

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **РОЗРОБКА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ВОДЯНОЇ
НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ СИСТЕМИ ЗРОШЕННЯ**

Виконав студент IV курсу, групи ЕТс-41
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Новацький П.І.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль

Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

Шелестовський Б.Г.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)
студенту Новацькому Павлу Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка фотоелектричної водяної насосної установки для системи зрошення

Керівник роботи к.т.н., доц. Коваль В.П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «22» січня 2024 року № 4/7-47.

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 14.06.2024

3. Вихідні дані до роботи Фотоелектрична водяна насосна установка працює на постійному струмі, який виробляють фотоелектричні панелі. Використано двигун постійного струму.

Потрібно DC/DC перетворювач для узгодження напруг

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Типи фотоелектричних елементів

2. Водяні насоси, що живляться від фотоелектричної системи

3. Принципи перекачування води сонячною енергією

4. Вибір потужності сонячної фотоелектричної системи

5. Моделювання фотоелектричної водонасосної системи

6. Проектування двокаскадного DC-DC підвищувального перетворювача

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

1. Ізольована сонячна водонасосна система

2. Компоненти систем перекачування води на сонячних батареях

3. Блок-схема запропонованої системи

4. Схематичне зображення сонячної фотоелектричної водонасосної системи

5. Структурна схема двокаскадного DC-DC підвищувального перетворювача

6. Алгоритм MPPT P&O

7. Відцентровий насос, побудований в Simulink

8. Результати моделювання

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс–41. - Т. : ТНТУ, 2024.

Стор. 70; рис. 37; табл. 3; креслень (презентацій) __; джерел 18.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Розробка фотоелектричної водяної насосної установки для системи зрошення».

Метою роботи є розробити водяну насосну установку, яка працює на постійному струмі, що виробляють фотоелектричні панелі.

У роботі проведено аналіз типів фотоелектричних елементів, які можуть бути використані у фотоелектричній водяній насосній установці. Проведено розрахунок та аналіз системи перекачування води на фотоелектричних модулях. Проведено розрахунок загального динамічного напору, потужності сонячної фотоелектричної системи, ємності акумуляторної батареї і розмірів бака для зберігання води. Розроблено та змодельовано в Simulink двоступеневий підвищувальний перетворювач. Динамічні результати моделювання роботи двоступеневого підвищувального перетворювача показують, що алгоритм MPPT для першого каскаду DC-DC і PID-регулятора для другого каскаду DC-DC забезпечують надійну роботи системи при зміні вхідної температури і вхідного сонячного випромінювання.

Ключові слова: ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ВОДЯНА НАСОСНА УСТАНОВКА, MPPT, ПОСТІЙНИЙ СТРУМ.

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Відновлювана та сонячна енергія.....	9
1.2 Перспективи сонячної енергетики	11
1.3 Фотоелектричний елемент	13
1.4 Типи фотоелектричних елементів.....	14
1.4.1 Сонячні елементи на основі кремнію.....	14
1.4.2 Тонкоплівкова технологія	16
1.4.3 Багатоперехідна технологія.....	20
1.5 Висновки до розділу	21
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	22
2.1 Фотоелектричні системи	22
2.2 Водяні насоси, що живляться від фотоелектричної системи	24
2.2.1 Вибір типу насосу	24
2.2.2 Вибір насоса та проектування системи.....	27
2.3 Принципи перекачування води сонячною енергією.....	28
2.3.1 Тиск.....	28
2.3.2 Потік	30
2.3.3 Потужність насоса.....	32
2.4 Висновки до розділу	33
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	34
3.1 Інформація про об'єкт	34
3.2 Розрахунок загального динамічного напору	35
3.3 Вибір типорозміру насоса	36
3.4 Вибір потужності сонячної фотоелектричної системи	37
3.5 Можливі методи зберігання енергії	40
3.5.1 Визначення розміру акумулятора.....	40
3.5.2 Розміри бака для зберігання води.....	41

3.6	Моделювання фотоелектричної водонасосної системи	43
3.6.1	Опис запропонованої система зрошення	43
3.6.2	Моделювання фотоелектричних модулів	43
3.6.3	Проектування двокаскадного DC-DC підвищувального перетворювача	46
3.7	Моделювання геліосистеми для перекачування води	53
3.8	Висновки до розділу	59
4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	52
4.1	Заходи, які зменшують небезпеку виникнення вибухів та пожеж	60
4.2	Захист від статичної електрики	63
4.3	Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання	64
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

ВСТУП

Актуальність теми. Загальна кількість населення нашої планети постійно зростає і, як очікується, збільшуватиметься ще протягом кількох десятиліть в осяжному майбутньому. Прогнозується, що потреби людства в енергії будуть зростати ще більш швидкими темпами, а кількість енергії, яка буде забезпечуватися за рахунок електроенергії, буде збільшуватися одночасно з цим. Понад тридцять відсотків електричної енергії планети використовується електродвигунами в різних насосних системах, наприклад, відцентрових насосах з фіксованою швидкістю, вентиляторах і компресорах. Основними джерелами енергії на сьогоднішній день є вугілля, нафта і газ, які широко використовуються сучасним населенням планети, і, як передбачається, закінчатися швидше, ніж буде можливість поповнити їх запаси. Крім того, ці джерела енергії можуть мати значний негативний вплив на навколишнє середовище. CO - це мікроелемент з коротким періодом життя, який утворюється в результаті часткового спалювання викопного палива та спалювання біомаси. Після цього цей газ перетворюється на CO₂, який є одним з найвідоміших парникових газів. Більше того, CO₂ певною мірою спричиняє підвищення температури на планеті. Ця проблема тісно пов'язана з екологічною стабільністю планети і може бути частково вирішена шляхом постійного пошуку заміників зелених енергоресурсів на додаток до адаптаційних підходів, спрямованих на зменшення цих негативних екологічних наслідків. На сьогоднішній день одним з найбільш перспективних «зелених» та відновлюваних альтернативних джерел енергії є сонячне випромінювання.

Очікується, що різні системи відновлюваної енергетики, наприклад, сонячна, геотермальна, вітрова, хвильова, гідроенергетика та енергія біомаси, відіграватимуть значну роль у створенні сталої енергетичної системи в розвинутих країнах та країнах, що розвиваються. Прогнозується, що ці джерела енергії сприятимуть пом'якшенню наслідків зміни клімату, підвищенню

безпеки світової системи енергопостачання та нададуть можливість країнам, що розвиваються, користуватися доступною енергією. З цих причин використання сонячної енергії швидко перетворюється на одне з найбільш обговорюваних питань сьогодення. Енергію, що виробляється з сонячного випромінювання, можна вважати найпоширенішим довготривалим джерелом енергії, що є в розпорядженні людства. У той же час, оскільки сонячна енергія не має широкого застосування як ключовий паливний ресурс сучасності, необхідні значні дослідження в цій галузі та зусилля з її вдосконалення. Вони повинні бути спрямовані на ефективний розвиток економічних систем для накопичення сонячної енергії та перетворення її на первинний ресурс паливної енергії, для опалення та охолодження житлових будинків і забезпечення доступу до чистої води в посушливих районах.

Сонячні панелі складаються з сонячних елементів, які по суті є р-п переходом. Будь-яке обладнання, яке використовується для перетворення сонячного випромінювання в енергію, вважається або сонячними елементами, або панелями. Обладнання, яке використовується як основа для сонячних панелей, значно вдосконалювалося протягом попередніх шістдесяти років досліджень. У той час як сонячні елементи були початковою відправною точкою сучасних сонячних панелей, сучасні дослідники та інженери відходять від них і починають впроваджувати різні інноваційні платформи та методи акумулювання енергії сонячного випромінювання. До таких методів належить створення сонячних елементів з кремнієвих напівпровідників, які призначені для отримання та перетворення сонячної енергії. Ці кремнієві напівпровідники покривають антивідблисковим покриттям і тримають під скляною захисною пластиною для того, щоб уберегти елементи від різних пошкоджуючих елементів.

Мета кваліфікаційної роботи: розробити водяну насосну установку, яка працює на постійному струмі, що виробляють фотоелектричні панелі.

Відповідно до даної мети ставляться такі завдання:

1. Провести аналіз типів фотоелектричних елементів.

2. Провести розрахунок та аналіз системи перекачування води на фотоелектричних модулях.
3. Провести розрахунок середньодобового споживання води фермою.
4. Розробити та змодельовати в Simulink двоступеневий підвищувальний перетворювач.
5. Повести імітаційне моделювання фотоелектричної водонасосної системи.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 частин, висновків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 70 арк. формату А4, графічна частина – 20 аркушів презентації.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Відновлювана та сонячна енергія

Незважаючи на те, що викопні види палива (нафта, вугілля та природний газ) все ще широко використовуються і виробляються на планеті, людство витрачає їх набагато швидше, ніж вони заміщуються природними ресурсами. Як наслідок, викопне паливо вважається невідновлюваним за нинішніх темпів споживання, тому нещодавні дослідження показали, що попит на відновлювані джерела енергії є питанням першочергової важливості на даний момент. Сьогодні відновлювані джерела енергії пов'язані з сонячною енергією та її первинним і вторинним впливом на планету. Ці впливи включають (сонячну радіацію, силу вітру, силу води та певні види флори, а точніше біомасу). Крім того, відновлювані джерела енергії пов'язані з гравітаційними силами (наприклад, припливи і відливи) і геотермальними силами (тепло ядра планети). Відомо, що відновлювані джерела енергії поповнюються протягом життя людини і можуть бути використані на додаток до відповідних технологічних механізмів для того, щоб генерувати передбачувані обсяги енергії, коли це необхідно. Крім того, системи відновлюваної енергетики більш рівномірно поширені на планеті порівняно з іншими ресурсами, наприклад, викопним паливом та ядерною енергією.

Однією з найважливіших переваг відновлюваних джерел енергії є їхній внесок у зменшення забруднення навколишнього середовища та його можливу ліквідацію в масовому масштабі. Окремі види цих енергетичних систем використовуються людством вже понад п'ять тисяч років. У доіндустріальну епоху відновлювані джерела енергії здебільшого використовувалися для приготування їжі, обігріву житла та простих механічних операцій, які, як правило, не давали змоги досягти високої енергетичної продуктивності. З іншого боку, в період індустріальної епохи використання енергії перейшло від відновлюваних джерел енергії з нижчою енергетичною цінністю до вугілля та нафти, які мали набагато більшу енергетичну цінність у порівнянні з

попередніми джерелами енергії на той час. Насправді, можна стверджувати, що відновлювані джерела енергії, наприклад, енергія падаючої води та вітру, можливо, не змогли б забезпечити таке ж швидке зростання промислової ефективності порівняно з викопним паливом. На сьогоднішній день біомаса становить не більше 3 % основного споживання енергії в розвинених країнах. З іншого боку, переважна більшість населення в сільській місцевості країн, що розвиваються, яке становить близько 50 % від загальної кількості населення планети, залежить від біомаси, здебільшого використовуючи деревину та стебла, як основне джерело енергії.

На додаток до постійного зростання забруднення навколишнього середовища через посилене використання викопного палива, системи відновлюваної енергетики розвиваються як можлива заміна. На сьогоднішній день на відновлювані джерела енергії припадає близько 13,6 відсотка світового споживання енергії. Більше того, за прогнозами, до 2040 року внесок відновлюваних джерел енергії у світове енергоспоживання становитиме близько 47,7 відсотка. Найбільш значне зростання виробництва відновлюваної енергії протягом наступних двадцяти років дослідники прогнозують у сферах фотоелектричної (з 0,2 до 784 млн. тонн у нафтовому еквіваленті) та вітрової (з 4,7 до 688 млн. т н.е.) енергетики. Загальновідомо, що енергетичні ресурси є невід'ємною складовою життєдіяльності людства. Це можна пояснити тим, що переважна більшість повсякденних процедур залежить від доступності енергетичних ресурсів. На сьогоднішній день не менше 90 відсотків енергетичних потреб середньостатистичної людини задовольняються за рахунок викопних видів палива. Викопні енергоресурси, окрім того, що вони є вичерпними, становлять загрозу з екологічної точки зору, пов'язану з їх використанням. Наприклад, вуглекислий газ, який є продуктом спалювання вуглеводневого викопного палива, є одним з найбільших негативних аспектів у зв'язку з існуючою проблемою глобального потепління.

Виходячи з проблем, які були описані вище, здається, зростає і відновлюється пошук систем відновлюваної енергетики для використання

людством як перспективної альтернативи викопним видам палива. Відомо, що енергія сонця і сонячне випромінювання є одними з найбільш використовуваних відновлюваних джерел енергії. Однією з головних переваг сонячної енергії є її екологічність, а також економічна ефективність. Єдині витрати, пов'язані з використанням енергії сонця, походять від можливих методів її використання та розподілу. На даний момент існує два основних методи, за допомогою яких сонячна енергія може бути накопичена і збережена для подальшого використання. Перший метод полягає в безпосередньому перетворенні енергії в теплову для сонячного опалення, наприклад, нагрівання води та обігріву будинку і складських приміщень, або її використання для сонячного охолодження, наприклад, для охолодження води. Цей метод часто згадується в літературі, присвяченій використанню сонячної енергії. Другий метод - це перетворення енергії, зібраної з сонячного випромінювання, в електричну енергію за допомогою приладу, який називається фотоелектричною панеллю. Отримана в результаті цього електрична енергія зазвичай використовується для живлення різноманітних електричних або електромеханічних механізмів. Протягом останніх років було проведено велику кількість досліджень на тему акумулювання та використання сонячної енергії.

1.2 Перспективи сонячної енергетики

Загальновідомо, що сонячна радіація нерівномірно розподіляється на поверхні Землі, а її концентрація в різних географічних точках залежить від широти, пори року та часу доби. Ще десять років тому придатна для використання документація про розподіл сонячної радіації була досить малою і незначною в наукових джерелах країн, що розвиваються. Через те, що корисні дані, здається, відсутні, на цю тему можуть бути представлені лише найрізноманітніші припущення.

Намагаючись досягти максимальної зручності та простоти, розподіл загальної кількості сонячної радіації в різних географічних зонах у глобальному

масштабі можна окреслити з точки зору її концентрації в горизонтальну глобальну сонячну радіацію, як показано на рис. 1.1.

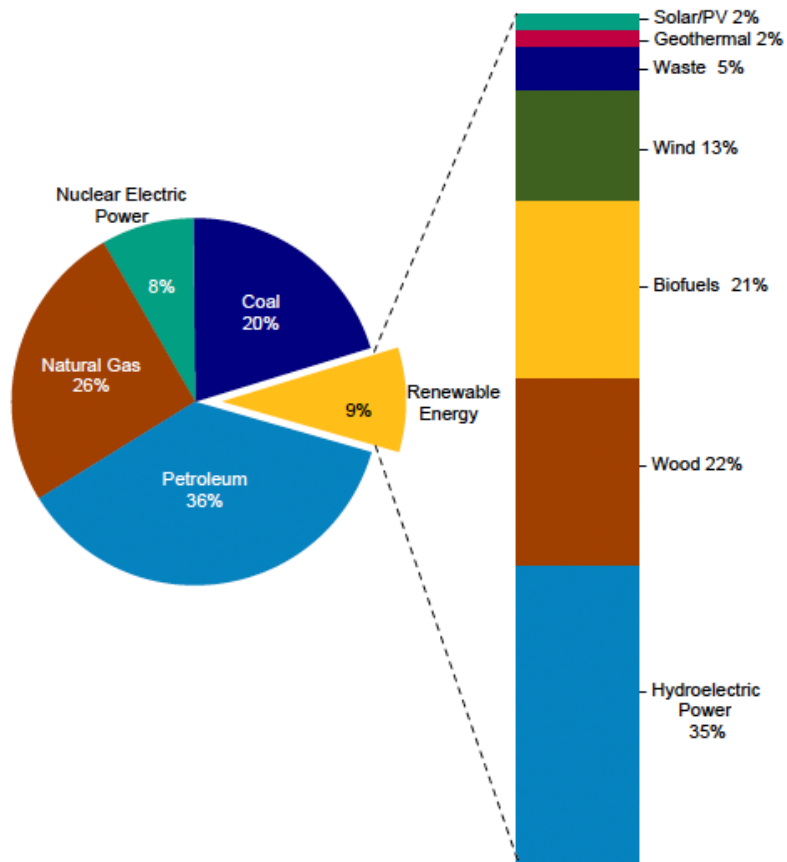


Рисунок 1.1 - Глобальна горизонтальна сонячна радіація, кВт-год/м² [1]

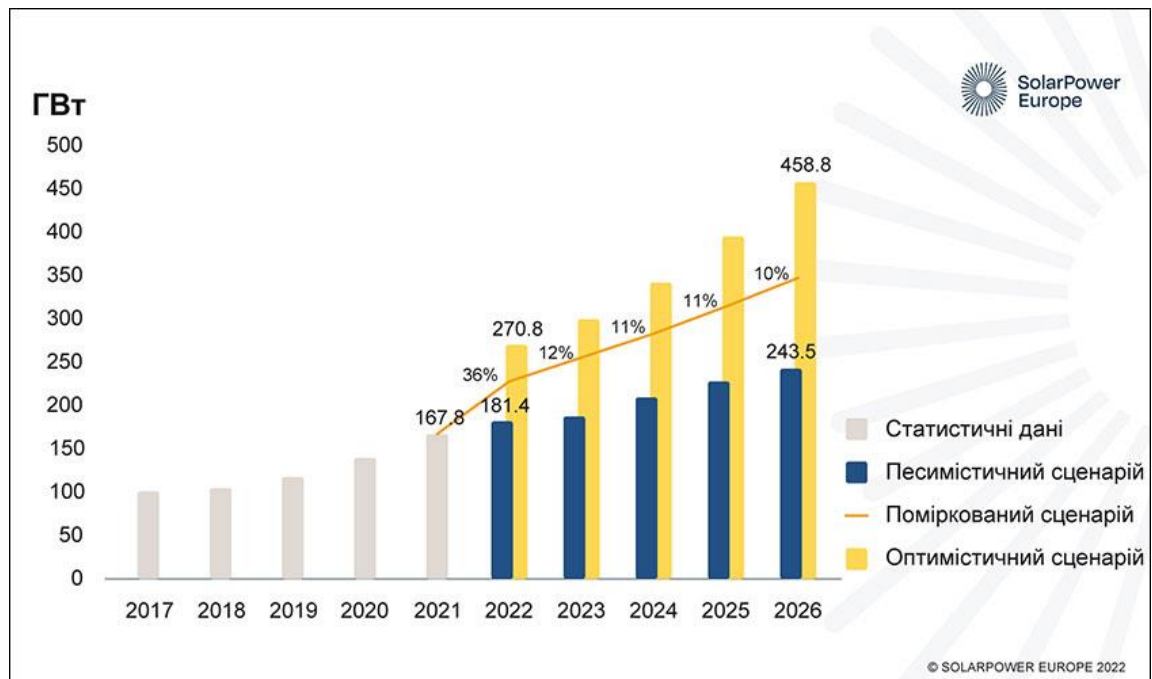


Рисунок 1.2 - Розвиток сонячної енергетики, 2022-2026 [2]

Фотоелектрична технологія вдосконалювалася винятково протягом останніх десятиліть. Сьогодні науковці та інститути спрямовують свої зусилля на дослідження нових систем, матеріалів, пристроїв та конструкцій, які можуть підвищити продуктивність існуючих технологій, зменшуючи при цьому їх економічний вплив на навколишнє середовище.

Різні технології, що використовуються сьогодні, розглядаються в наступному розділі, але заслуговує на увагу той факт, що і в 2026 році сонячні елементи на основі кремнію матимуть найбільшу частку ринку серед напівпровідникових матеріалів. Тим не менш, на ринку починають з'являтися й інші конструкції.

1.3 Фотоелектричний елемент

Фотоелектричні (ФЕ) системи досягли комерційної сумісності та прийнятності зі звичайними джерелами генерації енергії завдяки простоті процесу, що дозволяє людям легко встановлювати їх та використовувати вироблену енергію. Отже, давайте почнемо з визначення фотоелектричної системи. Фотоелектрична система - це генератор електроенергії, який поглинає сонячне світло і перетворює його в корисну електроенергію. Вона складається з багатьох аспектів, таких як фотоелектричні модулі, перетворювач/інвертор, накопичувачі енергії (акумулятори), починаючи з фотоелемента, який є ядром фотоелектричної системи. Він виготовляється з напівпровідникових матеріалів, що дає йому можливість перетворювати світло в електричний струм. Рисунок 1.3 демонструє роботу такого перетворення, коли фотон потрапляє на поверхню провідного матеріалу, в результаті чого виникають збуджені електрони. Ці електрони рухаються від р-шару до n-шару, викликаючи різницю в напрузі в ланцюзі [3-6]. Ця різниця напруг виштовхує електрони до решти кола, щоб підтримувати заряди в стабільному стані.

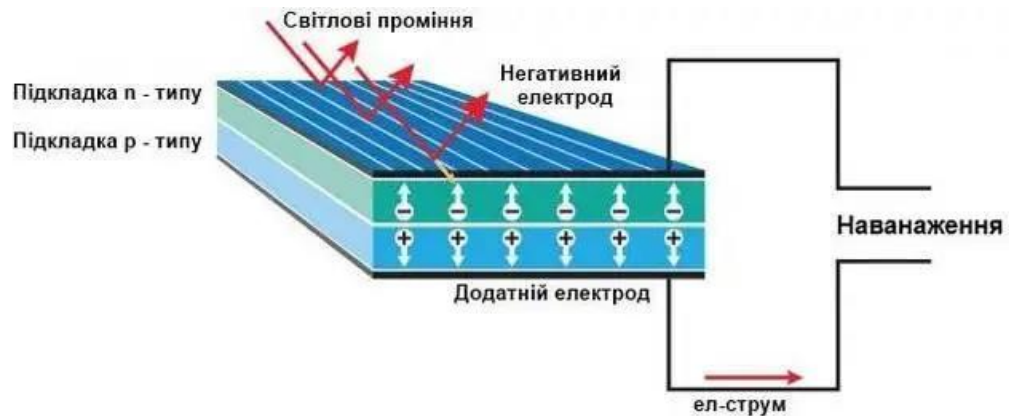


Рисунок 1.3 – Структура сонячного елемента

Кожен сонячний елемент складається щонайменше з 2 спеціально розташованих шарів напівпровідникового матеріалу (зазвичай це кремній), який генерує електрику постійного струму завдяки руху електронів, як згадувалося раніше, коли панель відкрита для сонячного випромінювання.

1.4 Типи фотоелектричних елементів

1.4.1 Сонячні елементи на основі кремнію

Це перше покоління фотоелектричної технології, але найбільш використовуваний тип в сонячних панелях. Хоча вона ще не застаріла, її було вдосконалено, і на сьогоднішній день спектр існуючих типів технологій є дуже широким.

Проте, кремній є найпоширенішим твердим елементом на Землі, і близько 28 % складу Землі припадає на цей матеріал. Це, а також той факт, що технологія його обробки і виробництва зараз дуже зріла і широко розвинена після більш ніж 30 років використання, і з огляду на його відносно високу ефективність і низький ризик виходу з ладу, менше 1 %, робить сонячні елементи на основі кремнію все ще найпривабливішими, з часткою ринку близько 87 % фотоелектричних технологій у 2019 році.

Основними типами кремнієвих фотоелементів є монокристалічні, полікристалічні та зворотно-контактні фотоелементи:

Монокристалічний кремній:

Ця технологія вперше була використана в першому поколінні фотоелектричних систем, як в мережевих, так і в автономних системах, і є найпоширенішою.

Монокристалічні панелі засновані на кристалі кремнію високої чистоти. Кремній являє собою впорядковане і періодичне розташування атомів, так що він має єдину кристалічну орієнтацію. Таким чином, всі атоми розміщені симетрично. Кремнієвий злиток має циліндричну форму діаметром від 13 до 21 см і може досягати до 200 см у довжину. Він має глибокий синій колір і характерний металевий блиск. Хоча деякі експерименти показали вищі значення, вважається, що їхня ефективність становить приблизно 17 %.

Полікристалічний кремній:

У пошуках шляхів здешевлення виробництва монокристалічних елементів були знайдені нові технології, серед яких полікристалічні елементи - новий вид елементів, який на сьогоднішній день є найбільш вживаним.

Кристалічна структура, з якої складаються ці сонячні елементи, має різні форми і напрямки. Злитки полікристалічного кремнію отримують шляхом розплавлення і розливання матеріалу, а потім дають йому застигнути у формі паралелепіпеда. Тому отримані тонкі пластини мають квадратний перетин. Ці типи клітин можна легко розпізнати за зовнішнім виглядом, оскільки їхні скляні зерна і металеві пластівці добре помітні завдяки неоднорідній структурі.

Хоча лабораторні експерименти з цими елементами показали максимальну ефективність 22 %, їх фактична ефективність знаходиться в межах 12-14%, що трохи нижче, ніж у монокристалічних елементів, проте їх вартість також нижча.

Варто зазначити, що як моно-, так і полікристалічні фотоелементи останнім часом перетворюються на фотоелементи із заднім контактом з пасивним випромінювачем, що означає, що вони мають задню поверхню, яка відбиває фотони назад у фотоелемент для повторної спроби поглинання, підвищуючи їх ефективність.

Сонячні елементи зі зворотним контактом:

Сонячні елементи із заднім контактом - це нова концепція конструкції комірки, в якій всі передні контактні решітки переміщені в задню частину комірки, що дозволяє усунути втрати на затінення і зменшити їх контактний опір. Таким чином, елементи можуть бути легко з'єднані між собою і розміщені без проміжків між ними в панелях. Така конструкція підвищує ефективність і в основному використовується в сонячних концентраторах і промислових процесах. Існує три основні типи фотоелементів зі зворотним контактом: з металевою обмоткою (MWT), з емітерною обмоткою (EWT) і зі зворотним з'єднанням (BJ).

1.4.2 Тонкоплівкова технологія

Ця технологія відома як друге покоління фотоелектричних технологій. Тонкоплівкова технологія з'явилася в результаті спроб зробити пристрої легшими і дешевшими, щоб скоротити витрати, а також зробити їх більш екологічними. При зменшенні товщини сонячного елемента його напруга у відкритому контурі зростає внаслідок зменшення струму насичення [7].

Ці елементи створюються шляхом додавання одного або декількох тонких шарів світлопоглинаючого матеріалу до металевій, пластиковій або скляній основи-опори. Товщина комірки набагато менша, ніж у звичайних комірок (у звичайних комірках можуть використовуватися пластини товщиною 200 нм, тоді як тонкоплівкові комірки можуть бути лише 1 мкм), тому тонкоплівкові комірки стають гнучкішими і легшими. З іншого боку, процес виробництва і матеріали, що використовуються, дешевші, а термін служби клітин практично ідентичний стандартним кремнієвим.

Однак вони демонструють меншу ефективність. Дійсно, менша товщина призводить до зменшення ємності, яка, хоча загалом і компенсується використанням різних матеріалів, не дорівнює ефективності звичайних кремнієвих елементів. Незважаючи на те, що лабораторні випробування показали досить хороші максимальні показники ефективності, частка ринку цієї

технології в останні роки після значного зростання має тенденцію до незначного зниження. Крім того, тести і фізичні докази показали, що деградація цих модулів є більшою і швидшою, тому необхідні додаткові бар'єри і захисні засоби для запобігання пошкодженням, викликаним нагріванням, окисленням і вологою.

Аморфний кремній:

Це одна з перших створених тонкоплівкових технологій. Він складається з гідрогенізованої сполуки кремнію, яка не має впорядкованої структури, так що її атоми утворюють безперервну хаотичну мережу, не утворюючи кристалічної матриці. Саме це відрізняє аморфний кремній від кристалічного, окрім того, що він містить 1/300 частину активної речовини, присутньої в кристалічній комірці.

Для його виготовлення кремній наносять на прозору підкладку, утворюючи тонкий шар, який працює як комірка, що має коричневий або темно-попелястий колір. Під впливом сонячного світла комірки зазнають деградації, що знижує їхню ефективність. Для того, щоб оптимізувати цю ефективність, можна додати інші елементи для створення варіацій, наприклад, вуглець або германій.

Аморфні кремнієві елементи мають багатообіцяючу перспективу в майбутньому, оскільки ця технологія дозволяє створювати елементи такої малої товщини в поєднанні з легким і дешевим виробництвом. Тим не менш, вони мають знижену ефективність, від 6 до 8% у комерційно доступних елементах, хоча максимум, досягнутий в лабораторії, становить близько 10%.

Телурид кадмію (CdTe)

Ці елементи є однією з сонячних технологій з найвищим потенціалом. Оскільки його ширина забороненої зони майже ідеальна (1,5 eV), він має високий коефіцієнт поглинання, вловлюючи близько 90% падаючих фотонів [7].

Основна перевага CdTe полягає в тому, що його виробництво дешевше, ніж кремнієвих елементів, і він підходить для широкомасштабних застосувань.

Його провідність може бути змінена на р- або n-тип, оскільки його можна легувати домішками. Надлишок Cd призводить до n-типу, а надлишок Te - до р-типу.

Тим не менш, кадмій є токсичним елементом з довгостроковим впливом на навколишнє середовище, а дефіцит телуриду може вплинути на вартість продажу технології. Отже, необхідно вжити заходів для його належного використання. Що стосується ефективності, то лабораторні випробування показали значення близько 21%, але максимальна ефективність у комерційно доступних елементах становить від 9 до 11% [7].

Селенід/диселенід міді та індію (CIS/CuInSe₂)

Ці елементи є частиною новітньої технології, що розробляється і впроваджується в найновіших фотоелектричних панелях. У них кремній у стандартних сонячних елементах замінюється спеціальними сплавами, такими як мідь, індій і селенід. Існують також елементи CIGS (Copper, Indium, Gallium and Selenide) і CIGSS (Copper, Indium, Gallium, Selenide and Sulfur) [7].

Структура цих елементів (рис. 1.4) нагадує структуру кремнієвих елементів, оскільки вони, по суті, є з'єднанням двох напівпровідників. Подібно до того, як випромінювач і приймач у кремнієвих комірках виготовлені з цього матеріалу, випромінювач у CIS і CIGS виготовлений із сполуки інших напівпровідників. У цих елементах, які мають видатні електричні властивості завдяки ідеальній енергії забороненої зони, яку можна збільшити, додавши галій, використовуються напівпровідникові елементи з високим коефіцієнтом оптичного поглинання. Крім того, ці елементи можуть мати дуже малу товщину, близько 2-3 мкм, на відміну від 200 мкм звичайних кремнієвих, що призводить до здешевлення виробничого процесу.

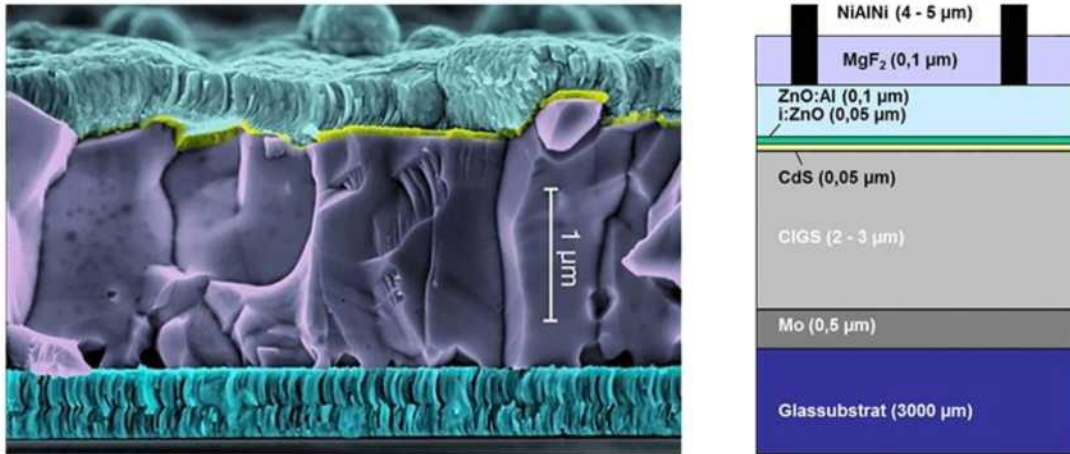


Рисунок 1.4 - Мікроструктура сонячного елемента CIGS: Кольорове зображення розщепленого зразка CIGS (ліворуч), схема стандартної структури сонячного елемента CIGS (праворуч) [7]

Хімічні елементи, що входять до їх складу, надзвичайно рідкісні, зокрема Se та In. Крім того, деякі з них мають дуже високу токсичність, що ставить під загрозу процеси утилізації панелей після закінчення терміну їх експлуатації. Крім того, індій є дефіцитним елементом, що призводить до подорожчання елементів. Елементи CIS і CIGS можуть досягати ефективності 15% у своїй комерційній формі, а максимальне лабораторне значення ефективності становить майже 20% .

Сенсибілізований барвником сонячний елемент:

Це одна з так званих фотоелектричних систем третього покоління. Вони також називаються сонячними елементами Гратцеля [7], їхня поведінка заснована на негальванічному хімічному процесі, в якому хімічні речовини постійно регенеруються. Елементи тонкі, гнучкі та прозорі. Вони утворені світлочутливим анодом, напівпровідником і електролітом, який регенерує барвник. Цей електроліт може замерзнути при низьких температурах і зупинити генерацію струму; саме тому досліджуються альтернативні рішення. Завдяки використанню барвника-сенсибілізатора, що складається з наночастинок діоксиду титану, клітини генерують електричний струм, оскільки цей шар барвника поглинає широкий діапазон довжин хвиль. Коли фотон поглинається, електрон інжектується в зону провідності напівпровідника, і з'являється ефект

дифузії частинок, що створює струм прямого зміщення.

Хоча технологія все ще перебуває на стадії розробки, вона показала ефективність від 11 до 16 %, при цьому має простий і недорогий виробничий процес, що робить комірки Гратцеля сильним конкурентом у масовому виробництві.

Органічні елементи:

Незважаючи на досягнення в галузі сонячної енергетики, вартість виробництва фотоелементів залишається дуже високою для багатьох застосувань, особливо великомасштабних. Складний процес виробництва елементів, який вимагає гарячого вакуумного середовища, обмежує виробництво партіями, що знижує їхню економічну рентабельність. Органічні фотоелектричні елементи (ФЕП) - це технологія третього покоління, що швидко розвивається і може вироблятися на великих поверхнях при відносно низькій температурі, як вакуумними, так і сублімаційними методами, а також за допомогою плівкоутворюючих полімерів. Для поглиначів та акцепторів електронів можна синтезувати багато органічних матеріалів (молекулярних або полімерних).

Крім того, сонячні панелі, що складаються з ФЕП, дешевші, легші і простіші в установці. Для того, щоб конкурувати з існуючою кремнієвою технологією і знайти нові сфери застосування, органічні сонячні елементи повинні відповідати ряду вимог щодо стабільності, ефективності та вартості. Хоча їх термін служби, як правило, менший, ніж у неорганічних елементів, OPV підвищують ефективність, яка в даний час становить близько 13%, але все ще має довгострокову надійність, що є значним бар'єром.

1.4.3 Багатоперехідна технологія

Так звані багатоперехідні комірки, або зазвичай тандемні комірки, - це комірки, які поєднують два різних типи напівпровідникових матеріалів. Така суперпозиція р-п переходів підвищує чутливість до різних довжин хвиль і

покращує продуктивність, оскільки кожен тип матеріалу використовує лише частину електромагнітного спектру сонячного випромінювання. У багатоперехідних пристроях використовується верхня комірка з високою шириною забороненої зони, яка поглинає фотони з найвищою енергією, дозволяючи фотонам з меншою енергією проникати до наступного матеріалу з дещо нижчою шириною забороненої зони і поглинатися там. Комбінуючи два або три типи матеріалів, можна отримати вигоду з більшої частини сонячного світла. З цим типом елементів було досягнуто ефективності 35%. Згідно з деякими дослідженнями, теоретично, поєднання трьох матеріалів може досягти ефективності майже 50%.

- Арсенід галію (GaAs): Технологія GaAs [39] обмежена високим бюджетом її виробництва і дефіцитом матеріалу. Такі елементи в основному використовуються для космічних застосувань, отримуючи вигоду від їх малої товщини і незмінних теплових властивостей. Крім того, з точки зору ефективності, це найцікавіша технологія, оскільки вона знаходиться в межах значень від 25 до 30%.

1.5 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз сучасного стану відновлювальної енергетики. Особливу увагу звернуто на сонячну енергію.
2. Виявлено, що вже 2026 році сонячні елементи на основі кремнію матимуть найбільшу частку ринку серед напівпровідникових матеріалів. Тим не менш, на ринку починають з'являтися й інші конструкції.
3. Проведено аналіз типів фотоелектричних елементів, які можуть бути використані у фотоелектричній водяній насосній установці. Встановлено найбільш перспективні, які будуть обрані для даного проекту.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Фотоелектричні системи

Досить велика кількість фотоелементів може бути з'єднана послідовно або паралельно, щоб сформувати фотоелектричний модуль, як показано на рисунку 2.1. Електроенергія постійного струму збирається за допомогою проводки в панелях, з'єднаних послідовно/паралельно [7].

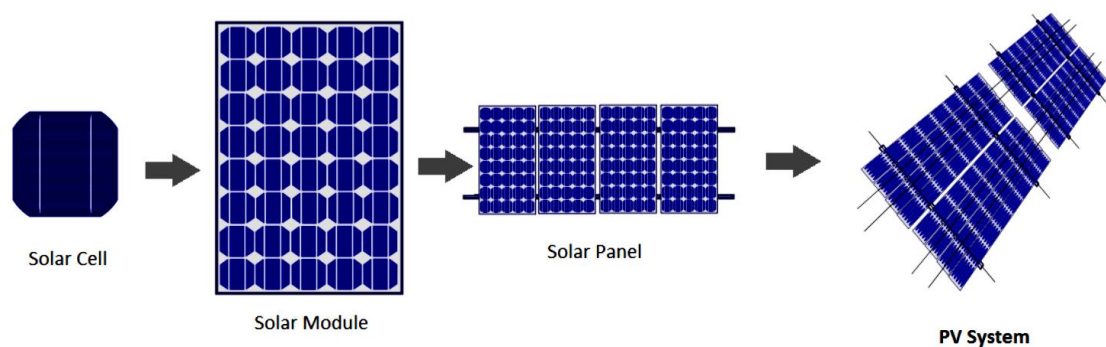


Рисунок 2.1 – Формування фотоелектричної системи з елементів

Частково тіньовий ефект.

Існує багато умов, які виникають під час експлуатації, що спричиняють переривання роботи системи, наприклад, часткова тінь [9,10]. Однак, щоб запобігти цьому, шунтуючий діод можна підключити антипаралельно, як показано на рисунку 2.2. Не обов'язково паралельно підключати кожен комірок, але може бути достатньо декількох комірок.

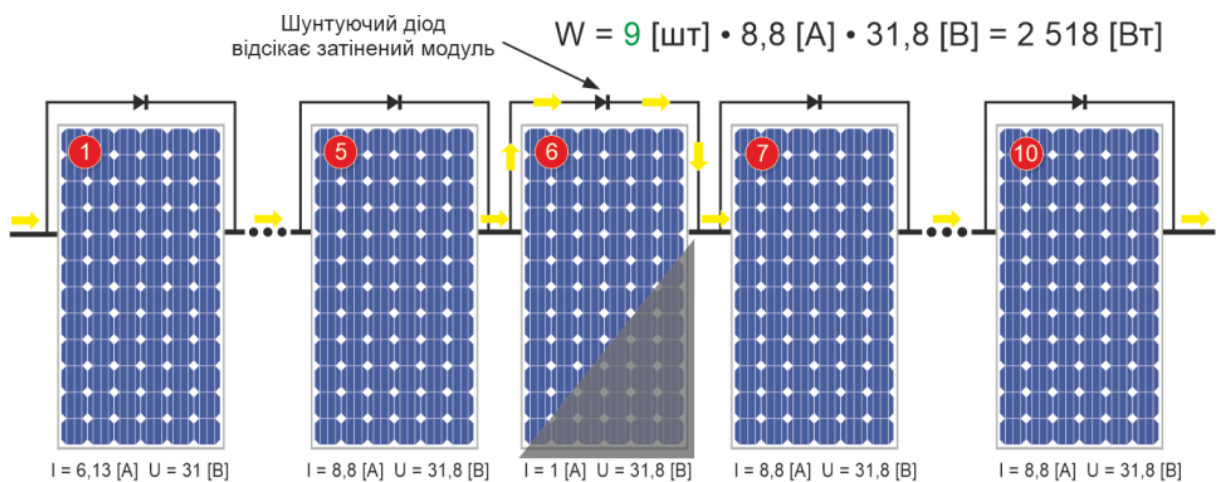


Рисунок 2.2 – Фотоелектрична панель з шунтуючими (байпасними) діодами

З іншого боку, ці діоди дуже ефективні, оскільки не спричиняють жодних втрат, оскільки вони не працюють в нормальному режимі. Якщо деякі елементи затінені, вихідний постійний струм інших елементів буде протікати через діоди, захищаючи сонячну панель від перегріву, який може призвести до пошкодження елементів.

Постійна напруга перетворюється в змінну за допомогою інвертора або підвищується/знижується за допомогою підвищувального або понижувального DC-DC перетворювача. Після цього зібрана електроенергія використовується для того, щоб змусити працювати навантаження, яке в нашому випадку є водяним насосом, що використовує шунтовий двигун постійного струму, тому навантаження є постійним струмом. Потім відбувається видобуток води зі свердловини або колодязя, як тільки вона знову потрапляє під сонячне випромінювання. Як показано на рисунку 2.3, приклад структури системи, пов'язаної з постійним струмом, використовується як автономне підключення до електромережі.

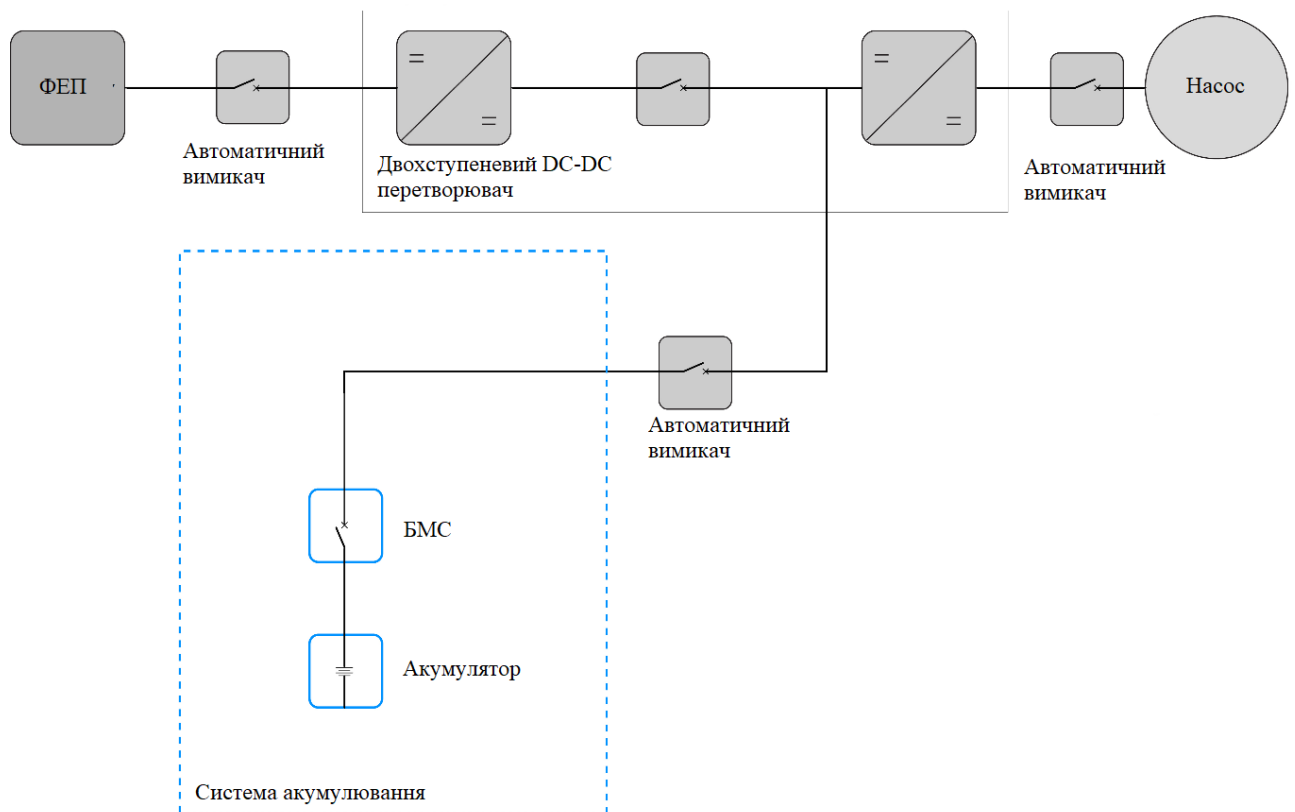


Рисунок 2.3 – Ізолювана сонячна водонасосна система

Однак, іноді можна використовувати двоступеневий DC-DC перетворювач, якщо робочий цикл дуже великий. На схемі нижче показана структура сонячної системи перекачування води. На ній зображено приклад системи нашого дослідження.

Бак для зберігання води є типовою альтернативою зберігання енергії для сонячної системи перекачування води, особливо в регіонах з жарким кліматом. Однак, використання декількох батарей може бути варіантом для надзвичайних ситуацій або, принаймні, для компенсації падіння напруги через часткову тінь під час роботи.

2.2 Водяні насоси, що живляться від фотоелектричної системи

2.2.1 Вибір типу насосу

Насоси забезпечують додаткову енергію для нагнітання або транспортування рідини, в даному випадку води, між двома різними місцями. Зазвичай вони застосовуються в таких галузях, як промисловість, побутова та аграрна. Вибір певної насосної системи для конкретного застосування є досить важливим рішенням і залежить від необхідної потреби в енергії, напорі, продуктивності, можливого подальшого технічного обслуговування та фінансових витрат. Існує кілька типів насосів з різними підкатегоріями (відцентрові насоси та об'ємні насоси є найпопулярнішими типами), кожен з яких використовується в певній галузі. Наприклад, відцентрові насоси застосовуються для широкого спектру потреб у подачі та напорі, як зазначено у звіті Міністерства енергетики США. Ця категорія насосних систем загалом має термін служби від 5 до 10 років з коефіцієнтом корисної дії в межах 80 відсотків. Їх можна розділити на спіральні насосні системи, в яких робоче колесо закрито спіральним кожухом, і турбінні насосні системи, в яких робоче колесо закрито дифузорними лопатями, що дещо нагадують реакційні турбіни.

Другий тип, об'ємні насосні системи, виявляються більш ефективними при високих напорах, і вони є найбільш застосовними для високих напорів з

низькою витратою. З іншого боку, витікання рідини в ущільненні або в клапанах цих насосів призведе до швидкого зниження їхньої потужності і продуктивності. Роторні насосні системи використовуються для низьких напорів, незважаючи на те, що доведено, що вони досягають кращої продуктивності, оскільки перекачують каламутну воду, змішану з брудом. Ці насоси не рекомендується використовувати при висоті напору понад 20 метрів. Насосні системи з ручним або тваринним приводом (наприклад, ручні насоси, водяні колеса тощо) здебільшого використовуються в різних країнах, що розвиваються, для видобування води зі свердловин і колодязів для подальшого зрошення. З іншого боку, потужність, яку вимагають ці насоси, є досить недостатньою порівняно з іншими джерелами енергії, наприклад, відновлюваними джерелами енергії. Крім того, ручні насоси та інші ручні насосні системи майже завжди страждають від системних збоїв, які виникають внаслідок недостатніх зусиль, непродуктивної конструкції, відсутності запасних фрагментів насосних систем для подальшого обслуговування або виснаження, і з цієї причини не заслуговують на довіру.

Водяні насоси, що живляться від фотоелектричної системи.

Ті технології зрошення, які включають великі глибинні насосні системи на сонячних батареях, повинні враховувати той факт, що потреба в зрошувальній воді впродовж року може бути різною. Наприклад, можна сказати, що найбільша потреба в зрошувальній системі протягом сезону зазвичай вимагає щонайменше вдвічі більшої кількості води, ніж звичайна норма протягом решти року. Виходячи з цієї статистики, дослідження, проведене для цього огляду літератури, вказує на те, що сонячні насоси для зрошення не використовуються в достатній мірі протягом більшої частини року. Тому слід приділяти більше уваги системам зрошення в рамках їхнього розподілу води та її використання для сільськогосподарських культур. Очікується, що традиційні зрошувальні насосні системи дозволять мінімізувати, якщо не усунути взагалі, втрати води протягом року, без застосування значного додаткового напору на зрошувальних насосних станціях

і при цьому будуть економічно ефективними. На даний момент існує певна кількість технологічних замінників для доставки енергії або підйому води до систем підземних вод, які включають сонячні батареї, вітрові турбіни, вітряки, електричні генератори та ручні насоси, які приводяться в дію вручну, як це було зазначено у звіті Міністерства енергетики США.

Основними мотиваційними аспектами для вибору відповідної технологічної альтернативи є доцільність території, попит на воду, ефективність обраної системи для цього конкретного регіону, а також попередні та довгострокові витрати. Різні інші аспекти, які впливають на вибір технологічної альтернативи для постачання електроенергії в іригаційну систему, зазвичай включають в себе потребу в запасах електроенергії і води при використанні акумуляторів і резервуарів для зберігання. Системи на сонячних батареях все частіше розглядаються для використання в країнах, що розвиваються, і в розвинених країнах, як заміна іншим методам альтернативної енергетики з тієї причини, що вони зносостійкі, довговічні і демонструють численні економічні вигоди в довгостроковій перспективі, згідно з оглядом Rehman et al [10].

Сонячні насосні системи вважаються доцільним вибором для ізольованих від електромережі сільських районів у країнах, що розвиваються, та розвинених країнах, де є велика кількість сонячного випромінювання. Насосні системи на сонячних батареях здатні розподіляти питну воду без будь-якого виду додаткового живлення або складного технічного обслуговування, яке, наприклад, вимагають дизельні насоси. Крім того, незважаючи на те, що сонячні водонасосні системи не підходять для великомасштабного зрошення, вони здатні ефективно працювати на ділянках з невеликими системами крапельного зрошення. Сонячні водонасосні системи можна вважати великомасштабними у випадку, коли вони обслуговують більше двохсот сорока осіб. Однак фотоелектричні сонячні панелі часто використовуються для виконання різних сільськогосподарських робіт, у віддалених регіонах або в районах, де використання альтернативних джерел енергії є кращим. Якщо бути

точним, то протягом останнього десятиліття були створені водяні насосні системи на сонячних батареях, які постійно генерують достатню кількість електроенергії безпосередньо з сонячного випромінювання для того, щоб доставляти воду для худоби.

Сонячні водяні насоси можуть бути особливо цінними в рамках дрібномасштабного або громадського зрошення, з тієї причини, що обслуговування великомасштабного зрошення потребує більшої кількості води, що, відповідно, потребує більшого сонячного фотоелектричного масиву. Більші насосні системи здатні подавати близько 150 000 літрів води на день із загального напору в десять метрів.

Довгострокові фінансові витрати і можливість регулювання насосної системи на сонячних батареях відповідно до постійно мінливих потреб повинні бути враховані в техніко-економічному обґрунтуванні цієї насосної системи. Цей розвиток певною мірою пов'язаний зі здатністю населення, яке використовує насосні системи для зрошення, також пристосовуватися до постійно мінливих потреб. Насосна система, що працює на сонячній енергії, є найкращим альтернативним рішенням для іригації.

2.2.2 Вибір насоса та проектування системи

Існує багато факторів, які впливають на вибір сонячної системи перекачування води; однак, це найбільш важливі аспекти, які слід враховувати

Джерело води, яке може бути як поверхневим, так і підземним.

Потреба у воді, яка може бути виражена як швидкість потоку ($\text{м}^3/\text{с}$) або об'єм води за певний час, наприклад, $200 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Загальний динамічний напір (ЗДН), він може бути виражений у метрах.

Сонячне випромінювання ($\text{Вт}/\text{м}^2$) є одним з найбільш важливих аспектів при визначенні розміру такої системи. Це повинен бути перший фактор, який слід взяти до уваги, тому побудова такої системи повинна ґрунтуватися на ньому.

На рисунку 2.4 показані компоненти системи перекачування води на сонячних батареях і типовий метод керування - поплавковий вимикач. Це один з найпростіших методів керування в сонячних системах перекачування води.

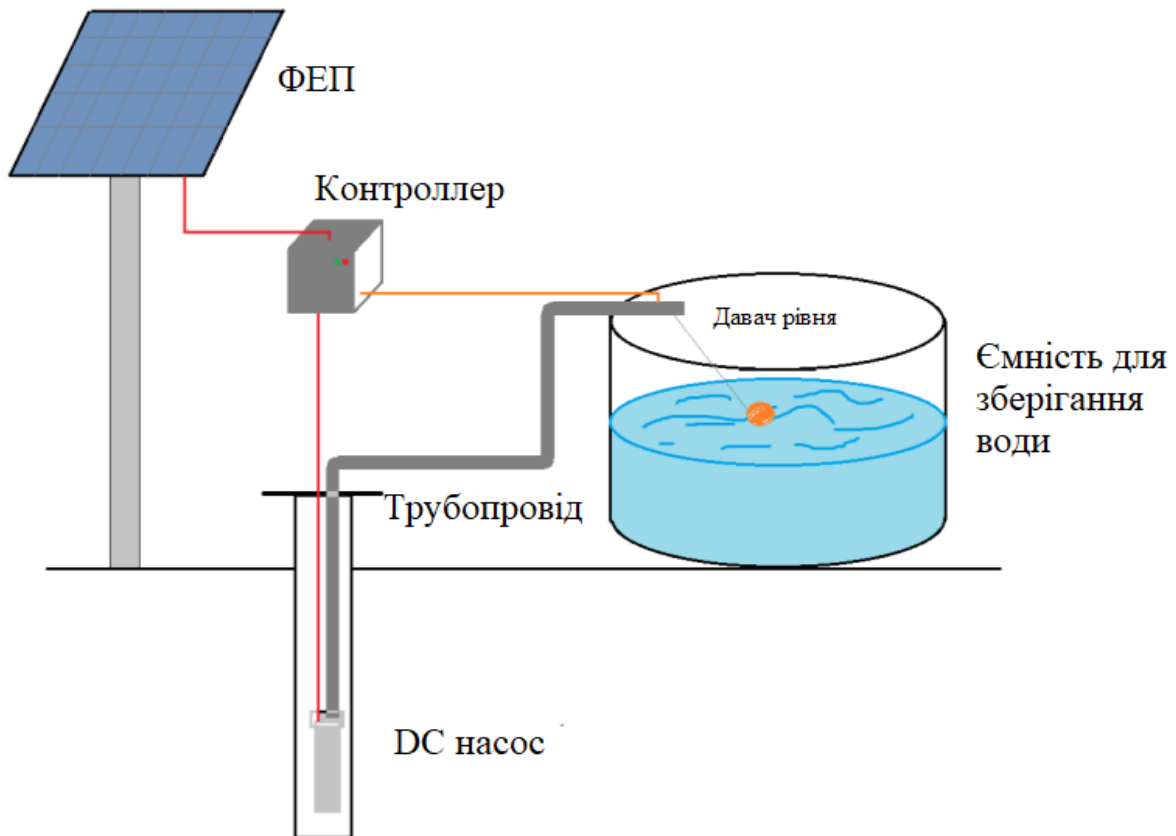


Рисунок 2.4 - Компоненти систем перекачування води на сонячних батареях

2.3 Принципи перекачування води сонячною енергією

2.3.1 Тиск

Для цілей планування створення системи перекачування води на сонячних батареях, тиск можна розглядати як зусилля, яке насосна система повинна докласти для того, щоб перекачати певний об'єм води. Дослідження, які були проведені для цього огляду літератури, показують, що тиск найчастіше

виражається в psi. Крім того, ці змінні час від часу також згадуються як втрати тиску. Будь-яка зміна висоти між джерелами води і кінцевим пунктом призначення впливає на те, наскільки ефективно повинна працювати насосна система, або який тиск необхідно створити, щоб вода досягла кінцевого пункту призначення. Якщо бути точним, насосна система повинна створювати 0,433 psi. У випадку, коли на шляху води зустрічаються різні топографічні особливості, і потік постійно рухається то вгору, то вниз, зміни рівнів висоти між поверхнею води в початковій точці і рівнем розряду в кінцевій точці є однією з основних змінних, які необхідно враховувати при проектуванні сонячної водонасосної системи з точки зору величини тиску, який система повинна генерувати.

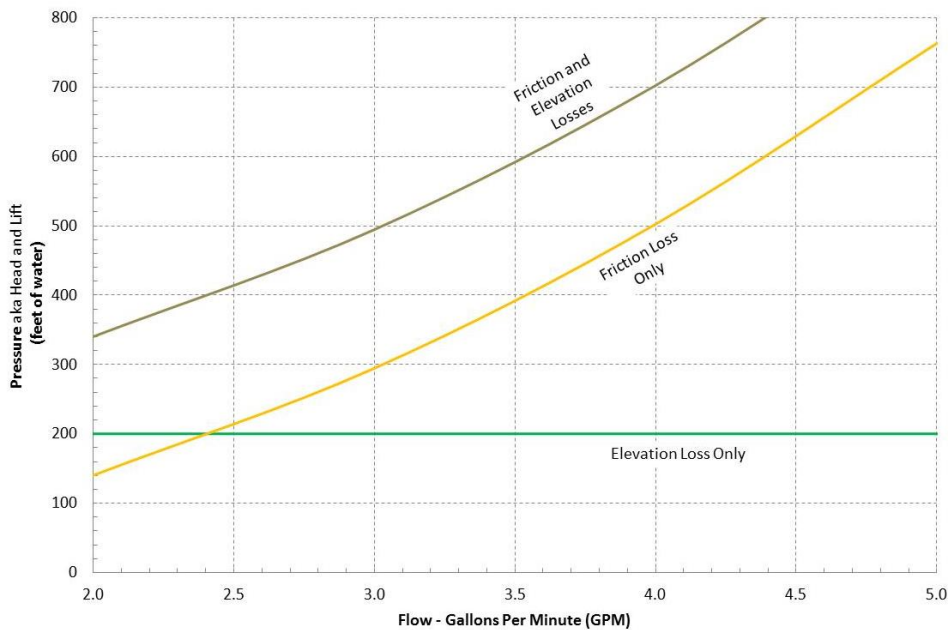


Рисунок 2.5 - Зміна тиску в системі перекачування води на сонячних батареях [11]

Крім того, діаметр і довжина труб, а також вигини і обмежувачі, наприклад, трубопровідні клапани, впливають на величину тиску, який буде втрачено і який, отже, повинна генерувати насосна система для створення постійного потоку. Втрати тиску, пов'язані з різними проблемами в трубах, різко зростають зі збільшенням потоку, як показано на рис. 2.5.

2.3.2 Потік

Дослідження, які були проаналізовані під час огляду літератури, показують, що під витратою зазвичай розуміють кількість води, яка може бути розподілена за допомогою сонячної насосної системи протягом певного періоду часу. Потік води в геліосистемі зазвичай вимірюється в галонах на хвилину або галонах на годину. У випадку, коли кожна змінна в системі залишається незмінною, потік води буде зменшуватися зі зростанням тиску і збільшуватися зі зменшенням тиску. Наприклад, на прикладі ідентичної насосної системи та ідентичної установки потужності, у випадку, коли кількість зусиль, які насосна система повинна подолати за допомогою підвищення нагнітання або за допомогою труб меншого діаметру (загалом кажучи, збільшення тиску, який повинна генерувати насосна система), збільшується, то очікується, що насосна система буде розподіляти меншу кількість води (іншими словами, менший потік) в галонах на хвилину, як це показано на рис. 2.6.

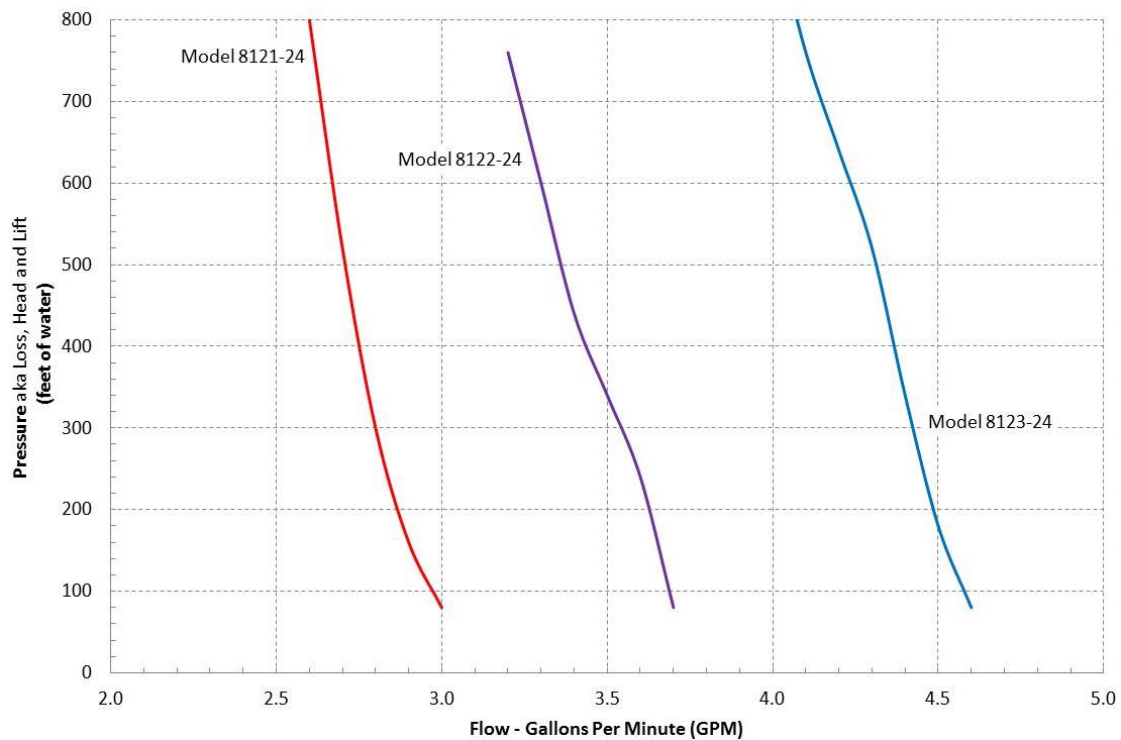


Рисунок 2.6 - Змінна витрати в системі перекачування води на сонячних батареях [11]

Для того, щоб визначити місце, де буде функціонувати насосна система, важливо враховувати як криву системи (яка складається з тиску, що втрачається через проблеми з трубами, наприклад, довжину та обмеження), так і криву насоса (галони в хвилину потоку води, який буде подаватися насосною системою при зміненому тиску). Робочу точку, або справжню величину навантажень (тобто тиск і потік разом), яку має подолати насосна система, можна визначити, якщо одночасно нанести криві, показані вище на рис. 2.5 і рис. 2.6, на одну вісь і в одному масштабі, як це показано на рис. 2.7. З метою отримання прибутку від ресурсів сонячної енергії в такого роду установках винахідливо і ефективно, вдосконалення конструкції фотоелектричних масивів і оцінки калібрування є важливими .

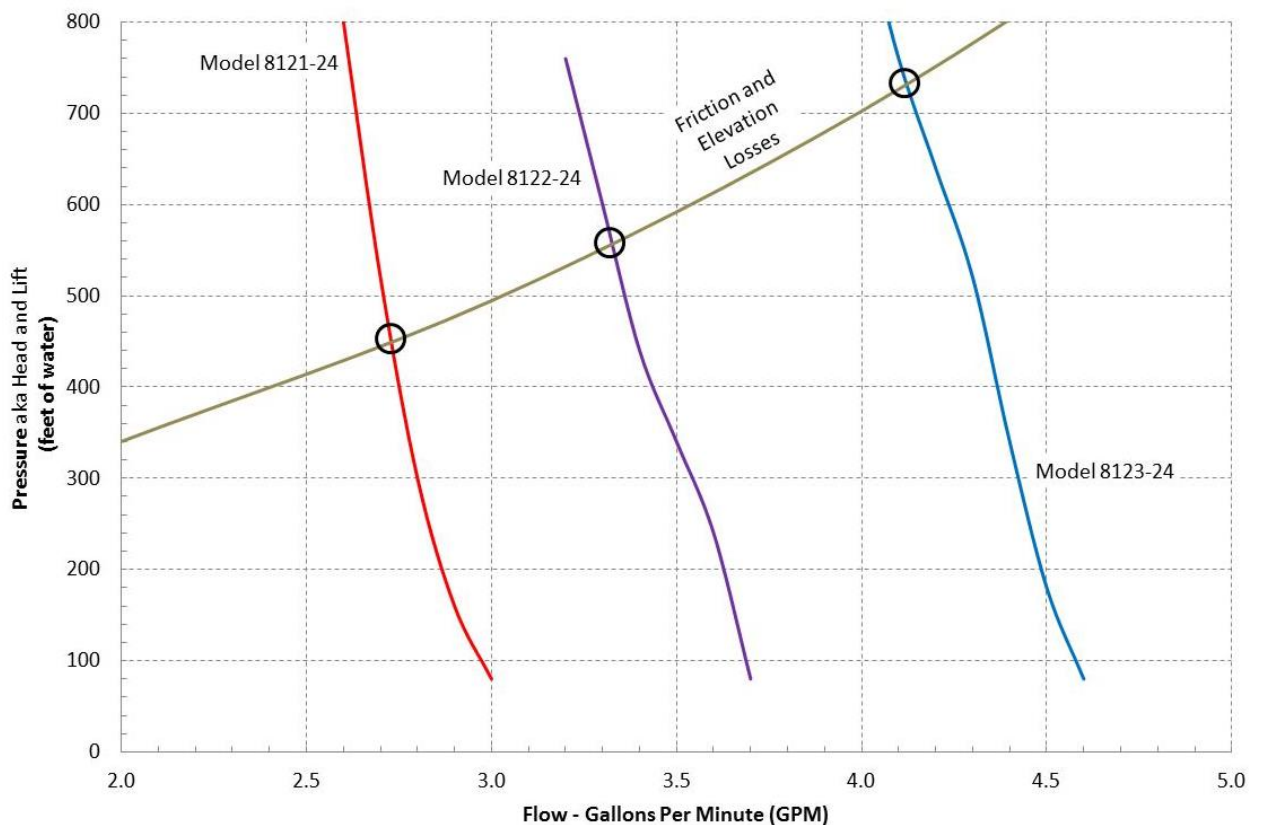


Рисунок 2.7 - Фактичний обсяг роботи системи перекачування води на сонячних батареях [11]

2.3.3 Потужність насоса

Кожна водонасосна система, що працює на сонячній енергії, має можливість генерувати широкий спектр різних комбінацій потоків і тисків. Сонячні насосні системи споживають певний відсоток потужності відповідно до загального тиску, який необхідно створити, щоб розподілити задану кількість води. Потужність демонструється у ватах, і фотоелектричні панелі також оцінюються у ватах. Одночасно з вимірюванням масиву фотоелектричних панелей важливо забезпечити точну кількість енергії, необхідну для сонячного насоса. Це можна пояснити тим, що встановлення більшої кількості фотоелектричних панелей, ніж потрібно, може призвести до того, що насосна система вмикатиметься швидше або повільніше з початком дня або в умовах поганого освітлення. З іншого боку, встановлення більшої кількості фотоелектричних панелей для отримання більшої потужності може не підсилити швидкість потоку в середині дня, коли сонце найяскравіше, тому встановлення трекера максимальної потужності (MPPT) разом з фотоелектричними панелями є дуже важливим.

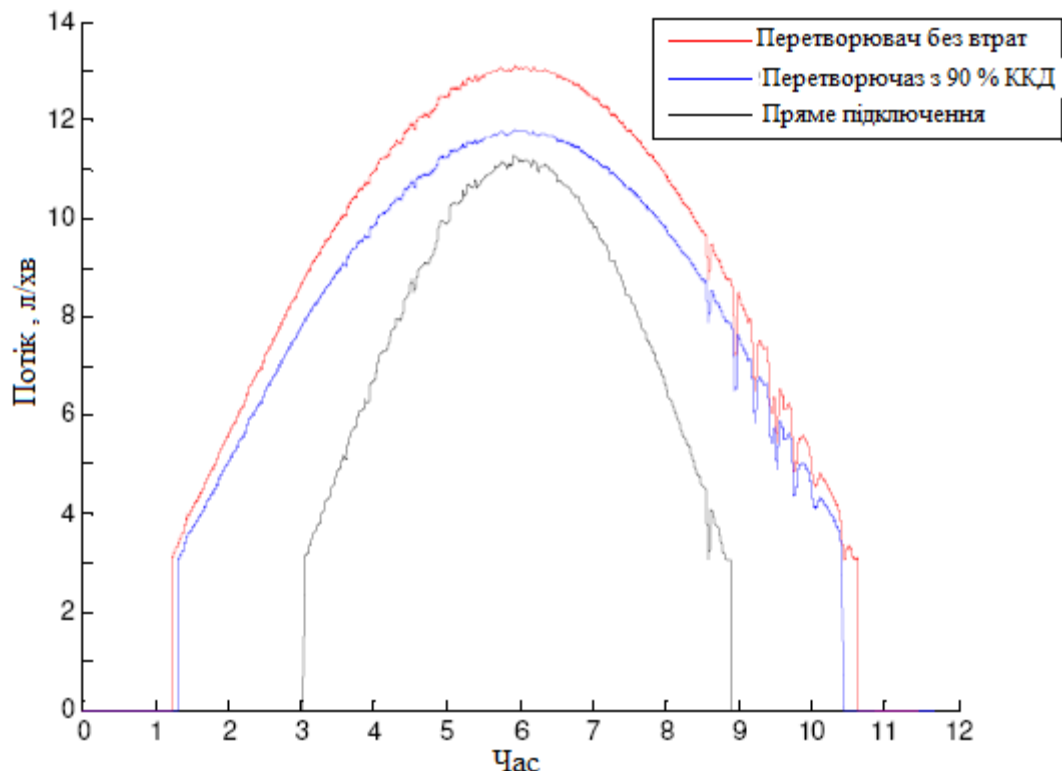


Рисунок 2.8 - Швидкість потоку в сонячній системі перекачування води [12]

Запропонована в цій роботі система подібна до тієї, що була проілюстрована на рисунку 2.3. Система є системою постійного струму, має двохступеневий DC-DC підвищувальний перетворювач, оснащений MPPT і PID-регулятором, як показано на блок-схемі нижче (рис. 2.9). Ця система здатна подавати необхідну кількість води при задовільній роботі контролера.

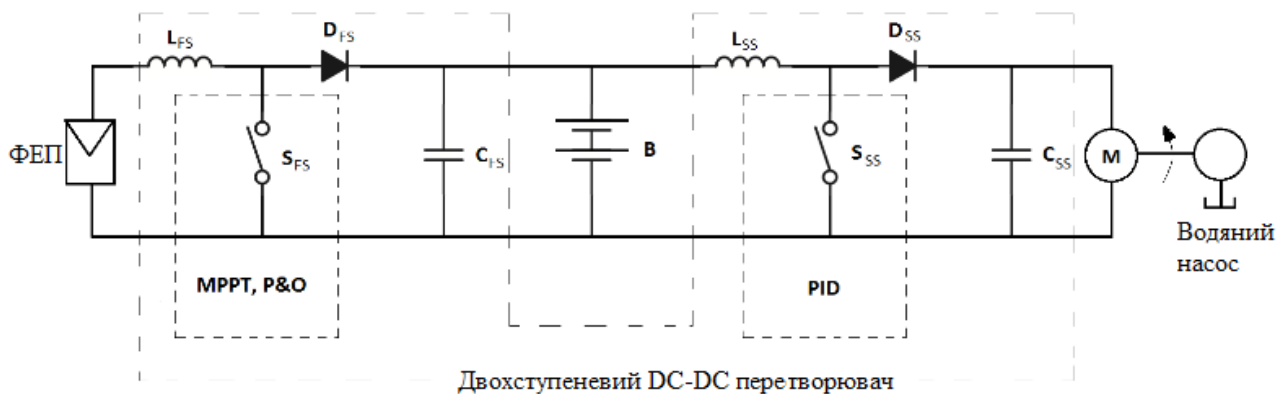


Рисунок 2.9 - Блок-схема запропонованої системи

2.4 Висновки до розділу

1. Описано особливості формування фотоелектричної системи з елементів.
2. Проаналізовано роботу фотоелектричної системи у режимах часткового затінення.
3. Представлено ізольовану сонячну водонасосну систему. Надано опис її принципу дії та опис основних елементів.
4. Сформовано блок-схему запропонованої системи.
5. Описано принципи перекачування води «сонячною енергією».
6. Виконано вибір насосу для запропонованої системи.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Інформація про об'єкт

Результати цієї кваліфікаційної роботи планується впровадити на фермерському господарстві. Вибір правильного розміру сонячної системи є дуже важливим, особливо при споживанні високих навантажень, таких як великі насоси. У той же час, якщо вибір розміру був зроблений неефективно, це вплине на багато аспектів, таких як вартість і виробництво енергії. Визначення розміру будь-якої геліосистеми для перекачування води повинно проходити через певні етапи, щоб гарантувати, що така система буде надійною і правильно підбраною.

Джерело води, чи то свердловина, чи то ставок, є одним з найважливіших факторів, який необхідно визначити при виборі типу насоса. Вибір типу насоса залежить від напору та швидкості потоку, оскільки джерело води відіграє велику роль у цьому. У нашому випадку джерелом води є свердловина глибиною 115 м, але рівень насоса був обраний на глибині 111 м. Чотири метри було залишено для накопичення води під землею, щоб уникнути пошкодження насоса піском або камінням.

Два способи використання води, як правило, вимагають великої частки води - питна вода та вода для зрошення. Для кожного з них існують різні вимоги до розмірів; однак, у нашому випадку ми будемо використовувати воду для зрошення.

Було спрогнозовано добову потребу у воді для зрошення середнього фермерського господарства (рис. 3.1). Рослини споживають приблизно 95% водопостачання. При цьому середньодобове споживання води для одиниці площі становить 184,4 л/день [12].

Отже, середньодобове споживання всієї ферми можна отримати з наведеного нижче виразу.

$$\frac{\text{площа} \times \text{споживана вода на одиницю площі}}{0,95} =$$

$$= \frac{1260 \cdot 184,4}{0,95} = 244900 \text{ л / добу} = 244,9 \text{ м}^3 / \text{день} \quad (3.1)$$

Попит на воду не є фіксованим кожного дня, але є сезонні коливання. Наприклад, влітку рослинність потребує більше води, ніж в інші сезони через підвищену температуру

Середня типова бажана кількість води на день становить майже 245 м³/день з глибокої свердловини, як правило, з 4-дюймовою трубою, як показано на рисунку 3.1.

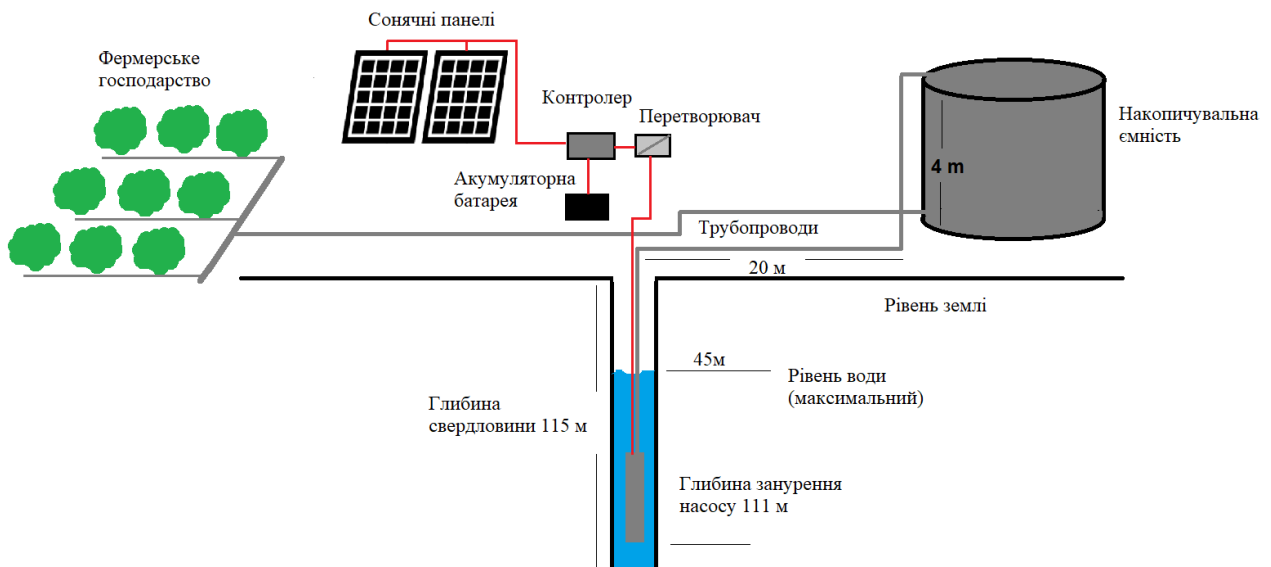


Рисунок 3.1 - Схематичне зображення сонячної фотоелектричної водонасосної системи

3.2 Розрахунок загального динамічного напору (ЗДН)

Як згадувалося в попередньому пункті, в іригаційному процесі існує інший спосіб розрахунку розміру насоса, який базується на оцінці загального динамічного напору (ЗДН) для перекачування води. Він враховує довжину труб, а також деяке механічне тертя.

Наступні параметри розглядаються для оцінки ЗДН і базуються на такому конкретному прикладі. Ці параметри проілюстровані на рисунку 3, як і довжина

труб.

- Внутрішній діаметр труби становить 4”.

- Глибина свердловини становить 115 м; однак насос буде встановлено на глибині 111 м, тоді як середній рівень води становить 45 м.

- 3, стандартні коліна 90° встановлюються, як показано на рисунку 3.

Коліна, як і горизонтальні труби, мають певне тертя, яке представлене коефіцієнтами.

$$ЗДН = 111 \text{ м (вертикально)} + [(1.8 \cdot 3 \text{ коліна}) + 20 \text{ м}] \times 20\% + 4 \text{ м (вертикально)} = 120.08 \sim 120 \text{ м}$$

Таким чином, загальний динамічний напір становить приблизно 120 м, що буде використано при виборі типорозміру насоса.

3.3 Вибір типорозміру насоса

Існує кілька методів, які використовуються для вибору найкращої або оптимізованої системи. Одним з цих методів є використання програмного забезпечення Homer (<https://homerenergy.com/>) разом з деякими розрахунками. Homer був розроблений і протестований Національною лабораторією відновлюваної енергетики (NREL), а зараз він підтримується енергетичною компанією HOMER [7]. Homer може бути дуже корисним інструментом, якщо його використовувати з точними значеннями цін і розмірів фотоелектричних модулів, перетворювачів, акумуляторів та інших компонентів. У цьому дослідженні всі ціни та розміри були обрані правильно.

Для того, щоб розпочати розрахунок такої системи, необхідно оцінити типорозмір насоса. Оскільки загальний напір і потреба у воді для ферми відомі, розрахунок типорозміру насоса є простим і може бути виконаний за допомогою наступного виразу [7].

$$P_{hyd} = \rho g H Q \quad (3.2)$$

$$P = \frac{P_{hyd}}{\eta} = \frac{\rho g H Q}{\eta} \quad (3.3)$$

де P_{hyd} - гідравлічна потужність (кВт),
 ρ - густина води (1000 кг/м³),
 g - гравітаційна стала (9,81 м/с²),
 H - повний напір (м),
 Q - витрата (м³/с),
 P - потужність валу (кВт),
 η - ККД насоса (65%).

Повний напір включає відстань від рівня насоса до резервуара, а також частку колін. Як показано вище, динамічний повний напір становить 120 м, а максимальна витрата - 260 м³/добу.

Результати з рівнянь (3.2) і (3.3) показують, що розрахунковий розмір насоса становить 5,4 кВт, який може подати необхідну кількість води.

3.4 Вибір потужності сонячної фотоелектричної системи

Виходячи з розміру насоса, за допомогою програмного забезпечення Noмер можна вибрати фотоелектричну панель і батареї. Як показано нижче на рисунку 3.2, схема всіх електричних компонентів, побудована в Noмер. Очевидно, показано, що система підключена до мережі змінного струму, однак це не так. Оскільки ми маємо два різні рівні напруги постійного струму, то для цього потрібні дві шини, що не передбачено в конфігурації постійного струму.

Почнемо з джерела енергії, яким є сонячне випромінювання, тому обране місце – у м Тернопіль є достатня кількість сонячної енергії впродовж 9 місяців коли вирощують овочі.

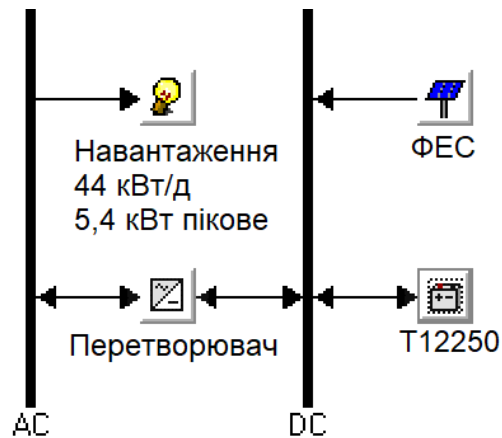


Рисунок 3.2 - Схема з'єднання компонентів електричної системи

Результати з рівнянь (3.2) і (3.3) показують, що розрахунковий розмір насоса становить 5,4 кВт, з урахуванням інших факторів, які вимагають більшої потужності. Після апроксимації навантаження, Номер можна використовувати для вибору покращеної системи.

Навантаження було введено в Номер, як показано на рисунку 3.3. Та ж концепція застосовується до навантаження, яке виглядає як змінний струм, але насправді є постійним. Причиною цього є збереження перетворювача, оскільки ми маємо різні рівні напруги, як згадувалося раніше. Це не вплине на конфігурацію системи. Отже, результат буде однаковим як для змінного, так і для постійного струму, який має перетворювач.

Можна помітити, що насос працює 8 годин на день з 9 ранку до 5 вечора. Мета полягає в тому, щоб використовувати його якомога більше при денному світлі, особливо під час пікових навантажень з 10 ранку до 6 вечора.

В якості компонентів системи обрано сонячні панелі потужністю 11,6 кВт, перетворювач потужністю 6,8 кВт та 9 акумуляторів (200А, 12В). Як автономної системи цього джерела живлення буде достатньо для перекачування необхідної кількості води з невеликим відсотком надлишкової електроенергії.

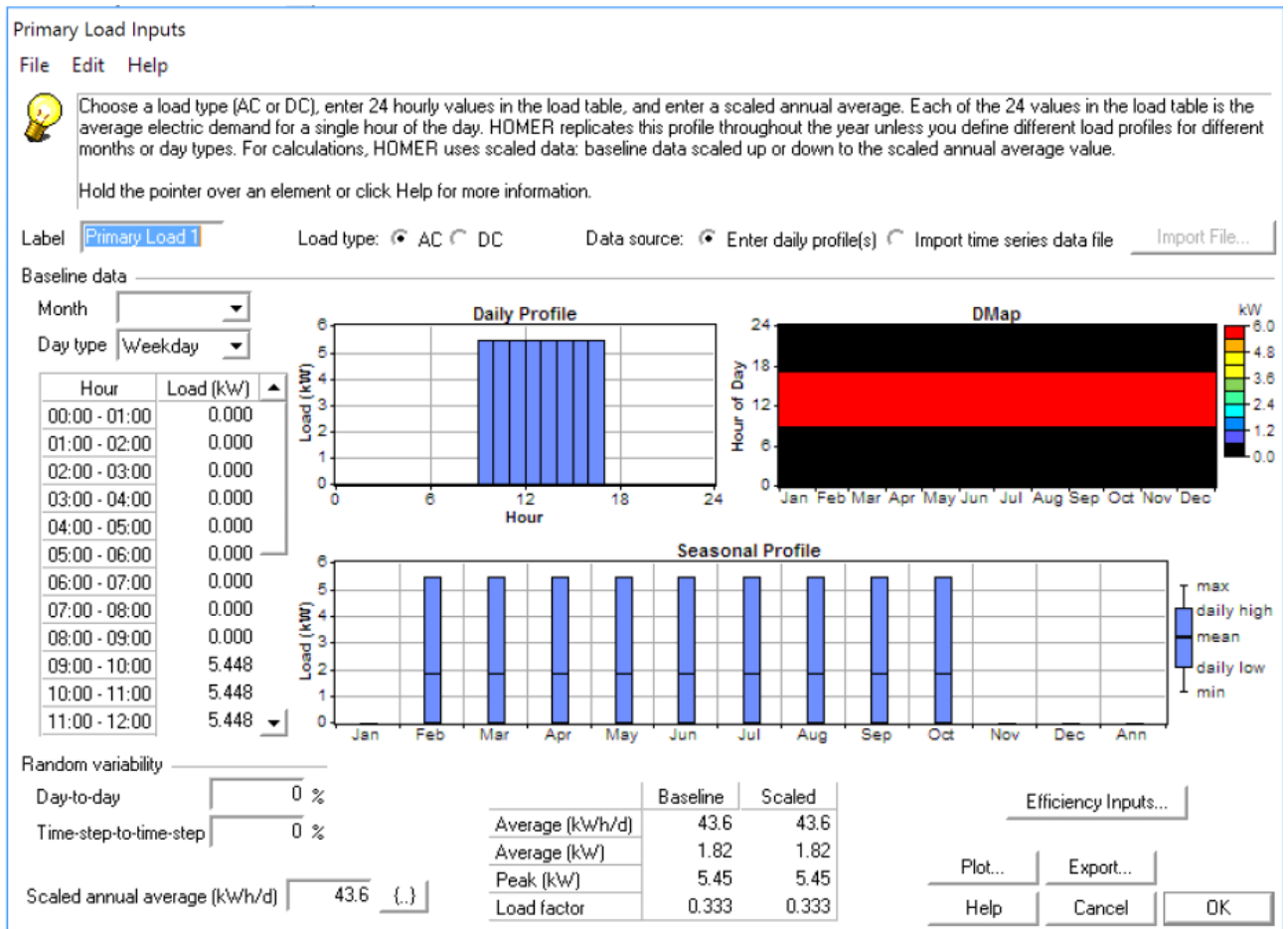


Рисунок 3.3 - Вхідні дані навантаження (Homer).

Разом з даними про навантаження було використано сонячне випромінювання для обраного місця. Крім того, були задіяні різні розміри систем, включаючи доставку та встановлення. Таким чином, моделювання показує оптимізовану систему, як показано на рисунку 3.4.

Іншим методом визначення розміру є програмне забезпечення PVsyst, яке має можливість вибрати відповідний насос, а також фотоелектричну систему; однак, на відміну від Homer, для зберігання енергії було обрано бак, а не батареї. В програму були введені ті ж самі вхідні дані, що і в Homer, включаючи потребу у воді, загальний напір, рівень насоса та характеристики ділянки.

На рисунку 3.5 показані параметри обраної системи в PVsyst, які дуже близькі до параметрів в Homer. Розмір фотоелектричної станції становить 11,5 кВт, а розмір насоса – 2 штуки по 3,7 кВт. Як згадувалося в розділі

розрахунку в Homer, розмір насоса становив 5,4 кВт, що було близьким до точного завдяки використанню деяких формул. Однак у PVSyst такого розміру немає, тому було рекомендовано 2 насоса по 3,7 кВт кожна.

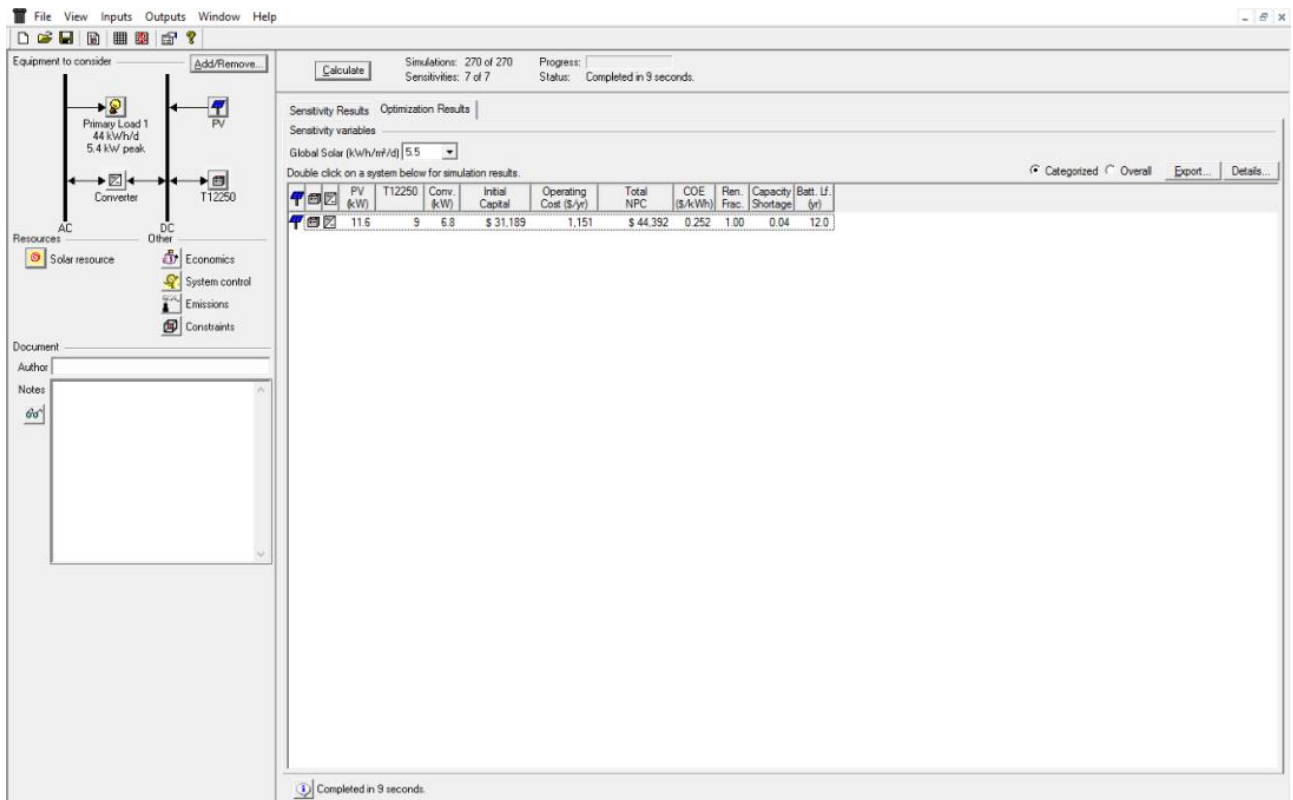


Рисунок 3.4 - Обрана оптимізована система після моделювання (Homer)

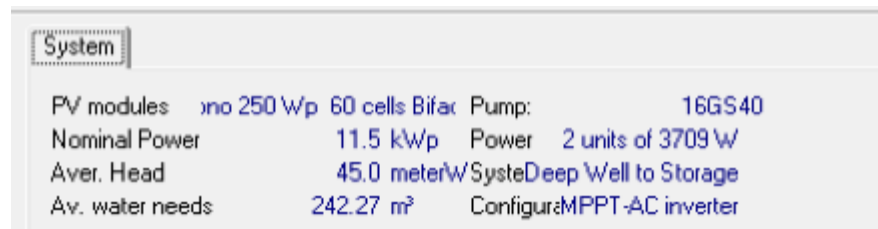


Рисунок 3.5 - Знімок екрану PVSyst з параметрами моделювання.

3.5 Можливі методи зберігання енергії

3.5.1 Визначення розміру акумулятора

Як показано в Homer sizing, для стабілізації системи було обрано 9 батарей. Однак їх недостатньо, щоб покрити повне вимкнення такої системи на добу. Вони можуть забезпечити роботу системи протягом декількох годин, як це можна оцінити за допомогою:

$$Час = \frac{9(200A \cdot год \cdot 12V)}{5448Вт} = 3,96 \approx 4 \text{ год} \quad (3.4)$$

Таким чином, це може допомогти заповнити падіння напруги під час роботи або у випадку надзвичайних ситуацій.

Оцінку кількості батарей для двох похмурих днів можна отримати, як показано нижче.

$$\text{Споживання енергії за 2 дні} = 5,448 \text{ кВт} \cdot 8 \text{ годин} \cdot 2 \text{ дні} = 87,16 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.5)$$

Оскільки напруга в мережі становить 220 В, а глибина розряду батареї - 80%, то кількість акумуляторів можна розрахувати так, як показано нижче:

$$N = \frac{8716 \text{ Вт} \cdot \text{год}}{220 \text{ В} \cdot 200 \text{ А} \cdot \text{год}} \cdot 0,8 = 3,1 \approx 3 \text{ вітки} \quad (3.6)$$

Таким чином, кількість батарей можна легко визначити, оскільки ми маємо 9 батарей на кожну вітку.

$$\text{Кількість батарей} = 3 \text{ вітки} \cdot 9 \text{ батарей} = 27 \text{ батарей} \quad (3.7)$$

З фінансової точки зору, це не є доцільним, оскільки вартість заміни батарей та їх обслуговування дуже висока. Бак для зберігання води може бути кращим вибором, як показано далі.

3.5.2 Розміри бака для зберігання води

Той самий період часу, що і при визначенні розміру батареї, застосовується і до бака для зберігання води. Було зроблено припущення, що відсутність освітлення або похмурі дні бувають лише два. Таким чином, розмір бака буде оцінюватися як:

$$V_{\text{б}} = N \cdot V_{\text{сер.д}} = 2 \text{ дні} \cdot 245 \text{ м}^3 = 490 \text{ м}^3 \quad (3.8)$$

де $V_{\text{б}}$ – об'єм бака;

N – кількість похмурих днів;

$V_{\text{сер.д}}$ – середня кількість води, що споживається в день.

Отже, якщо висота резервуару вже відома, а вона становить 4 метри, то діаметр резервуару показаний на рис 3.6.

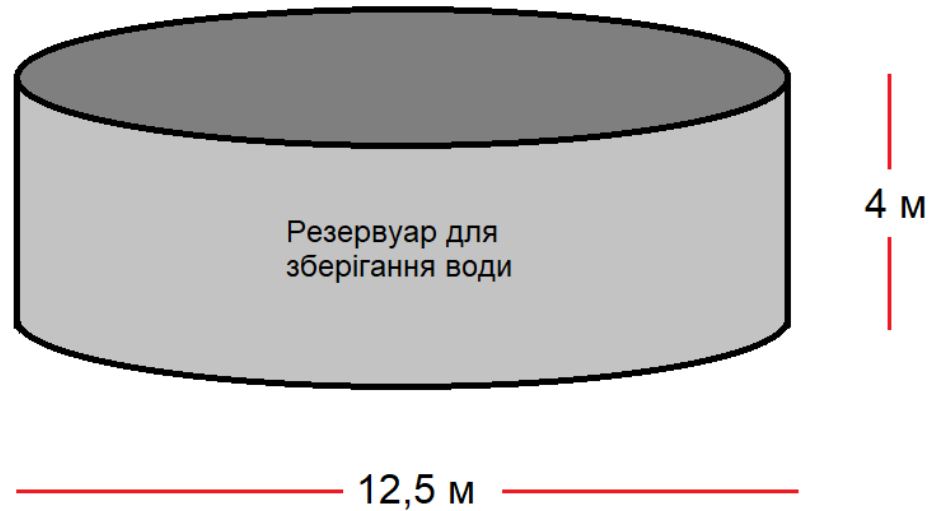


Рисунок 3.6 – Резервуар для зберігання води об'ємом 490 м^3

Вартість резервуару набагато дешевша за батареї; нижче наведено розрахунок з деякими деталями.

Резервуар виготовлений з бетону, який є поширеним типом для іригації в Саудівській Аравії. Резервуар має форму циліндра, як показано на рисунку 3.10. Об'єм циліндра повинен бути таким, як розраховано у виразі 5.

$$V = r^2 \cdot h \cdot \pi , \quad (3.9)$$

де V - об'єм в м^3 ;

r - радіус в м;

h - висота в м,

$$V = 6,252 \cdot 4 \cdot \pi = 490,5 \text{ м}^3.$$

3.6 Моделювання фотоелектричної водонасосної системи

3.6.1 Опис запропонованої система зрошення

У попередніх розділах була розроблена і спроектована великомасштабна сонячна система зрошення. На основі таких даних системи було проведено динамічне моделювання. Автономна сонячна водонасосна система потужністю 11,5 кВт спроектована з 9 батареями (200А-12В), щоб запобігти падінню напруги під час роботи, наприклад, через рух хмар або тимчасову тінь. Така система складається з 50 фотоелектричних модулів, трекера точки максимальної потужності (MPPT), двоступеневого DC-DC перетворювача та водяного насоса постійного струму, як показано на рис.3.7. Ці компоненти будуть змодельовані окремо, як буде показано в наступних розділах, а потім об'єднані разом для вивчення динамічної поведінки системи.

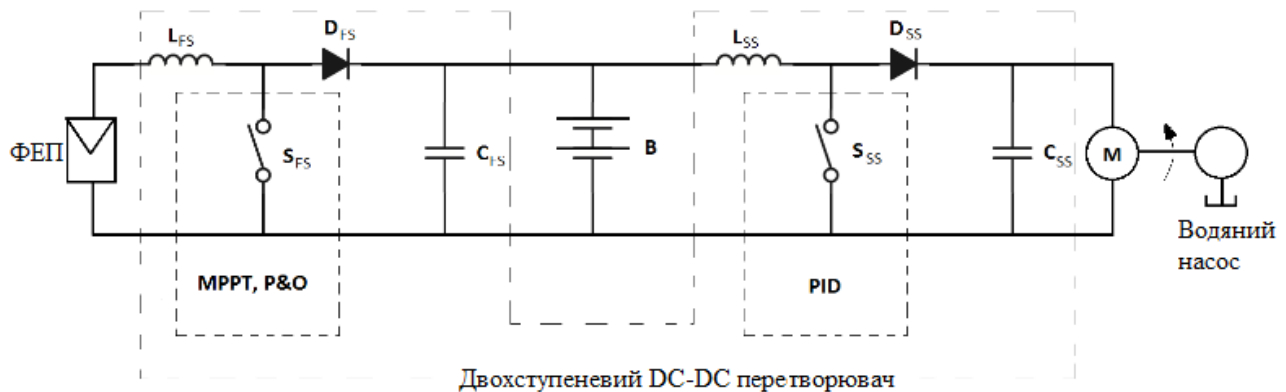


Рисунок 3.7 - Блок-схема запропонованої системи

3.6.2 Моделювання фотоелектричних модулів

Технічні характеристики, наведені в таблиці 3.1 для фотоелектричного модуля потужністю 230 Вт, а також рівняння (3.1)-(3.9) були використані для побудови такого модуля на основі еквівалентної схеми сонячного елемента, показаної нижче на рисунку 3.8.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики фотоелектричних модулів

Пікова потужність Вт	230
Максимальна напруга живлення V_{mp}	29,23
Максимальний робочий струм I_{mp}	7,88
Напруга холостого ходу V_{oc}	36,54
Струм короткого замикання I_{sc}	8,38
ККД модуля %	14
N_s	2
N_p	25

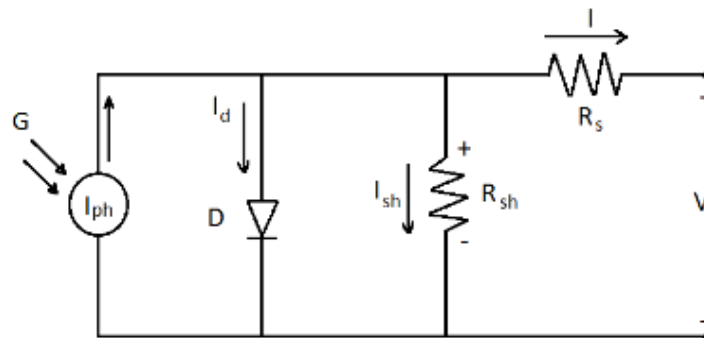


Рисунок 3.8 - Еквівалентна схема сонячного елемента

Як показано на рисунку 3.9, модель фотоелектричного модуля на основі Matlab/ Simulink була побудована з використанням наступних рівнянь. [15,16]. Вони показують зв'язок між напругою та струмом.

$$V_t = \frac{KT_{op}}{q} \quad (3.10)$$

де V_t - Теплова напруга,
 K - стала Больцмана $1,38e-23$,
 T_{op} : робоча температура в градусах Цельсія,
 q - заряд електрона $1.6e-19$ С.

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\frac{V_{oc}q}{\left[e^{KCT_{op}n} \right]}} \quad (3.11)$$

$$I_{sh} = \frac{V + I_{rs}}{R_p} \quad (3.12)$$

$$I_d = \left[e^{\frac{(V+I_{rs})}{(NV_tCN_s)}} - 1 \right] I_s N_p \quad (3.13)$$

На практиці одного сонячного елемента зазвичай недостатньо для будь-якого навантаження через низьку потужність енергії, що виробляється.

Щоб отримати більшу потужність фотоелектричної системи, сонячні елементи повинні бути з'єднані послідовно і паралельно.

$$I = I_{ph}N_p - I_d - I_{sh} \quad (3.14)$$

$$V_{oc} = V_t \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} \right) \quad (3.15)$$

$$I_{ph} = G_k \left[I_{sc} + K1(T_{op} - T_{ref}) \right] \quad (3.16)$$

де G_k - коефіцієнт сонячного опромінення,
 T_{ref} . - референтна температура 25 °С,
 I_s :- зворотний струм насичення діода, А,
 I_{rs} - зворотний струм насичення діода, А,
 I - вихідний струм модуля, А,
 I_{sh} - струм шунтування, А,
 U - вихідна напруга з модуля, В,
 N - коефіцієнт ідеальності діода,
 C - кількість комірок в модулі,
 N_s - кількість модулів послідовно,

E_g - енергетичний рівень кремнію, 1.12eV,

N_p - кількість паралельно з'єднаних модулів.

Модуль, описаний вище, було змодельовано в Simulink. На рис. 3.9 показана детальна Simulink модель сонячної батареї.

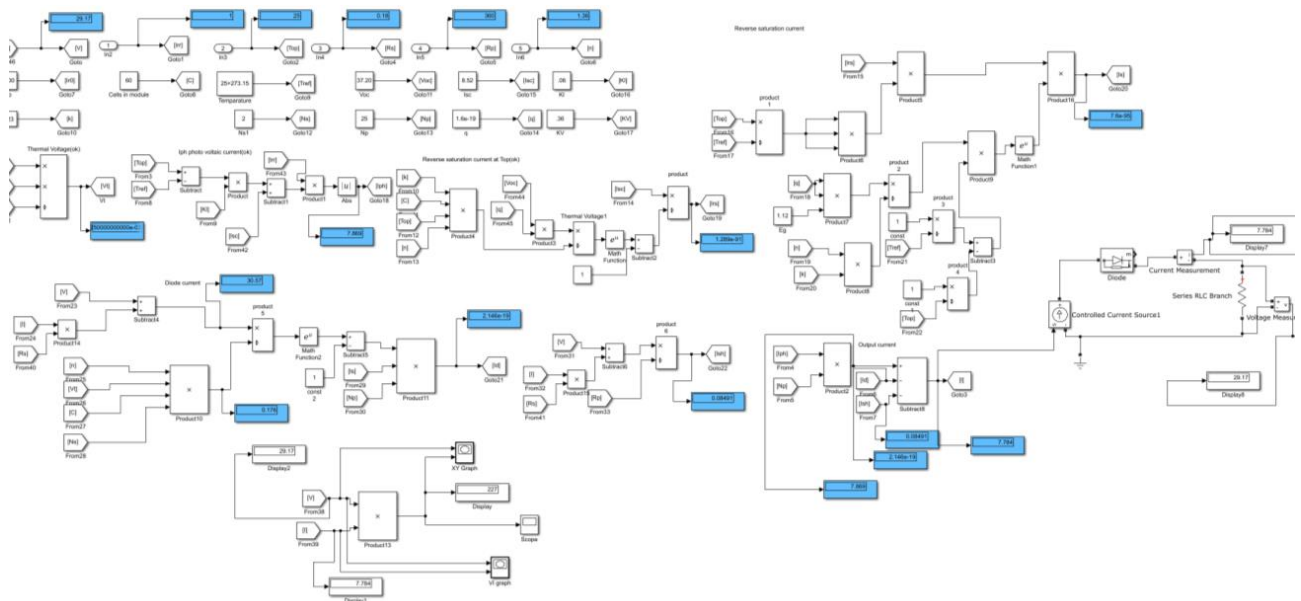


Рисунок 3.9 - Модель сонячної батареї в Simulink

3.6.3 Проектування двокаскадного DC-DC підвищувального перетворювача

Далі перейдемо до проектування двокаскадного DC-DC підвищувального перетворювача на основі Matlab/Simulink. Він допомагає регулювати напругу фотоелектричного масиву до фіксованої напруги високого рівня, яка задовольняє потреби водяного насоса 380 В.

Загалом, принцип роботи будь-якого підвищувального перетворювача полягає у наявності двох станів:

- Увімкнений стан: Струм (I_L) збільшується в котушці індуктивності (L), рисунок 4.4, шляхом замикання вимикача (S).
- Вимкнений стан: Струм (I_L), накопичений у увімкненому стані, має

лише один шлях - через діод (D), потім на конденсатор (C), після цього до додатку (R).

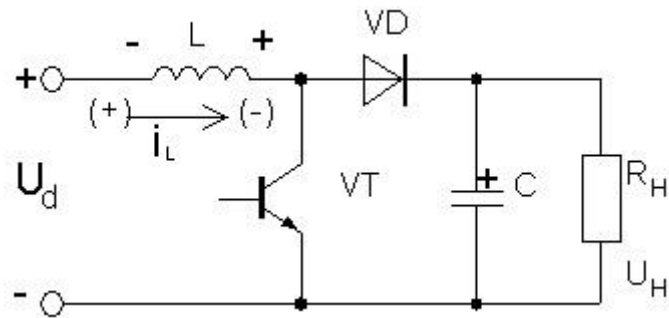


Рисунок 3.10 - Схема підвищувального перетворювача [40].

Однак, у нашому випадку, підвищувальний перетворювач має два каскади. Іншими словами, він має два контури, що включають: дві котушки індуктивності, два перемикачі (ідеальний перемикач), два зворотні діоди, два конденсатори. Це показано на рис. 3.11.

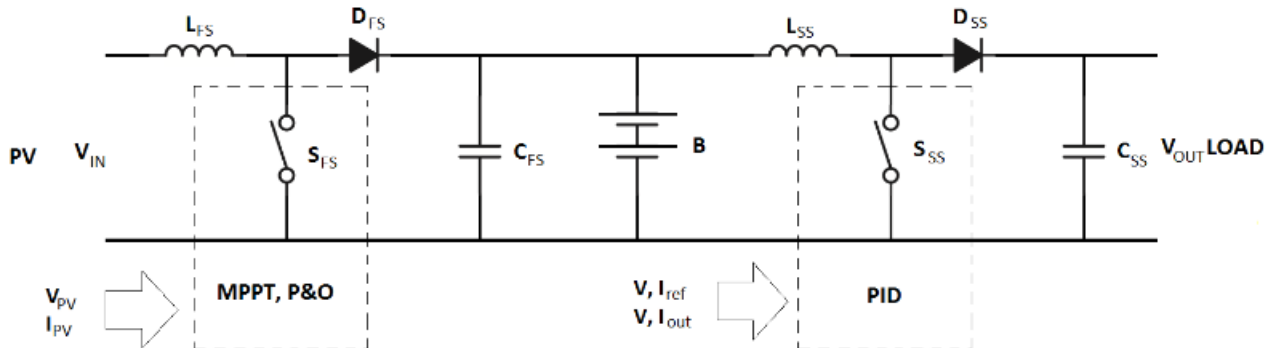


Рисунок 3.11 - Структурна схема двокаскадного DC-DC підвищувального перетворювача

Оскільки робочий цикл однокаскадного підвищувального перетворювача дуже великий, був запропонований двокаскадний підвищувальний перетворювач, як показано на рис. 3.11. Перший каскад DC-DC отримує максимальну потужність від фотоелектричних модулів, в той час як другий каскад перетворює її в напругу, придатну для насоса постійного струму. Основні конструктивні параметри першого та другого каскаду DC-DC наведені

в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Параметри підвищувального перетворювача постійного струму

Перший ступінь (FS)		Другий ступінь (SS)	
V_{in}	58 В	V_{in}	110 В
V_{out}	110 В	V_{out}	380 В
f_s	25 кГц	f_s	40 кГц
η	90 %	η	90 %

Робочий цикл перетворювача:

Максимальний робочий цикл для обох можна отримати з цього виразу:

$$D = 1 - \frac{V_{IN(MIN)} \cdot \eta}{V_{OUT}} \quad (3.17)$$

де $V_{in(min)}$ - мінімальна вхідна напруга,

V_{OUT} - вихідна напруга,

η - коефіцієнт корисної дії перетворювача.

$$D_{FS} = 1 - \frac{58 \cdot 0,9}{110} = 53\%$$

$$D_{SS} = 1 - \frac{110 \cdot 0,9}{380} = 73\%$$

де D_{fs} - робочий цикл першого ступеня,

D_{ss} - Робочий цикл другого ступеня.

Вибір котушки індуктивності перетворювача:

Котушка індуктивності зазвичай використовується в підвищувальних перетворювачах, і підключається послідовно, як показано на рисунку 3.10, для згладжування пульсацій струму перетворювача і накопичення енергії в кожному циклі перемикання. Величина котушки індуктивності зазвичай

вибирається з технічного паспорта, але в нашому випадку, оскільки масштаб напруги дуже великий, котушку індуктивності необхідно розрахувати з виразу (3.19). Однак, перш ніж перейти до розрахунку котушки індуктивності, необхідно знати струм пульсацій котушки індуктивності, який може бути отриманий з

$$\Delta I_L = 1,75\% \cdot I_{OUT(MAX)} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (3.18)$$

$$\Delta I_{L(FS)} = 0,175 \cdot 28,65 \cdot \frac{110}{58} = 9,51A$$

$$\Delta I_{L(SS)} = 0,175 \cdot 18 \cdot \frac{380}{110} = 10,88A$$

Значення індукторів для обох ступенів можуть бути розраховані з цього виразу.

$$L = \frac{V_{IN} \cdot (V_{OUT} - V_{IN})}{\Delta I_L \cdot f_s \cdot V_{OUT}} \quad (3.19)$$

$$L_{FS} = \frac{58 \cdot (110 - 58)}{9,5 \cdot 25000 \cdot 110} = 115,25 \mu H$$

$$L_{SS} = \frac{110 \cdot (380 - 110)}{10,88 \cdot 40000 \cdot 380} = 179,64 \mu H$$

МРРТ зазвичай використовується для підвищення ефективності фотоелектричних систем. Він працює на дуже високій частоті, зазвичай від 20 до 80 кГц. Причиною цього є перетворення постійного струму в постійний для роботи фотоелектричних модулів на МРРТ. Високочастотний контур працює як великий трансформатор, що дозволяє підвищити напругу і струм до бажаних значень, таким чином, задовольняючи потреби в напрузі водяного насоса і контролера.

Підвищуючий перетворювач був змодельований в Simulink, як показано на рис. 3.11, однак він має два каскади, які мають два методи керування.

Напруга та струм фотоелектричних модулів регулюються на МЕС за алгоритмом P&O, як показано на рис. 3.13 та блок-схемі на рис. 3.12, як перший ступінь перетворювача, який працює як контролер заряду акумуляторних батарей. Напруга повинна регулюватися для заряду акумуляторів, а також підвищуватися до діапазону другого ступеня перетворювача. Для другого каскаду, як показано на рисунку 4.6, запропоновано ПІД-регулятор через його простоту, оскільки в якості вихідних даних виступають бажані напруга і струм.

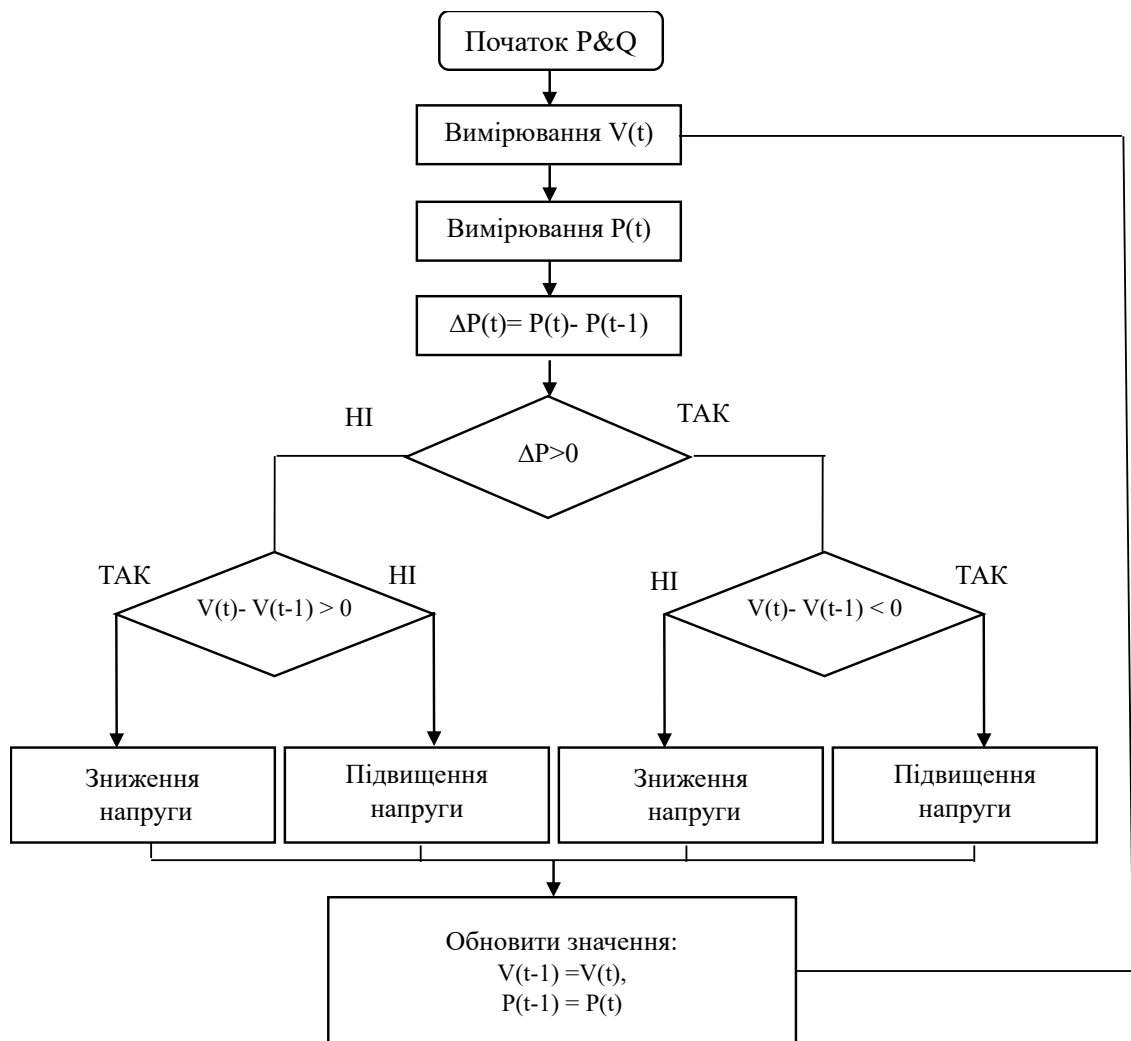


Рисунок 3.12 - Алгоритм P&O (збурення та спостереження)

Згідно з відомими дослідженнями, проведеними з цього приводу, було проведено порівняння між найвідомішими методами - алгоритмом збурень і спостережень та методом інкрементної провідності (incCond). Їхні експериментальні результати були відносно близькими: ефективність для P&O становила 99,3%, а для incCond - 99,4%. Хоча ефективність останнього методу є

дещо вищою, але це було зроблено через вибір методу R&O з міркувань вартості.

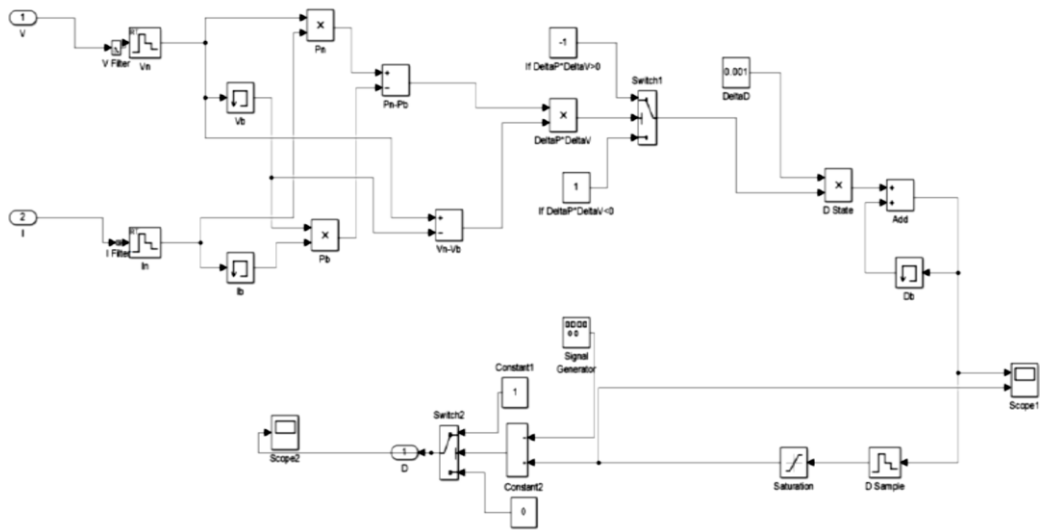


Рисунок 3.13 - Реалізація алгоритму R&O

Дев'ять акумуляторів ємністю 200 А*год, 12 В кожен, були обрані на основі розрахунків, виконаних попередньо. Вони з'єднані послідовно, оскільки повинні відповідати напрузі шини, 110 В. Модель батареї вже була побудована в Simulink / Matlab, як показано на рис. 3.14; однак, деякі фактори були змінені, такі як SOC, стан заряду.

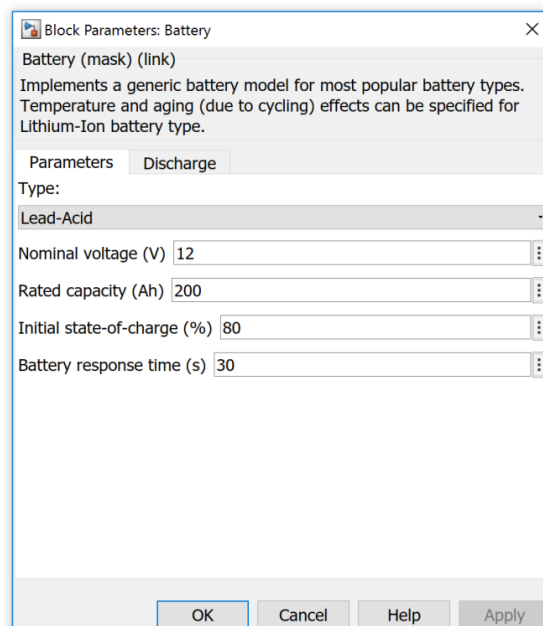


Рисунок 3.14 – Параметри моделі акумулятора в Simulink

Двигун постійного струму потужністю 5,5 кВт, з'єднаний з відцентровим насосом, був спроектований в Simulink для подачі 245 м³ води на добу. Характеристики двигуна постійного струму та насоса наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики двигуна та насоса

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ						
Модель	Крильчатка	Напруга (В)	Потужність насоса (Вт)	Максимальна подача (м ³ /Год)	Максимальний напір (М)	Вихідний отвір (IN)
4ZPC14/148-D380/5.5	Відцентровий (SS)	DC380	5500	10	120	4
ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУНТОВОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ						
Номінальна напруга (В)	Номінальна швидкість (об/хв)	Номінальний струм (А)	Номінальний крутний момент (Н.М)	Інерція ротора (кг.см ²)		
380	1700	15	14.5	0.01		

Еквівалентна схема двигуна постійного струму була змодельована в Simulink, як показано на рисунку 3.15. (блоки simscape)

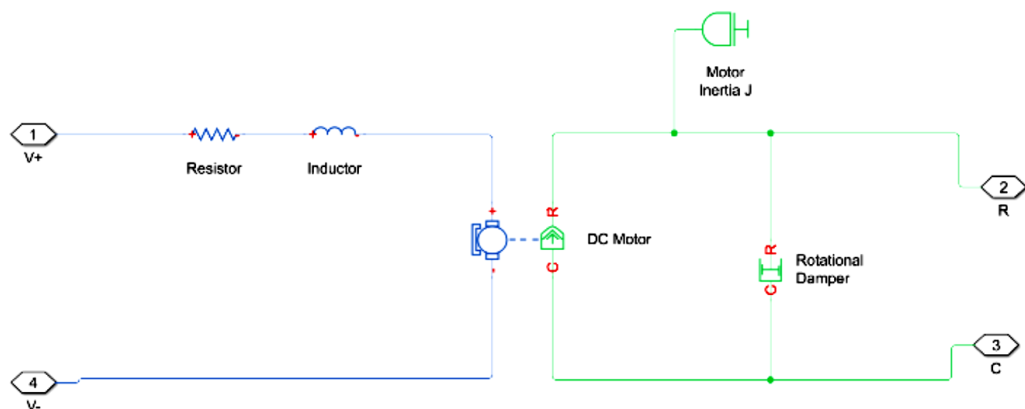


Рисунок 3.15 - Моделювання шунтуючого двигуна постійного струму в Simulink.

На рисунку 3.16 показано модель насосної системи в Simulink на основі даних, наведених у таблиці 3.3.

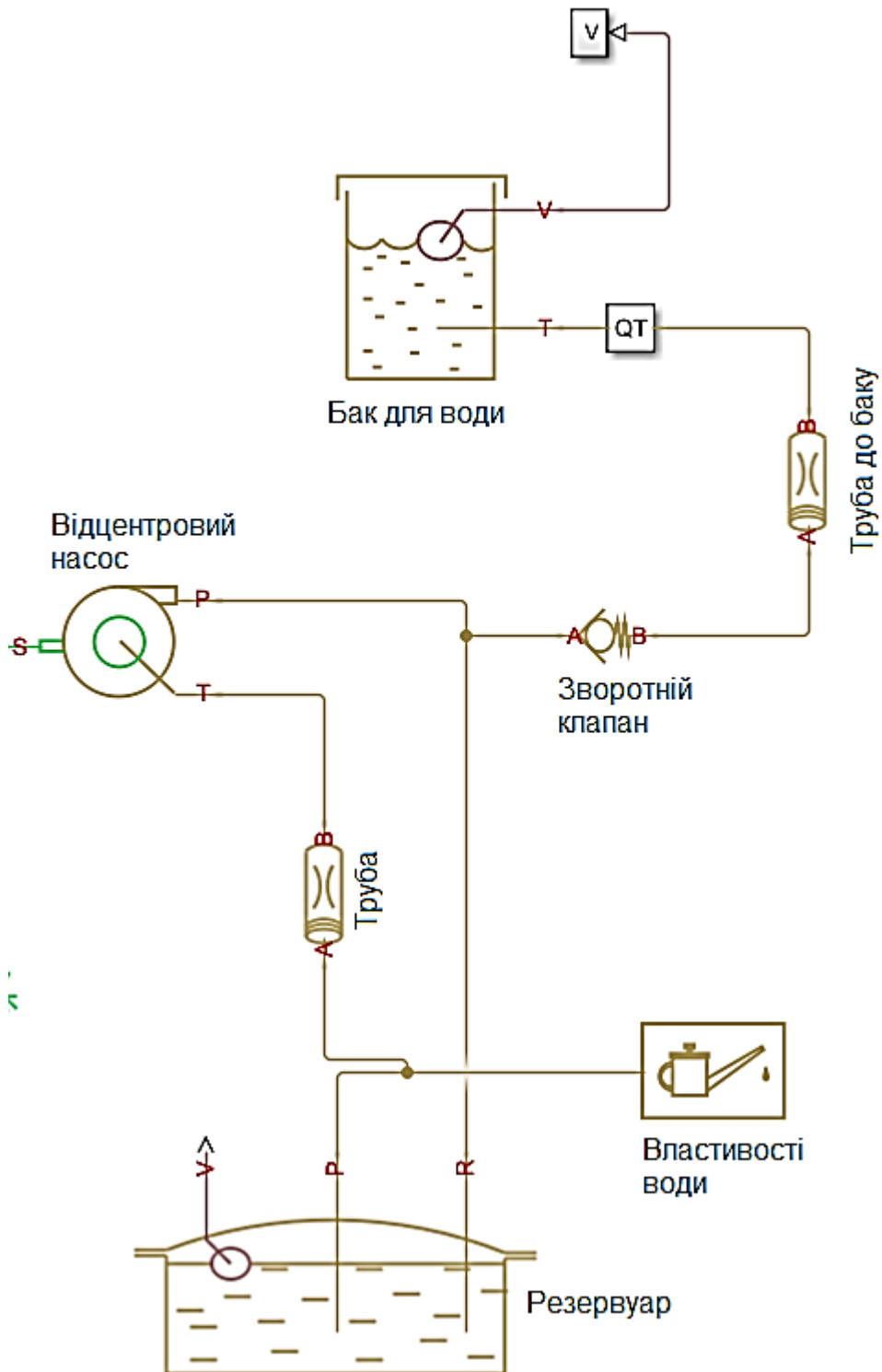


Рисунок 3.16 - Відцентровий насос, побудований в Simulink

3.7 Моделювання геліосистеми для перекачування води

Повна модель геліосистеми, побудована в Simulink, показана нижче на

рисунку 3.17.

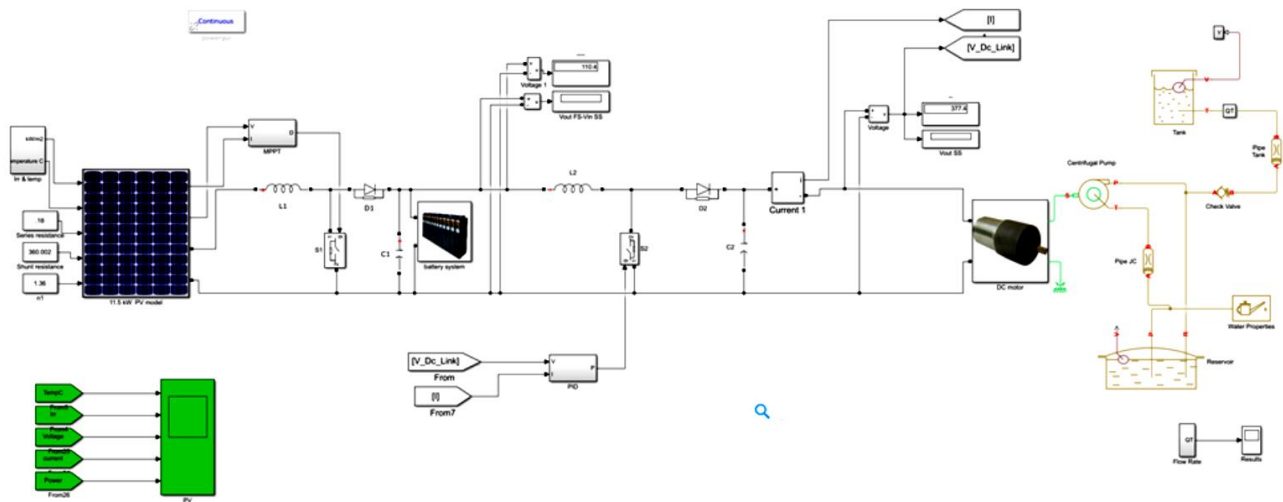


Рисунок 3.17 - Запропонована модель системи в Simulink.

Вихідна потужність фотоелектричних установок змінювалася щомісяця. Як показано на рисунку 3.18, пік виробництва електроенергії припадав на червень, липень і серпень, тоді як найменше - на січень і грудень. Аналогічно, попит на воду демонстрував майже такі ж сезонні коливання, оскільки зрошення влітку потребує більше води, ніж в інші сезони.

Очевидно, як показують результати моделювання з PVsyst, що більша частина виробництва води відбувалася при тому ж співвідношенні виробництва фотоелектричних панелей і сонячного випромінювання. Більше необхідної кількості води може бути видобуто при високо інтенсивному опроміненні, як показано нижче.

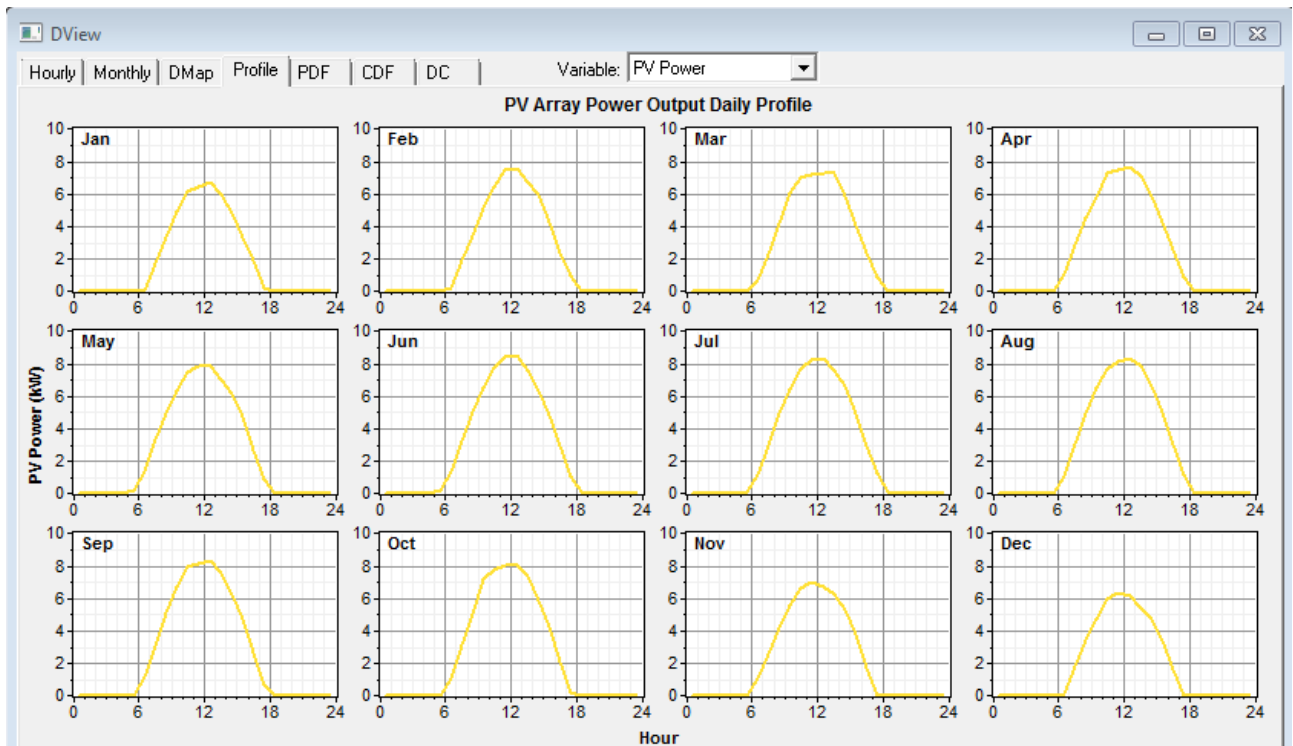


Рисунок 3.18 - Добовий профіль вихідної потужності фотоелектричних панелей

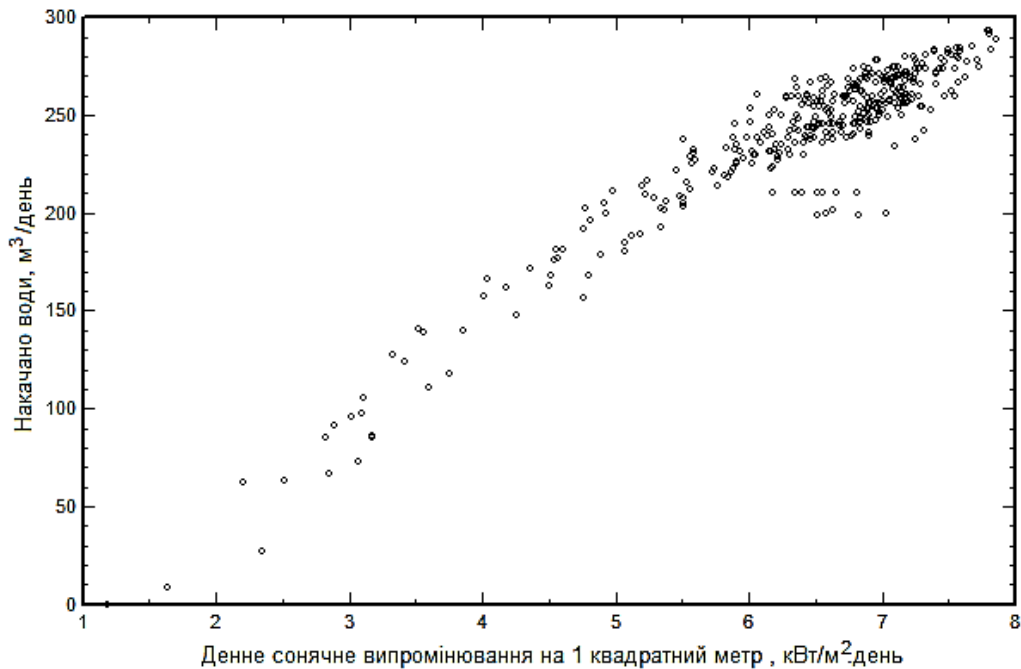


Рисунок 3.19 - Виробництво води порівняно з вхідним сонячним випромінюванням (PVsyst).

Результати моделювання показали, що вихідна потужність змінюється відповідно до опромінення і зміни температури без MPPT і підвищувального

перетворювача, як показано на рис. 3.20. Крім того, підвищення температури безпосередньо впливає на вихідну потужність фотоелектричних модулів, оскільки вона знижується, тоді як зниження температури покращує продуктивність фотоелектричних модулів.

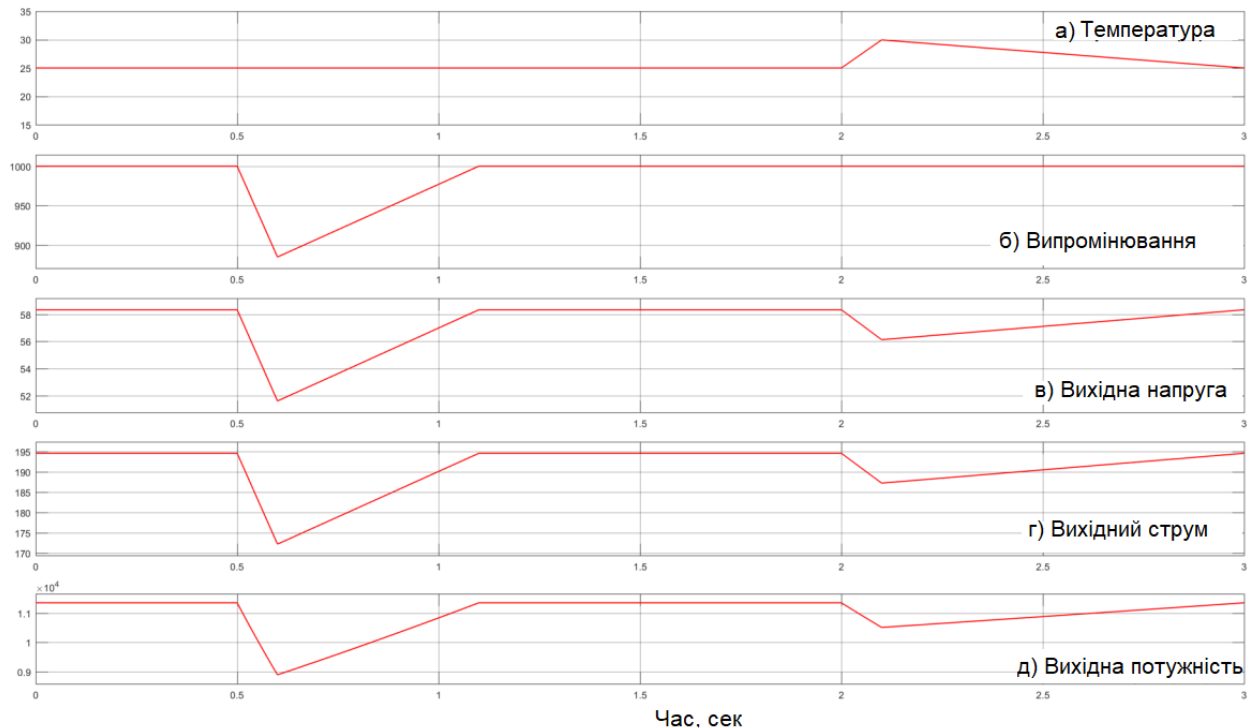


Рисунок 3.20 - (а) Температура. (б) Сонячне випромінювання, Вт/м (в) Вихідна напруга, В. (г) Вихідний струм, А. (д) Вихідна потужність, кВт

Результати моделювання роботи контролера

Двоступеневий підвищувальний перетворювач допоміг підвищити напругу з 58 В до номінальної напруги насоса постійного струму, 380 В, використовуючи два методи керування, O&P та PID-регулятор.

Однак, використання MPPT показало, що ефективність системи була дещо покращена на першому етапі (рис. 3.21). На другому етапі можна помітити, що вихідна напруга стала стабільною і відповідала потребам, оскільки напруга акумуляторних батарей допомогла заповнити падіння напруги, що виникло на ФС. (рис. 3.22). Крім того, як показано на рисунку 3.23,

вимога до швидкості потоку, яка є вихідною величиною системи, була виконана.

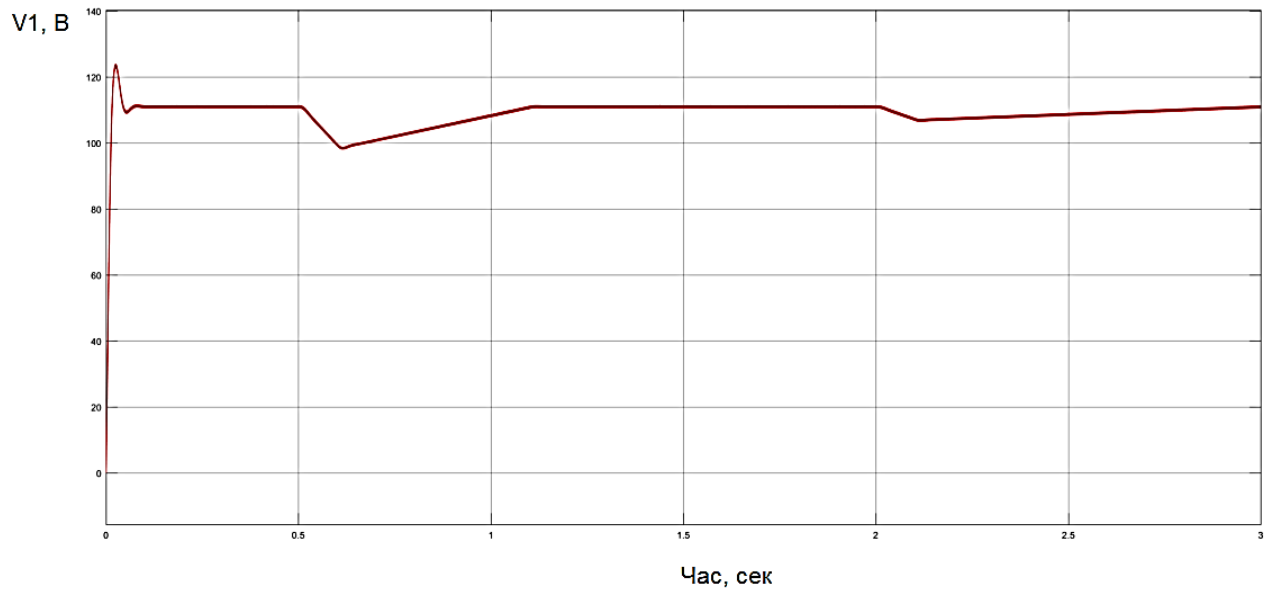


Рисунок 3.21 - Вихідна напруга першого каскаду DC-DC перетворювача за алгоритмом МРРТ

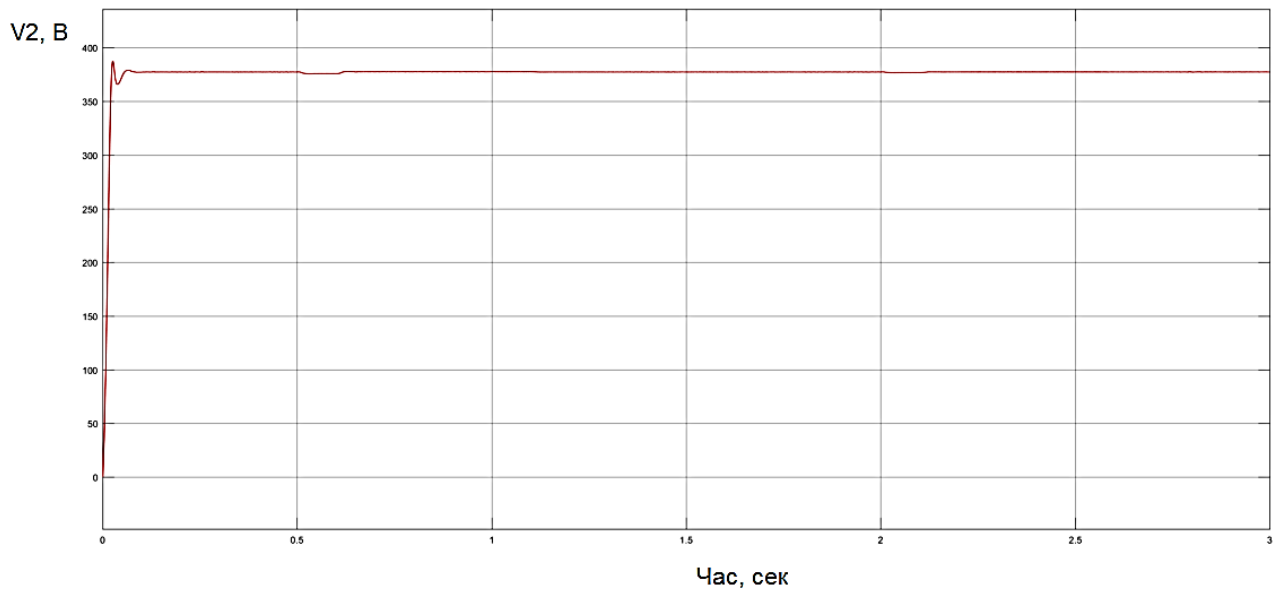


Рисунок 3.22 - Вихідна напруга другого каскаду DC-DC перетворювача

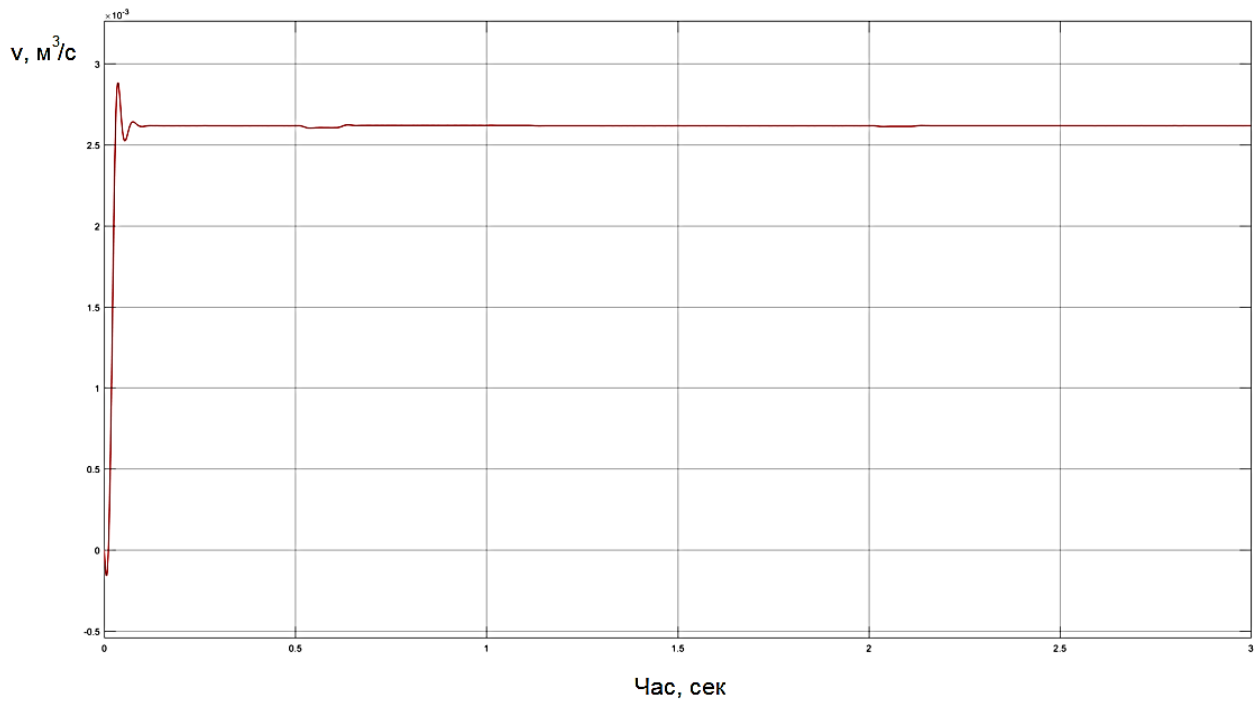
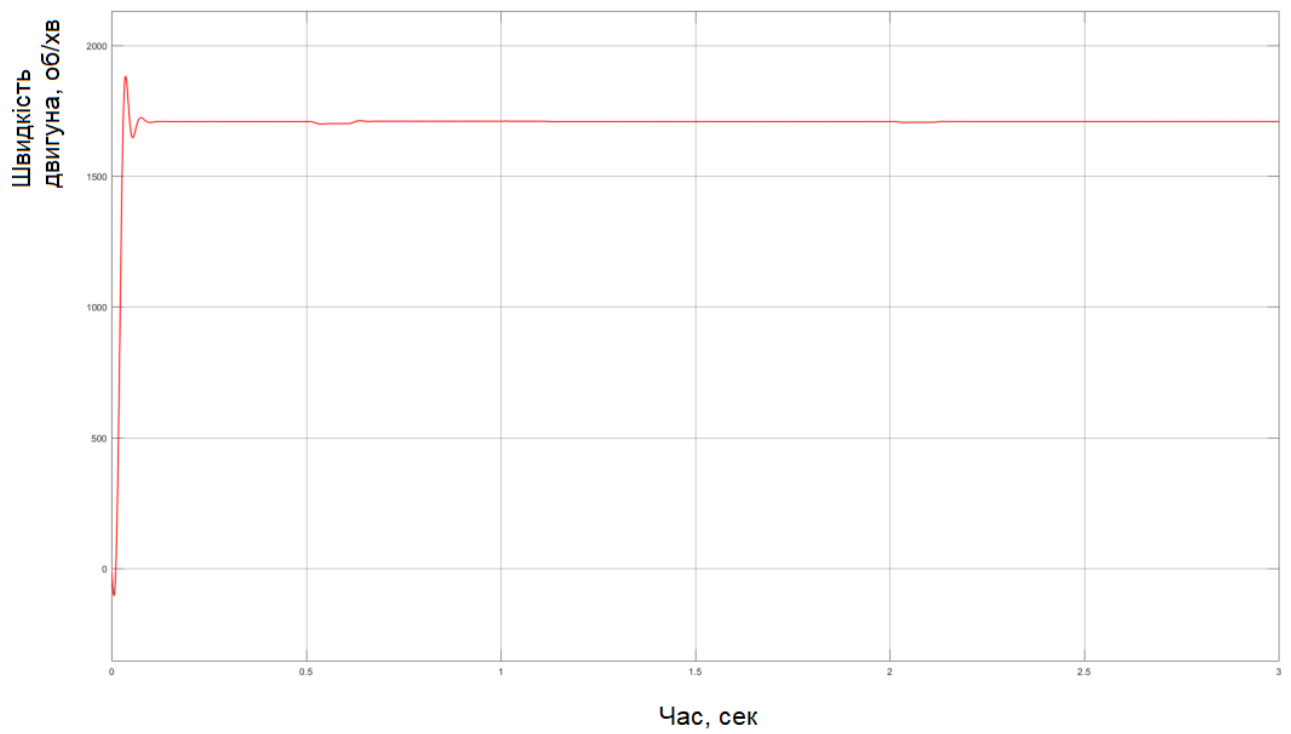
Рисунок 3.23 - Витрата води, $0,0027 \text{ м}^3/\text{с}$ 

Рисунок 3.24 - Частота обертання двигуна під навантаженням, 1700 об/хв.

3.8 Висновки до розділу

1. Представлено схему принципову сонячної фотоелектричної водонасосної системи.
2. На основі проведеного розрахунку середньодобового споживання води всієї ферми, встановлено, що необхідно $244,9\text{ м}^3 / \text{день}$ для зрошення полів.
3. Проведено розрахунок загального динамічного напору, результати якого використано при виборі насосу.
4. Проведено розрахунок потужності сонячної фотоелектричної системи, обрано потужність та кількість фотоелектричних панелей.
5. Проведено розрахунок ємності акумуляторної батареї для перекриття пікового споживання води, або відсутності сонця.
6. Встановлено, що більш економічно вигідно накопичувати воду у бак, ніж використовувати акумуляувати великої ємності для накопичення електроенергії.
7. Проведено розрахунок розмірів бака для зберігання води.
8. Розроблено та змодельовано в Simulink двоступеневий підвищувальний перетворювач .
9. За допомогою Simulink змодельовано фотоелектричну водонасосну систему, яка живиться від фотоелектричного джерела потужністю 11,5 кВт. Результати моделювання системи були задовільними.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи, які зменшують небезпеку виникнення вибухів та пожеж

Запобігання вибухів та пожеж – це комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на виключення можливості виникнення вибухів та пожеж.

Організаційні і технічні заходи щодо запобігання пожежі реалізуються ще на стадії проектування окремих об'єктів підприємств. При цьому заздалегідь вивчаються особливості технологічних процесів і об'єктів, можливі причини і джерела виникнення вибухів та пожеж. Запобігання пожежі великою мірою сприяє правильне планування, розміщення основних об'єктів з урахуванням рельєфу місцевості, дотримання протипожежних розривів між будівлями відповідно до вимог генерального плану.

Попередження вибухів та пожеж на підприємствах досягається [17]:

- запобіганням утворенню горючого середовища;
- запобіганням виникненню в горючому середовищі або появи в ньому джерел запалювання.

Запобігання утворення горючого середовища повинно досягатися:

- максимально можливим застосуванням негорючих і важко горючих речовин і матеріалів;
- обмеженням маси і об'єму горючих речовин, матеріалів та найбільш безпечним способом їх розміщення;
- ізолюванням горючого середовища;
- підтримуванням концентрації горючих газів, пари, суспензій і окислювача в суміші за межею їх спалаху;
- достатньої концентрації флегматизатора в повітрі захищеного об'єкту;
- підтримуванням його температури і тиску, за якими розповсюдження полум'я неможливе;

- максимальною механізацією і автоматизацією технологічних процесів, пов'язаних з вживанням горючих речовин;
- встановленням пожежонебезпечного обладнання, по можливості, в ізольованих приміщеннях чи на відкритих площадках;
- застосуванням для горючих речовин герметичного обладнання і тари;
- застосуванням пристроїв захисту виробничого обладнання з горючими речовинами від ушкоджень і аварій, встановленням відключаючих, відсікаючих та інших пристроїв;
- застосуванням ізольованих відсіків, камер, кабін.

Попередження утворення в горючому середовищі джерел запалювання повинно досягатися такими основними заходами [17]:

- застосуванням машин, механізмів, обладнання, пристроїв, під час експлуатації яких не утворюються джерела запалювання;
- застосуванням електрообладнання, що відповідає класу пожежовибухонебезпеки приміщення або зовнішньої установки, групі і категорії вибухонебезпечної суміші;
- застосуванням в конструкції швидкодіючих засобів захисного відключення можливих джерел запалювання;
- застосуванням технологічного процесу і обладнання, що відповідає вимогам електростатичної іскробезпеки;
- пристроєм блискавкозахисту будівель, споруд і обладнання. Будівлі та споруди складів паливно-мастильних матеріалів захищають від прямих ударів блискавки, електростатичної та електромагнітної індукції та заносу потенціалів;
- підтримкою тиску в горючому середовищі нижчого за максимально допустимий за горючістю;
- зменшенням визначального розміру горючої суміші середовища нижче максимально допустимого за горючістю.;

- регламентацією виконання, застосування і режиму експлуатації машин, механізмів та іншого обладнання, матеріалів і виробів, що можуть бути джерелом запалювання горючого середовища;
- застосуванням енергоустаткування, що відповідає класу пожежовибухонебезпеки приміщення або зовнішньої установки, групі і категорії вибухонебезпечної суміші;
- застосуванням технологічного процесу і обладнання, що відповідає вимогам електростатичної іскробезпеки.;
- регламентацією максимально допустимої температури нагрівання поверхонь обладнання і матеріалів, що можуть увійти в контакт з горючим середовищем. Режимми роботи насосів, перекачувальних паливно-мастильних матеріалів не повинні спричиняти підвищене нагрівання їх поверхонь;
- регламентацією максимально допустимої енергії іскрового розряду в горючому середовищі. Знижувати енергію іскрового розряду можна, зменшуючи напруження між частинами обладнання, при якому відбувається іскровий розряд в горючому середовищі;
- регламентацією максимально допустимої температури нагрівання горючих речовин, матеріалів і конструкцій;
- застосуванням інструмента, що не іскрить під час роботи з легкозаймистими речовинами. Слід застосовувати інструмент і пристосування, що не висікають іскри під час ударів і падіння;
- ліквідацією умов для хімічного самозагоряння речовин і матеріалів. До самоzapalювальних речовин в технологічних процесах належать пірофорні речовини, що розігріваються при окисленні киснем повітря до 600 °C;
- усуненням контакту з повітрям пірофорних речовин

4.2 Захист від статичної електрики

Статична електрика – це сукупність явищ, що пов'язані з виникненням, накопиченням та релаксацією вільного електричного заряду на поверхні або в об'ємі діелектричних та напівпровідникових речовин, матеріалів та виробів. Виникнення зарядів статичної електрики є результатом складних процесів перерозподілу електронів чи іонів при стиканні двох різнорідних тіл (речовин) [17].

Порушення поверхневого контакту при терті тіл призводить до електризації - виникнення електричних зарядів, які можуть утримуватись на поверхні цих тіл протягом тривалого часу. Такі заряди, на відміну від рухомих зарядів динамічної електрики (електричний струм) знаходяться у статичному стані.

Електричні заряди виникають:

- при терті діелектричних тіл один об одного або об метал (наприклад, пасові передачі);
- при переливанні, перекачуванні, перевезенні в ємностях горючих та легкозаймистих рідин;
- при транспортуванні горючих газів трубопроводом;
- при подрібненні діелектриків;
- при переміщенні сухого запиленого повітря зі швидкістю понад 15 – 20 м/с і т.п.

Систематичний вплив електростатичного поля підвищеної напруженості негативно впливає на організм людини, викликаючи, в першу чергу, функціональні розлади центральної нервової та серце-судинної систем. Відповідно до ДСТУ ГОСТ 12.1.045-84 гранично допустима напруженість електричного поля $E_{доп}$ на робочих місцях не повинна перевищувати 60 кВ/м, якщо час впливу $tв$ не перевищує 1 год; при 1 год $< tв < 9$ год – $E_{доп} = 60\sqrt{tв}$.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів досягається трьома основними способами:

- запобіганням виникнення та накопичення статичної електрики,
- прискоренням стікання електростатичних зарядів,
- нейтралізацією електростатичних зарядів.

4.3 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання

Для попередження про небезпеку застосовують звукові, світлові і кольорові сигнали. Сигнальні пристрої встановлюються в зонах видимості і слухового відчуття обслуговуючого персоналу. Сигнали небезпеки повинні чітко сприйматися у виробничій обстановці [17,18].

Нормативами визначаються *сигнальні і розпізнавальні кольори*. Основними *сигнальними кольорами* є червоний - забороняючий, засвідчуючий про безпосередню небезпеку, жовтий - зосереджуючий увагу і попереджуючий про можливу небезпеку і зелений - означаючий безпеку.

Розпізнавальними кольорами вважають зелений, червоний, синій, жовтий, оранжевий, фіолетовий, коричневий, сірий.

Розпізнавальні кольори наносять на технологічне підйом-но-транспортне обладнання, трубопроводи, елементи будівельних конструкцій та інші споруди.

Сигнально-попереджувальним фарбуванням (жовтими і чорними смугами) відмічаються елементи будівельних конструкцій і міжцехового транспорту. Так, жовто-чорною смугою позначаються низькі балки, виступи і перепади у площині підлоги, краю люків і колодязів, кабіни і перила кранів, вантажні гаки, бічні поверхні електрокарів, навантажувачів, візків, стріл автокранів.

Огородження небезпечних зон із зовнішнього боку фарбують в жовтий колір, із внутрішнього - в червоний.

Габарити проїздів, проходи і робочі місця на підлозі виробничих приміщень позначаються смугою чи штриховими лініями білого чи жовтого кольору.

Розпізнавальне фарбування однойменних струмоведучих шин у кожній електроустановці приймається однаковим.

При змінному струмі фаза А фарбується в жовтий колір, фаза В - зелений, фаза С - червоний, нульова (при ізольованій чи заземленій нейтралі) - в чорний; при однофазному струмі провідник, під'єднаний до початку обмотки джерела живлення, - в жовтий, до кінця обмотки - в червоний; при постійному струмі позитивна фаза "+" - в червоний, негативна "-" – в синій, нейтральна - в білий.

Стандартами передбачена система знаків безпеки, які повинні використовуватися не тільки в промисловості, але й в інших галузях народного господарства, а також передбачені знаки, які є загальними для багатьох виробництв і професій, але у разі необхідності вони можуть бути конкретизовані із використанням графічних зображень і надписів, що застосовуються в інших стандартах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз типів фотоелектричних елементів, які можуть бути використані у фотоелектричній водяній насосній установці. Встановлено найбільш перспективні, які будуть обрані для даного проекту.
2. Проведено розрахунок та аналіз системи перекачування води на фотоелектричних модулях, що допомогло зрозуміти всю концепцію використання відновлюваної енергії в порівнянні з традиційною енергією. Було очевидно, що фотоелектрична водяна насосна установка підходить і рекомендується для сонячних країн. Експлуатація таких систем в таких місцях дає, до певної міри, найнижчу вартість видобутку води.
3. Враховуючи те, що ціни на електроенергію в майбутньому зростуть, то це спонукатиме фермерів шукати альтернативні рішення, такі як фотоелектрична водяна насосна установка. Це зробить воду дешевшою, ніж будь-коли.
4. На основі проведеного розрахунку середньодобового споживання води всієї ферми, встановлено, що необхідно $244,9 \text{ м}^3 / \text{день}$ для зрошення полів.
5. Проведено розрахунок загального динамічного напору, потужності сонячної фотоелектричної системи, ємності акумуляторної батареї і розмірів бака для зберігання води.
6. Розроблено та змодельовано в Simulink двоступеневий підвищувальний перетворювач .
7. За допомогою Simulink змодельовано фотоелектричну водонасосну систему, яка живиться від фотоелектричного джерела потужністю 11,5 кВт. Результати моделювання системи були задовільними.

8. Динамічні результати моделювання роботи двоступеневого підвищувального перетворювача показують, що алгоритм МРРТ для першого каскаду DC-DC і PID-регулятора для другого каскаду DC-DC забезпечують надійну роботи системи при зміні вхідної температури і вхідного сонячного випромінювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Oi, A. (2005). Design and simulation of photovoltaic water pumping system. California Polytechnic State University.
2. Енергетика сонячна – середньострокові перспективи 2022-2026. [електронний ресурс] дата звернення 25.06.2024. <https://aw-therm.com.ua/sonyachna-energetika-serednostrokovyi-perspektivi-2022-2026/>.
3. Коваль В. Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів / В. Коваль // Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року. — Т. : ТНТУ, 2013. — Том I : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 53.
4. Герега С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Герега, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202.
5. Іме А.Н. Підвищення ефективності сонячних панелей шляхом використання водяного охолодження/Аях Нсікак Іме, В.П. Коваль//Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року.—Т.: ТНТУ, 2020.—Том 2.—С. 80–81.
6. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2015. – № 3. – С. 2-10
7. National Renewable Energy Laboratory (NREL) [електронний ресурс] дата звернення 26.06.2024. <https://www.nrel.gov/>.
8. Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing // Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021
9. Коваль В. П. Автоматизована вимірювальна установка для дослідження

електричних характеристик фотоелектричних модулів/ В. П. Коваль, Б.Я. Оробчук, Л.М. Костик, Я.М.Осадца// Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – № 5. – С. 168-173.

10. Benghanem, M., Daffallah, K. O., Joraid, A. A., Alamri, S. N., & Jaber, A. (2013). Performances of solar water pumping system using helical pump for a deep well: A case study for Madinah, Saudi Arabia. *Energy Conversion and Management*, 65, 50-56.

11. Callahan, Chris, and Ben Waterman. (2012) "Solar Water Pumping Basics". UVM Extension New Farmer Project.

12. Mariem, K., Arbi, K. M., fredj Mouldi, B., & Habib, R. (2014, November). Modeling and simulation of photovoltaic water pumping system. In 2014 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM) (pp. 1-4). IEEE.

13. Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій— присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 294.

14. Bohdan Orobchuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Serhii Babiuk, Vadym Koval (2023) Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAР 2023). Ternopil, Ukraine, November 22-24, 2023, Vol. 3628, Pages 574-585.

15. Ramos-Hernanz, J. A., Campayo, J. J., Larranaga, J., Zulueta, E., Barambones, O., Motrico, J., ... & Zamora, I. (2012). Two photovoltaic cell simulation models in Matlab/Simulink. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering,(IJTPE)*, 4(1), 45-51.

16. Vadym Koval, Serhii Martsenko, Myroslav Zin (2023). Designing and

Implementing Intelligent Lighting Control System. The 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 14-16, Vol. 3468, Pages 241-249.

17. В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. Основи охорони праці. — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.

18. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський) / укл. : О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.