показано базові характеристики двигуна постійного струму при живленні від сонячної батареї.

Якщо в системі використовують електропривод змінного струму для роботи насосів, то його їх підключають через інвертор електричної енергії, оскільки сонячні батареї є джерелом живлення постійного струму. Якщо двигуни змінного струму порівнювати з іншими типами двигунів (наприклад, з асинхронними двигунами), то вони мають декілька переваг, зокрема є компактними, мають меншу масу на одиницю потужності, прості і надійні у експлуатації, доволі економічні [26].

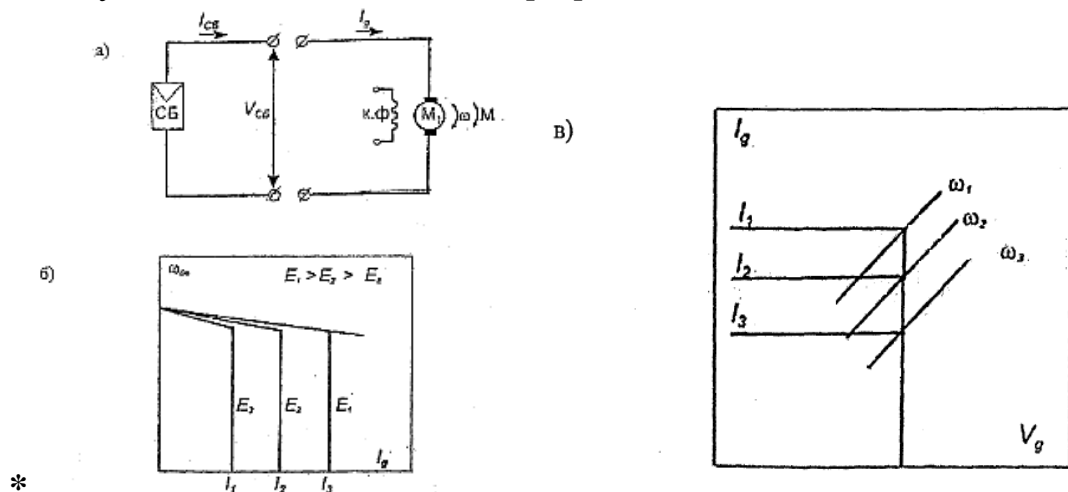


Рисунок 3.12 - Характеристики двигуна постійного струму при живленні від сонячної батареї

Для забезпечення нормальних умов підвищення ефективності водопостачальної установки та вибору потрібного режиму роботи в залежності від інтенсивності сонячної радіації необхідно в систему включити інвертор разом з тиристорним перетворювачем для регулювання частоти обертів насосів [33].

Дослідження показали, що при такому способі керування частотою обертання асинхронного двигуна будемо спостерігати невеликі втрати потужності, що є суттєвою перевагою цього методу, а це, в свою чергу, дозволяє перетворювати загальний потік потужності від сонячних панелей в корисну механічну енергію на вході насоса з врахуванням коефіцієнта

корисної дії перетворювача електродвигуна [10] (рис. 3.13).

Для зміни кутової швидкості асинхронного двигуна при виконанні регулювання частоти можна скористатися виразом:

$$\omega = 2\pi \cdot f_1 / P. \quad (3.43)$$

Аналіз виразу показує, що для асинхронного двигуна кутова швидкість є прямо пропорційною частоті напруги. Відповідно при зміні частоти буде змінюватися також і напруга, оскільки

$$U = \Phi \cdot C \cdot f_1, \quad (3.44)$$

де Φ - величина магнітного потоку;

C - значення конструктивного коефіцієнта.

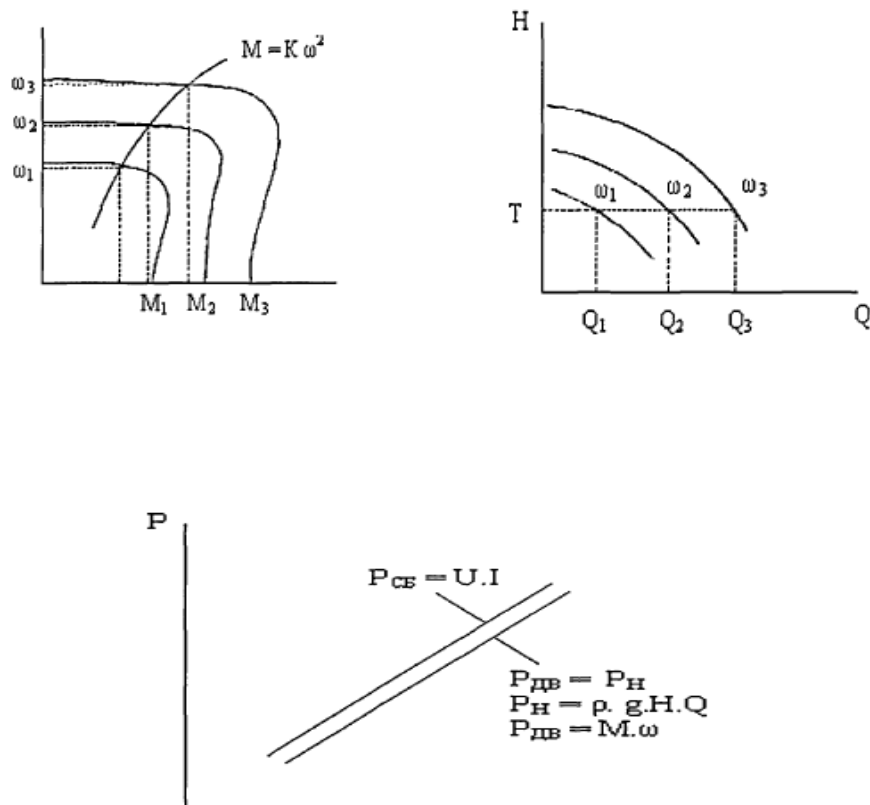


Рисунок 3.13 - Характеристики двигуна змінного струму

Отримана від сонячних панелей енергія подається спочатку на інвертор, а далі на електродвигун, який приводить в рух насос. Для цієї системи необхідно передбачити зворотний зв'язок по тиску, який буде контролювати зміну характеристик гідравлічної системи. В залежності від передбачуваних потреб подачі води зворотний зв'язок має забезпечити потрібний сигнал на вхід інвертора і асинхронного двигуна для задання необхідної частоти обертання. Запропонований метод дозволить в загальному підсумку здійснювати регулювання вихідної потужності електропривода та вибрати оптимальний режим роботи насоса в залежності від характеристик сонячних панелей, які є непостійними внаслідок змінного приходу сонячного випромінювання.

3.7 Принцип роботи сонячної системи водопостачання

Оскільки параметри сонячного випромінювання, яке виступає джерелом енергії, та сонячної електричної установки мають специфічні особливості, то розробка схеми системи і її сумісної роботи зі споживачем, принципом використання отриманої енергії має суттєве значення для продуктивної роботи досліджуваної в цій роботі системи.

З метою повного використання отриманої потужності сонячної установки необхідно, щоб споживана електричним двигуном потужність в заданому розрахунковому режимі наближалася до величини номінальної потужності сонячної установки.

Під час запуску системи "електродвигун-насос" при мінімальному випромінюванні пусковий момент електричного двигуна має бути більшим за рушійний момент насосу. Отже, для вибору умов розрахункового режиму в системі «сонячна установка - електродвигун – насос» потрібно дотримуватись наступного:

$$\begin{aligned} M_n > M_{тр} \text{ при } E = E_{\min}, \\ P_{спож} \rightarrow P_{ном} \text{ при } E = E_p. \end{aligned} \quad (3.45)$$

Характеристика навантаження насоса з електроприводом зазвичай має залежність від вибраного типу насоса й двигуна, від співвідношення значень частоти обертання насоса (фактичної і номінальної), а також від механічних характеристик електропривода:

$$\text{- для двигуна постійного струму } \omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{I \cdot R_A}{(K\Phi)^2}, \quad (3.46)$$

$$\text{- для асинхронного двигуна } \omega = 2\pi f_1 / P.$$

Тому результируючим моментом характеристики навантаження виступає швидкість руху робочого механізму, наприклад, для відцентрового насоса такою є частота обертання колеса.

Якщо ми виберемо розрахунковий режим системи «сонячна установка - електродвигун – насос» за рівнянням (3.33), то при визначеному значенні випромінювання ($E = E_D$) різниця між номінальною і спожитою потужністю буде мінімальною (рис. 3.10, б). Якщо випромінювання змінюється в широкому діапазоні, то значення різниці між номінальною і спожитою потужністю є непостійним і може суттєво збільшуватись. Процес зміни випромінювання супроводжується зміною зовнішньої характеристики сонячної установки та механічної характеристики двигуна, а це впливає на самовільну зміну швидкості та споживаної потужності у системі «двигун – насос».

Щоб змінити потужність споживання електричного двигуна, потрібно змінити швидкість його обертання:

$$M_c = K\omega^2, \quad (3.47)$$

де K – значення коефіцієнта пропорційності.

Під сонячного робочого дня потрібно здійснювати регулювання частоти обертів в більшу сторону з часу початку роботи до обідньої пори (сонце в зеніті), і меншу сторону післяобідню пору дня. При використанні двигуна постійного струму процес регулювання частоти обертання можна здійснити за рахунок зменшення магнітного потоку, тобто використати додаткові опори у колі обмотки збудження електродвигуна. При використанні двигуна змінного струму процес регулювання частоти обертання асинхронного двигуна можна здійснити за рахунок використання частотного перетворювача.

Наступний етап роботи насосної системи потребує визначення робочої точки системи «насос - мережа - накопичувальний бак» - необхідно узгодити характеристики тиску насоса з параметрами мережі з очікуваним коефіцієнтом корисної дії. Характеристику мережі можна описати таким рівнянням:

$$H = H_{CT} + \sum \frac{\xi \cdot i}{2qA^2} Q^2, \quad (3.48)$$

де H - значення повного тиску;

H_{CT} - значення статичного тиску;

ξ - величина коефіцієнта гідравлічного тертя;

A - значення площі перетину трубопроводу;

Q - величина витрат води:

$$H = H_{CT} + B \cdot Q^2. \quad (3.49)$$

Другу характеристику виразу (3.49) можна визначити за місцевими втратами й втратами за довжиною - опором трубопроводів. Щоб спростити розрахунки цієї нескладної мережі, будемо вважати, що втрат нема, відповідно її характеристику можна представити у вигляді прямої лінії, паралельній осі абсцис, і яка змінюється в процесі заповнення й спорожнення водяного резервуару.

Щоб отримати оптимальне співвідношення між швидкістю насоса і його моментом в робочій точці, потрібно виконання такої умови:

$$\omega \cdot M = \rho \cdot q \cdot H \cdot Q / \eta_H. \quad (3.50)$$

В табл. 3.1 приведено ряд залежностей вхідних і вихідних параметрів елементів схеми сонячної водопостачальної установки із асинхронним двигуном і інвертором.

Таблиця 3.1 - Залежність вхідних і вихідних параметрів сонячної водопостачальної установки

Сонце – сонячна панель	Сонячна панель – інвертор	Інвертор – електричний двигун	Електричний двигун – насос	Сумарний ККД
$\eta_{CB} = \frac{U_{CB} \cdot I_{CB}}{R \cdot F}$	$\eta_{inv} = \frac{U_{II} \cdot I_{II} + P}{U_{CB} \cdot I_{CB}}$	$\eta_{ДВ} = \frac{U_{Д} \cdot I_{Д}}{U_{II} \cdot I_{II} + P}$	$\eta_{ДВ} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot h}{U_{Д} \cdot I_{Д}}$	$\eta_c = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot h}{R \cdot F}$

Для розрахунку енергії, необхідної для піднімання води на задану висоту, можна використати наступне рівняння:

$$E_{TP} = \rho \cdot g \cdot V \cdot H,$$

де ρ - значення густини води;

g - значення прискорення вільного падіння;

V - об'єм води, що піднімається.

Необхідну енергію від сонячних панелей можна розрахувати за формулою:

$$E_{CB} = \frac{E_{TP}}{\eta_{CB} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{ДВ} \cdot \eta_H}.$$

Сонячна водопостачальна установка має деякі відмінності від стандартних насосних установок, оскільки її характеристики залежать від сонячного випромінювання. Для забезпечення цією установкою підйому максимального об'єму води, потрібно розрахувати оптимальний режим її роботи при непостійній інтенсивності сонячного випромінювання. Щоб розроблена система функціонувала в оптимальному режимі, необхідне дотримання наступної умови на протязі заданого робочого періоду:

$$P_{CB\text{пik}} = P_{ДВ\text{пik}},$$

де $P_{CB\text{пik}}$ - значення пікової потужності, яку видає сонячна панель при певному значенні випромінювання;

$P_{ДВ\text{пik}}$ - значення пікової потужності електродвигуна, який заживлений від цієї панелі.

3.8 Вибір електронасоса системи водопостачання

Вибір електричних насосів для роботи в певних умовах експлуатації необхідно здійснювати за допомогою технічного і економічного обґрунтування. Основним фактором вибору має слугувати відносно невелика ціна насоса, електроприводу, допоміжної комплектації, а також забезпечення

його роботи з високим коефіцієнтом корисної дії. При вирішенні завдання вибору насоса, який буде працювати в заданих конкретних умовах, необхідно проаналізувати наступні технологічні позиції.

Необхідно здійснити гідравлічний розрахунок водопостачальної мережі, в результаті якого отримаємо необхідний тис насоса і його значення подачі, яке в більшості випадків залежить від часу й може здійснюватися при допомозі декількох насосів. Тому при вирішенні завдання вибору насосів нам потрібно буде вибрати його тип, розміри, а також розрахувати необхідну кількість насосів.

Для вирішення цього завдання виконаємо економічний розрахунок декількох варіантів комплектації установки різною кількістю насосів. Найоптимальнішим вважається варіант, який має найменшу вартість при подачі 1 м³ води за дотримання цілковитої надійності й безперебійної роботи установки.

Для будь-яких сформованих графіків водопостачання найпростішим буде варіант, який складається з одного робочого електронасоса для покриття всіх заданих витрат - від мінімальної до максимальної. Система водопостачання повинна мати два насоси – робочий і резервний, кожний з яких розрахований на задану витрату.

Оскільки згаданий алгоритм вибору є загальновідомим, тому в кваліфікаційній роботі його приводити не будемо. Враховуючи графік водопостачання та вимоги споживача, для умов кваліфікаційної роботи було вибрано електромагнітний вібраційний глибинний малогабаритний електронасос необхідної потужності марки Sturm WP9740T, який відрізняється від аналогічних відомих відцентрових насосів відсутністю ротора обертання електродвигуна, що є перевагою його механічної зносостійкості. Вибраний насос є доволі простим в експлуатації, оскільки нема потреби в стаціонарному монтажі, не потрібно заливати водою, змащувати, а в роботу включається зразу ж після занурення у воду за допомогою гнучкої підвіски. Основні технічні характеристики насоса приведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри електричного насоса Sturm WP9740T

Максимальний тиск, атм.	8
Потужність, кВт	0,4
Подача, л/год	1000
Максимальна висота підйому, м	70
Максимальна глибина занурення, м	5
Максимальна температура води, °С	40
Напруга живлення, В	220
Частота струму	50 Гц
Вага, кг	3,0

На рис. 3.14 представлена структурна схема сонячної водопостачальної установки, розробку якої виконано в кваліфікаційній роботі.

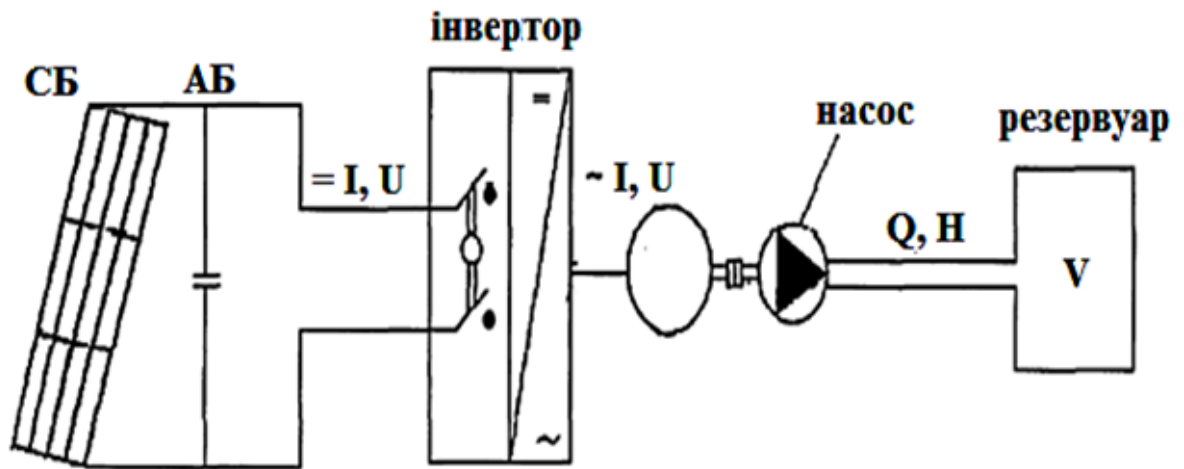


Рисунок 3.14 – Структурна схема сонячної водопостачальної установки

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація безпечної системи водопостачання

Енергозбереження у водопостачанні та каналізації напряду залежить від заходів, які дозволяють зменшити споживання електроенергії при заборі води, її очищенні, обробці, подачі та розподілі. Енергозберігаючі заходи за витратами на їх впровадження поділяють на безвитратні, мало-, середньо- і високо витратні [34].

Безвитратні і маловитратні енергозберігаючі заходи. Для здійснення маловитратних, а тим більше безвитратних енергозберігаючих заходів, не вимагається суттєвих витрат. Вони окуповуються протягом кількох місяців внаслідок зниження експлуатаційних витрат. До числа безвитратних і маловитратних заходів з енергозбереження у водопостачанні та каналізації відносять:

1) дотримання правил експлуатації систем водопостачання, каналізації і обладнання, яке в них застосовується, що передбачають своєчасне проведення планово-запобіжних ремонтів, заміну набивання і підтяжку ущільнень pomp, вентилів і засувок, заміну несправної арматури, усунення витоків;

2) заміна азбестографітових ущільнень pomp ущільненнями на основі тефлону, що забезпечує збільшення терміну експлуатації в середньому в 6 разів. Додаткові витрати окуповуються протягом кількох місяців (до півроку).

Середньовитратні енергозберігаючі заходи. Це заходи, витрати на проведення яких окуповуються за 2-3 роки їх поділяють за такими характеристиками:

1) забезпечення економічних режимів експлуатації pomp. Для реалізації енергозберігаючих заходів із забезпечення економічних режимів експлуатації pomp рекомендується наступне:

- заміна групи малопродуктивних pomp більш продуктивними;
- заміна помпи, якщо гідравлічна характеристика мережі не відповідає її паспортним даним;
- підвищення ККД pomp до їх паспортних значень установкою нових ущільнень в поєднанні з ретельним балансуванням робочих коліс;
- заміна агрегатів, передача обертаючого моменту на вал яких від валу двигуна здійснюється через редуктор або клиноремінну передачу, на помпи, у яких робоче колесо знаходиться безпосередньо на валу двигуна (внаслідок чого усуваються втрати енергії в передачі);
- регулювання продуктивності pomp зміною частоти обертання робочого колеса за допомогою частотно-регульованого електроприводу;
- за відсутності регулятора частоти регулювання продуктивності помпової установки або станції може виконуватися не тільки за допомогою

дросельних заслінок (засувок або вентилів), але і шляхом східчастого вмикання-вимикання паралельно встановлених pomp меншої продуктивності;

- в системах водопостачання з помповими агрегатами, розрахованими на максимальне споживання води при максимальному напорі, доцільно встановлювати ємкості-накопичувачі (акумулятори) води на висоті необхідного напору з пристроєм автоматичного відключення помпового агрегату при заповненні ємкості водою.

2) зміна діаметра трубопроводів, принципової схеми конструктивного виконання систем водопостачання і водовідведення, використання труб з полімерних матеріалів. При збільшенні діаметра труби на 50% втрати від тертя рідини в трубах можна зменшити на 75%. Аналогічного результату при вирішенні завдань енергозбереження у водопостачанні та каналізації вдається досягнути заміною труб з традиційних матеріалів на труби з полімерів. В результаті такої заміни термін служби мереж збільшується з 3-10 до 30 років і більше. Гідравлічний опір і витрати потужності на привід pomp при тому ж діаметрі трубопроводу і незмінній витраті води знижуються десь на 25%.

3) боротьба з відкладеннями в системах водопостачання і водовідведення проводиться як механічним, так і хімічним способами і вимагає зупинки мережі на ремонт.

4) аналіз режимів системи водовідведення зводиться в основному до аналізу режимів роботи помпового обладнання станцій перекачування і очисних споруд.

Для режиму роботи водопідйомної системи також використовують високовитратні енергозберігаючі заходи:

1) енергозберігаючі заходи в електрогосподарстві систем водопостачання і водовідведення пов'язані з впровадженням автоматичної системи контролю і обліку енергоспоживання (АСКОЕ) .

2) основні резерви енергозбереження в системах гарячого водопостачання передбачають:

- заміну секційних водопідігрівачів пластинчастими, які мають менші габаритні розміри і більш низькі втрати теплоти, а також спрощують їх обв'язування трубопроводами. Це веде до зниження витрат потужності pomp на циркуляцію теплоносія;

- оснащення циркуляційних і підживлюючих pomp в теплових пунктах частотно-регульованими електроприводами, що дозволяють змінювати витрату води в системах не вдаючись до відкриття або закриття наявних засувок або інших дросельних органів. Такі енергозберігаючі заходи дають економію 10-30 % електроенергії;

3) будівництво очисних споруд, оснащених обладнанням для утилізації. Економічна ефективність визначається не тільки отриманням пари або води

для теплопостачання, але і добуванням ряду речовин, що використовуються в подальшому як вторинна сировина.

4.2 Заходи охорони праці на водопостачальних об'єктах

Внаслідок сонячного удару відбувається ураження центральної нервової системи і, перш за все, головного мозку, спричинене інтенсивною дією прямих сонячних променів на ділянку голови. Сонячний удар зазвичай уражає людей, які працюють у польових умовах з непокритою головою, при зловживанні сонячними ваннами на пляжах, при важких переходах в умовах спекотного клімату. Сонячний удар може відбутися як під час перебування на сонці, так і через 6-8 годин після інсоляції [34].

Симптоми сонячного удару. Загальне нездужання, млявість, головний біль, запаморочення, шум у вухах, нудота, а іноді блювання. При огляді виявляється гіперемія шкіри, обличчя і голови, прискорення пульсу і подиху, посилене потовиділення, підвищення температури, іноді носова кровотеча. У важких випадках виникає сильний головний біль, знижується артеріальний тиск, температура тіла досягає 40-41 °С, хворий впадає в прострацію, непритомніє. Дихання частішає, потім сповільнюється і може перейти в дихання Чейна- Стокса, тобто стає переривчастим. Пульс уповільнений. Можливий розвиток отікання легенів. У деяких випадках відзначаються судоми, коматозний стан, іноді порушення рівноваги, галюцинації, марення.

Невідкладна допомога. У більшості випадків за сонячного удару досить помістити хворого в тінь, звільнити від одягу, дати випити холодної води, покласти холодний компрес на голову, обернути простиралом, змоченим холодною водою. У важких випадках ці заходи треба доповнити внутрішньовенним чи підшкірним уведенням 500 мл ізотонічного розчину хлориду натрію. У випадках зниження артеріального тиску та розладу дихання необхідно ввести підшкірно 1-2 мл 10 % розчину кофеїну чи 1-2 мл кордіаміну. При зупинці дихання вдаються до штучного дихання. У випадку виникнення набряку легень вводять внутрішньовенно 0,5-0,75 мл 0,05 % розчину строфантину чи 1 мл 0,06 % розчину корглікона в 20 мл 40 % розчину глюкози, призначають сечогінні засоби - урегит (50 мг), фуросемід (2 мл 4 % розчину внутрішньовенно).

Допомога при тепловому ударі. Тепловий удар (гіпертермічна кома) - безсвідомий стан, обумовлений загальним перегріванням організму в результаті впливу зовнішніх теплових факторів. Тепловий удар може виникнути в результаті перебування в приміщенні з високою температурою і вологістю, під час тривалих маршів в умовах спекотного клімату, при інтенсивній фізичній роботі у задушливих, погано вентильованих приміщеннях. Розвитку теплового удару сприяють надто теплий одяг,

перевтома, недотримання питного режиму. У немовлят причиною теплового удару може бути закутування в теплі ковдри, перебування в задушливому приміщенні, розташування дитячого ліжечка біля печі чи батареї центрального опалення. Надмірне перегрівання організму супроводжується порушенням водоелектролітичного обміну, циркуляторними розладами, мікрокапілярними крововиливами в мозок.

Симптоми теплового удару. Почуття загальної слабкості, розбитості, біль голови, запаморочення, шум у вухах, сонливість, жар та нудота. При огляді виявляється гіперемія шкірних покривів, пульс і дихання прискорені, температура підвищена до 40-41 °С. У важких випадках подих сповільнюється, іноді переходить у дихання Чейна-Стокса, падає артеріальний тиск. Потерпілий оглушений, непритомніє, іноді виникають судоми, розвивається коматозний стан. Можливі марення, психомоторні порушення. У немовлят з'являються швидко наростаючі диспепсичні розлади (блювота, пронос), температура тіла різко підвищується, риси обличчя загострюються, загальний стан швидко погіршується, свідомість запаморочена, виникають судоми, розвивається кома.

Невідкладна допомога при тепловому ударі. Потерпілого терміново виносять у прохолодне місце, забезпечують доступ свіжого повітря, звільняють від одягу, дають випити холодної води, накладають холодний компрес на голову. У важких випадках доцільно обгортання простиралом, змоченим холодною водою, обливання прохолодною водою, прикладання льоду до голови і пахових ділянок.

При роботі сонячної водопідйомної системи на базі фотовольтаїчних батарей працівники знають і вміють надавати першу невідкладну допомогу.

4.3 Забезпечення стійкості роботи об'єкта водопостачання під час надзвичайних ситуацій

Під стійкістю роботи об'єкта народного господарства слід розуміти його здатність виготовляти установлені види продукції в обсязі та номенклатурі, визначених планами на воєнний час, а також можливість швидкого відновлення зруйнованого виробництва [35].

Основні напрямки підвищення стійкості роботи об'єктів харчової та переробної промисловості такі:

- 1) захист робітників і службовців працюючих змін об'єктів та змін чергового персоналу, які забезпечують життєдіяльність цих об'єктів;
- 2) захист основних виробничих фондів і здійснення заходів щодо зменшення збитків від можливих вторинних факторів ураження;
- 3) створення надійних систем електро-, водо-, газо- та тепло забезпечення об'єктів;
- 4) створення стійкої системи матеріально-технічного забезпечення;

- 5) створення стійкої системи управління;
- 6) підготовка до швидкого відновлення зруйнованого виробництва.

Для виконання заходів щодо підвищення стійкості роботи об'єктів харчової та переробної промисловості треба обов'язково керуватися вимогами норм інженерно-технічних заходів (ІТЗ) цивільної оборони.

Норми проектування в обов'язковому порядку поширюються на об'єкти народного господарства, розміщені в категорованих містах та на територіях, прилеглих до них, на об'єкти другої категорії і некатегоровані об'єкти, розміщені в некатегорованих містах, населених пунктах сільської місцевості - в частині захисту населення від радіоактивного зараження.

Норми ІТЗ в обов'язковому порядку повинні враховуватися при проектуванні нових та реконструкції діючих об'єктів харчової та переробної промисловості, розміщених у зонах можливих руйнувань.

Для практичного здійснення норм ІТЗ запроваджується поняття про зони можливих сильних, середніх і слабких руйнувань.

Зона сильних можливих руйнувань - це територія, на зовнішній межі якої може виникнути надлишковий тиск $P_{\phi} = 30 \text{кПа}$ ($0,3 \text{кгс} / \text{см}$).

Зона можливих руйнувань - територія з розміщеними на ній містами та об'єктами, на зовнішній другій межі якої може виникнути надлишковий тиск $P_{\phi} = 10 \text{кПа}$ ($0,1 \text{кгс} / \text{см}$).

Розміщення об'єктів харчової та переробної промисловості в межах міста повинно здійснюватися з урахуванням їх важливості.

Всі нові промислові підприємства повинні будуватися за зонами можливих сильних руйнувань, а найбільш важливі підприємства (склади, бази, об'єкти зв'язку) - за зонами можливих руйнувань і катастрофічного затоплення.

Підприємства, які використовуються для обслуговування населення, в окремих випадках можуть розташовуватися в зоні можливих сильних руйнувань (комбінати, гаражі, склади забезпечення).

В зоні можливих слабких руйнувань допускається розташовувати бази і склади з продовольчими та промисловими товарами; базові склади паливно-мастильних матеріалів, але обов'язково вниз за течією річки або по схилу місцевості.

Для розміщення складів та сховищ повинні використовуватися порожні шахти та природні утворення.

Розробка проектів та будівництво нових промислових об'єктів харчової та переробної промисловості повинна здійснюватися з додержанням таких вимог:

1) при виборі місця будівництва об'єкта повинні враховуватися: місце розташування, метеоумови, транспортні зв'язки та захисні властивості місцевості;

2) між будівлями повинні бути протипожежні розриви, ширина яких визначається за формулою:

$$Ш_p = H1 + H2 + (15 - 20) [м],$$

де $H1, H2$ - висота сусідніх будинків, м.

Будинки адміністративного (господарського і обслуговувального) призначення слід розташовувати в окремих блоках заглибленого або напівзаглибленого типу, в межах території об'єкта або за її межами з урахуванням рози вітрів;

3) виробничі будівлі слід проектувати прямокутної форми в плані переважно одноповерхові із вогнестійких матеріалів і підвищеної стійкості щодо дії на них ударної хвилі. Кількість евакуаційних виходів із виробничих приміщень повинно бути не менше двох;

4) унікальне устаткування повинно розміщуватися в найбільш стійких спорудах (сховищах, підземних та заглиблених цехах);

5) дороги на території об'єкта повинні бути з твердим покриттям, забезпечувати найкоротше сполучення між виробничими будівлями, спорудами і складами за допомогою діагонального та кільцевого руху, а також мати не менше двох в'їздів на територію об'єкта;

6) система каналізації повинна мати не менше двох виходів у міські каналізаційні мережі з пристроями для аварійних скидів у підготовлені місця (котловани, траншеї).

В системах водопостачання - улаштування 2-3 незалежних джерел водопостачання, одне із яких підземне: закільцювання систем; наявність резервуарів із запасом води та водопостачання з повторним використанням води для технічних потреб.

Для захисту робітників та службовців об'єктів, розміщених в категоризованих містах у межах можливих сильних руйнувань, будувати сховище на території об'єкта і навколишньої території в межах радіуса збору людей, які укриваються, забезпечуючи укриття щонайменше найчисленнішої робочої зміни.

Захист людей на об'єктах, розміщених за межами зони можливих сильних руйнувань, а також населення, яке мешкає в некатегоризованих містах і селах, повинен здійснюватись у протирадіаційних укриттях. Треба забезпечити в них життєдіяльність людей протягом двох діб.

Головна мета досліджень стійкості роботи об'єкта полягає в тому, що потрібно виявити найбільш уразливі місця виробництва, тобто слабкі елементи підприємства щодо дії на них уражаючих факторів сучасних засобів

ураження і на основі цього розробити рекомендації щодо підвищення стійкості роботи об'єкта у воєнний час.

Організація і проведення досліджень виконується за три етапи [36]:

I - підготовка та проведення досліджень - 1,5 – 2 місяці;

II - оцінка стійкості роботи об'єкта - 1,5 – 2 місяці;

III - розробка заходів щодо підвищення стійкості роботи об'єкта у воєнний час – 1 – 2 тижні.

На першому етапі визначається склад учасників, розробляються потрібні документи, організується підготовка учасників із фахівців підприємства створюються розрахунково-дослідні групи: керівника досліджень на чолі з головним інженером підприємства; начальника відділу капітального будівництва; головного механіка; головного технолога головного енергетика; начальника постачання та збуту; начальника штабу цивільної оборони об'єкта.

Кожна група виконує дослідження в своїй галузі і підготовляє рекомендації щодо підвищення стійкості. Організують роботу усіх груп фахівці групи керівника досліджень.

З метою забезпечення організаційної підготовки та проведення досліджень розробляються такі документи: наказ начальника штабу цивільного об'єкта на організацію і проведення досліджень; календарний план заходів щодо підвищення стійкості роботи об'єкта; план проведення досліджень. Після розробки документації проводять організаційну нараду, на якій зачитують наказ і доводять порядок роботи за календарним планом, а також завдання групам фахівців. Керівник визначає час і порядок підготовки учасників досліджень, вивчення методики досліджень, проведення спеціальних занять.

На другому етапі безпосередньо виконуються спеціальні роботи по дослідженню оцінки стійкості об'єкта.

На третьому етапі розробляються заходи щодо підвищення стійкості роботи об'єкта у воєнний час.

Дослідження по оцінці стійкості роботи об'єкта передбачають вирішення завдання за двома складовими частинами виробництва:

1) оцінка стійкості інженерно-технічного комплексу, тобто будівель, споруд, технічного устаткування, комунально-енергетичного і транспортного сполучення;

2) оцінка стійкості виробничої діяльності підприємства, тобто стійкості системи керування, постачання, захисту робітників і службовців, готовність підприємства до відновлення порушеного виробництва.

По інженерно-технічному комплексу оцінюються: стійкість будов, споруд, устаткування щодо дії на нього ударної хвилі; стійкість об'єкта щодо дії на нього світлового випромінювання; дія на об'єкт вторинних факторів ураження; можливість роботи об'єкта при радіаційному і хімічному зараженні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

У кваліфікаційній роботі приведені результати теоретичних досліджень та вирішена науково-технічна задача, що полягає в розробці системи автономного водопостачання на базі нетрадиційних джерел енергії. На основі отриманих результатів та розробок зроблено наступні висновки:

1. За результатами аналізу сучасного стану та розвитку енергетичної системи України обґрунтовано актуальність і перспективність використання нетрадиційних джерел енергії у південних районах держави.

2. Встановлено, що пріоритетне значення має перетворення сонячної енергії в електричну, а проблема водопостачання в південних районах може бути вирішена при використанні сонячних водопостачальних систем.

3. За результатами виконаних досліджень енергетичних характеристик і взаємозв'язку елементів сонячної водопостачальної системи розроблено структурну схему з акумуляторними батареями та інвертором.

4. Запропоновано методику та виконано розрахунок площі сонячних установок різних типів сонячних батарей в результаті якого встановлено, що:

- площа неорієнтованих сонячних батарей суттєво більша площі сонячних батарей зі системами стеження, застосування яких може бути більш доцільним у випадку прийнятної вартості та надійності;

- в розглянутих водопостачальних системах запропоновано використати сонячну установку без концентратора з одноосьовою системою стеження за Сонцем.

5. Насосні установки з живленням від сонячних батарей на даний час є малопотужними і використовуються зазвичай для вирішення потреб автономних споживачів. Задачею майбутніх досліджень зазначених установок має стати підвищення їх ефективності, надійності, що дозволить відкрити для сонячних водопостачальних системи безмежну перспективу практичного застосування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Джерела енергії : підручник / В. І. Шкляр, В. В. Дубровська. – К. : КПІ ім. І. Сікорського : Політехніка, 2018. – 336 с. – ISBN 966-622-870-6.
2. Пазюк В. М., Токарчук О. А., Токарчук Д. М. Сучасний стан проблеми енергоефективності в світі та в Україні. - Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. № 1 (112). С. 88-99.
3. Касич А. О. Чинники розвитку альтернативної енергетики у сучасних умовах [Електронний ресурс] / А. О. Касич, Я. О. Литвиненко // Економіка та суспільство. – 2017. – Вип. 12. – С. 93-99. – Режим доступу: <http://economyand-society.in.ua/journal-12/19-stati-12/1291-kasich-a-o-litvinenko-ya-o>
4. Енергоефективність та відновлювальні джерела енергії / Під заг. ред. А.К. Шидловського. - Київ: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.
5. Кулік, М. Стратегічні перспективи розвитку енергетики України [Текст] / М. Кулік, Б. Стогній // Світогляд. — 2009. — № 3. — С. 42–45.
6. Модернізація електроенергетики. — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.tek.ua>
7. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. (схвалена розпорядженням КМУ від 15.03.2006. № 145-р.) [Текст]. — К., 2006. — 129 с.
8. Використання сонячної енергії. Під ред. Л.Є. Рибаквої. Ашгабад: Наука, 2015
9. Андреев В.М. Фотоелектричне перетворення сонячної енергії. М.: Фізика, 2006 р.
10. Колтун М.М. Сонячні елементи. М.: Наука, 2007.
11. Иванов-Холодний Г.С. Сонячна активність і геофізичні процеси. Земля і Всесвіт, 2001, т. 36.
12. Єлістратов В.В. Акумулявання енергії відновлюваних джерел. М: Аміпрес, 2012 р.
13. Сумарне випромінювання // Словник-довідник з екології : навч.-метод. посіб. / Уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. — Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2013. — С. 170-171.
14. Будраков В.П. Електроенергія з космосу. М.: Енергоатом, 2011. - 152 с.
15. The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set // <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
16. Френбрук А., Бьюб Р. Сонячні елементи. Теорія і експеримент. М.: Енергоатом, 2017. - 280 с.
17. Харченко Н.В. Індивідуальні сонячні установки. М.: Енергоатом, 2011. - 152 с.
18. Розрахунок потужності СФЕС водоподйомного комплексу / Шаймердангулієв Г., Абильхекімов Е. Міжн. нарада. Тезиси доп. Геленджик, 2008.
19. Кудря С. Національні проекти - крок до енергетичної незалежності України [Текст] / С.Кудря, В.Резцов // Дзеркало тижня. - 2010. - 9 жовт. (№ 37).

20. Електроенергетика України. — [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.epu.kyiv.ua>
21. Григораш О.В., Стрілков Ю.І. Нетрадиційні автономні джерела електроенергії. Промислова енергетика, 2011, вип. 4. с. 37.
22. Сонячна енергетика - один з перспективних напрямів розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Урядовий портал. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248970577
23. The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set // <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>.
24. RETScreen international. Renewable energie decision support center // <http://www/retscreen.net>.
25. Іванов-Холодний Г.С. Сонячна активність і геофізичні процеси. Земля і Всесвіт, 2011, т. 36.
26. Буранов Р.М. Методика розрахунку перехідних процесів в насосних установках з живленням від сонячних батарей. Автореф. дис. к. т. н, М., 2015.
27. Західов Р.А., Умаров Г.Я. Теорія і розрахунок геліотехнічних систем концентрації. Ташкент, 2017.
28. Багоцький В.С., Скундін А.М. Хімічні джерела струму. М.: Енерговидав., 2011.
29. Грліхес В.А. Сонячні космічні енергостанції. Л.: Наука, 2006.
30. Єршевич В.В., Кірянова Н.А. Потужні електро акумулюючі установки. Енергетика і транспорт, 2015, № 1. с. 16-24.
31. Гончаров В.І., Любієв О.Н. і ін. Розрахунок характеристик свинцево-кислотного акумулятора. Звіт НІАІШ. Л., 2002.
32. Лукутін Б.В., Сіпайлов Г.А. Використання механічної енергії відновлювальних природних джерел для електропостачання автономних споживачів. Фрунзе, 2007.
33. Попков О.З. Основи перетворювальної техніки. Керовані мережеві перетворювачі. М: Вид. МЕІ, 2001. 48 с.
34. Гандзюк, М. П. Основи охорони праці: підручник / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський; за ред. М. П. Гандзюка; МОН України. — 4-е видання. — К.: Каравела, 2008. — 384 с. — ISBN 966-8019-01-6
35. Гуць В.С., Яцюк М.М., Прокопенко О.І., Пелих В.М., Солдатенко О.О. Цивільна оборона: Конспект лекцій для студентів усіх спеціальностей заочної форми навчання. К.:НУХТ,2008.- 46 с.
36. Проблеми енергетичної безпеки [Текст] // Безпека життєдіяльності. — 2010. — № 1. — С. 11–13.
37. Євтух П.С., Оробчук Б.Я. Методичні вказівки по підготовці магістрів до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 8.05070103 – "Електротехнічні системи електроспоживання". Тернопіль, ТДТУ, 2007р., 20 с.