

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 СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЛОМІРНОГО СУДНА**

Виконав студент IV курсу, групи ЕТс-41
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Демид П. Б.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис) Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
(підпис) Вакуленко О.О.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____
(підпис) Тарасенко М.Г.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

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
Тарасенко М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

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

1. Тема роботи Розробка системи автономного електропостачання маломірного судна

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

Затверджені наказом ректора від «26» січня 2022 року № 4/7-47.

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 14.06.2022

3. Вихідні дані до роботи Судно використовується для переміщення пасажирів по р.Дністер
Задано обладнання маломірного судна, яке живиться електроенергією.

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

1. Структурні схеми автономного електропостачання маломірних суден.

2. Оцінка сонячного енергетичного потенціалу.

3. Характеристики об'єкта електропостачання. Розрахунок електричних навантажень.

4. Вибір обладнання сонячної електростанції.

5. Імітаційна модель сонячного модуля у програмному середовищі.

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

1. Автономного електропостачання маломірних суден.

2. Середньомісячні суми сонячної радіації.

3. Сезонні графіки активної потужності, що виробляється за рахунок сонячної енергії.

4. Зовнішній вигляд маломірного судна.

5. Енергія, що споживається за кожен місяць.

6. Річний баланс потужностей при використанні сонячних модулів.

7. Структурна схема сонячної електростанції.

8. Структура моделі сонячного модуля.

9. Вольт-амперні характеристики сонячного модуля.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Гурик О.Я. к.т.н., доцент кафедри МТ</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Вакуленко О.О., ст. викладач кафедри ЕІ</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

(підпис)

Демид П.Б.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

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, 2022.

Стор. 63; рис. 26; табл. 14; креслень (презентацій) __; джерел 9, додатків 1.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Розробка системи автономного електропостачання маломірного судна».

Мета кваліфікаційної роботи: розробка сонячної електростанції з накопичувачами електричної енергії, здатної забезпечити безперебійне електропостачання маломірного судна за рахунок перетворення енергії сонця в електроенергію.

У роботі на основі аналізу літератури за темою кваліфікаційної роботи сформульовано вимоги для забезпечення ефективного використання установок відновлюваної енергетики у складі автономних систем електропостачання. Також на основі аналізу енергоспоживання, розраховано необхідну кількість сонячних батарей, акумуляторних батарей та вибрано необхідне обладнання сонячної електростанції. Розраховано вольт-амперні та ват-амперні характеристики сонячного модуля. За допомогою імітаційного моделювання у середовищі Matlab/Simulink проведено розрахунок характеристик сонячного модуля.

Ключові слова: **СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ СОНЯЧНИЙ МОДУЛЬ, МАЛОМІРНЕ СУДНО**

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Аналіз та оцінка сучасного стану використання відновлюваних джерел енергії на суднах	8
1.2. Структурні схеми автономного електропостачання маломірних суден	9
1.3 Аналіз природних умов створення систем електропостачання на маломірних суднах	11
1.4 Характеристики акумуляторних батарей	14
1.5 Висновки до розділу	15
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	17
2.1 Оцінка сонячного енергетичного потенціалу при змінних координатах	17
2.2 Характеристики об'єкта електропостачання	23
2.3. Розрахунок електричних навантажень.....	25
2.4 Вибір обладнання сонячної електростанції.....	29
2.4.1 Вибір сонячних модулів	29
2.4.2 Вибір акумуляторних батарей та інвертора	31
2.5 Розробка пристрою контролю заряду-розряду акумуляторних батарей	35
2.6 Висновки до розділу	37
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Імітаційна модель сонячного модуля у програмному середовищі MATLAB/Simulink.....	38
3.2 Імітаційне моделювання у програмному середовищі MATLAB/Simulink	41
3.3 Висновки до розділ	46
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	

4.1 Інструктажі з охорони праці	47
4.2 Захист від статичної електрики	49
4.3 Надзвичайні ситуації природного характеру	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	54
Додаок А.....	55

ВСТУП

Актуальність теми. Хаусбот - прогулянкове судно для подорожей та відпочинку, що включає всі інженерні системи, побутову техніку та повне меблювання салону та кают. У класичному американському виконанні, хаусбот – це симбіоз яхти та будинку, де пріоритет насамперед ставиться на комфорт і зручність. Він призначений для експлуатації на внутрішніх водах або на прибережному просторі з обмеженнями по висоті хвилі. Переваги цього виду плавзасобів незаперечні - вони дозволяють своєму власнику подорожувати та відпочивати на воді, не відмовляючись від звичного способу життя на суші, плюс мають гарні площі та порівняно невисоку, щодо свого розміру, вартість. Стандартної комплектації хаусботів немає, замовник сам вибирає, що йому потрібно: скільки кімнат має бути на судні, чи потрібна сауна чи бар. Часто монтують автоматичну систему кондиціювання, опалення та вентиляції. У носовій частині судна, як правило є висувний трап та якір. На хаусботі моделі встановлені стаціонарні водяні танки з датчиками, автоматичними нагнітальними помпами та заправною водорозеткою, баки стічних вод загальним з датчиками та індикаторами, помпами та автоматикою, трюмні помпи для відкачування води, система холодного та гарячого водопостачання з автоматичним водонагрівачем для накопичувального типу електроживлення з берега, навігаційні вогні, горн, кругове освітлення LED прожекторами. Комплектація значно залежить від потреб та бажань власника, оскільки хаусботи – це будинки на воді. Як правило електроживлення забезпечується дизельними генераторами або від акумуляторів, які заряджаються коли судно причалює до берега. Перший варіант дорогий у світлі подорожчання палива, а другий не досить зручний, особливо при затяжних мандрівках. Тому актуальною задачею є розробка проекту електропостачання маломірного судна хаусбота від поновлювальних джерел енергії. Найбільш перспективним є сонячна енергія.

Мета кваліфікаційної роботи: розробка сонячної електростанції з накопичувачами електричної енергії, здатної забезпечити безперебійне електропостачання маломірного судна за рахунок перетворення енергії сонця в електроенергію.

Відповідно до даної мети ставляться такі **завдання**:

1. На основі аналізу літератури за темою кваліфікаційної роботи сформулювати вимоги для забезпечення ефективного використання установок відновлюваної енергетики у складі автономних систем електропостачання.

2. На основі аналізу енергоспоживання, розрахувати необхідну площу (кількість) сонячних модулів (батареї), акумуляторних батарей та вибрати необхідне обладнання сонячної електростанції.

3. Розрахувати вольт-амперні та ват-амперні характеристики сонячного модуля.

4. За допомогою імітаційного моделювання у середовищі Matlab/Simulink здійснити розрахунок характеристик сонячного модуля.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 частин, висновків, додатків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 62 арк. формату А4, графічна частина – аркушів презентації.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз та оцінка сучасного стану використання відновлюваних джерел енергії на суднах

З 1988 року у ФРН та США щорічні змагання сонячних яхт вже стали традицією. У 1994 році, в змаганнях, що відбулися в Баварії на озері Хімзеї, брало участь 17 суден на сонячних батареях - від каное до комфортабельних суден з моторами потужністю 12 кВт. Катамаран "Інзер" за 3 години пройшов 15-кілометрову дистанцію.

Розвиток технологій поступово призводив до того, що сонячні батареї ставали все ефективнішими і дешевшими, а акумулятори легшими і потужнішими. Рівень інженерної та технічної думки стосовно екологічних видів транспорту, як сухопутних, так і водних, був повною мірою продемонстрований на міжнародному екотурі «Фінляндія-2000». Безумовним фаворитом фахівців та глядачів стала фінська сонячна яхта «Сольвейг», палуба якої була фанерована яскраво-синіми фотоелектричними модулями. Електродвигун потужністю 1,5 кВт, навігаційні прилади, побутове електрообладнання – все живилося виключно від сонячних батарей. Як додатковий рушій передбачено використання вітрила, що закріплюється на спеціально пристосованій для нього щоглі [1].

Оригінальний концепт круїзної яхти було запропоновано дизайнерами компанії Novague Studio. Нова яхта має дві сонячні панелі, розміщені з боків судна, які розвертаються, коли енергія в бортових батареях вичерпана.

Кожен такий новий проект, який нехай навіть має демонстраційний, пропагандистський характер, наближає той час, коли вже цілком серйозно можна буде говорити про транспортні судна на сонячних крилах [1].



Рисунок 1.1 - Круїзна яхта

1.2. Структурні схеми автономного електропостачання маломірних суден

Автономні сонячні енергосистеми дозволяють повністю відмовитися від генераторів, підвищити комфорт та безпеку на борту судна та вийти на якісно новий рівень відпочинку на воді. Один з основних компонентів системи - гнучкий сонячний модуль. Завдяки гнучкій конструкції він може бути встановлений практично на будь-якій поверхні судна, зберігаючи геометрію естетичного вигляду човна.

Генерація електроенергії відбувається навіть за розсіяного сонячного світла в похмуру погоду. Контролер заряду перетворює згенеровану енергію та заряджає акумулятори. На панель приладів судна виводиться інтерактивний LCD-дисплей, що наочно відображає інформацію про стан заряду акумуляторів.

У разі вимкненого двигуна акумуляторні батареї заряджаються від сонячних модулів. Цей процес повністю автоматизований і вимагає контролю з боку людини.

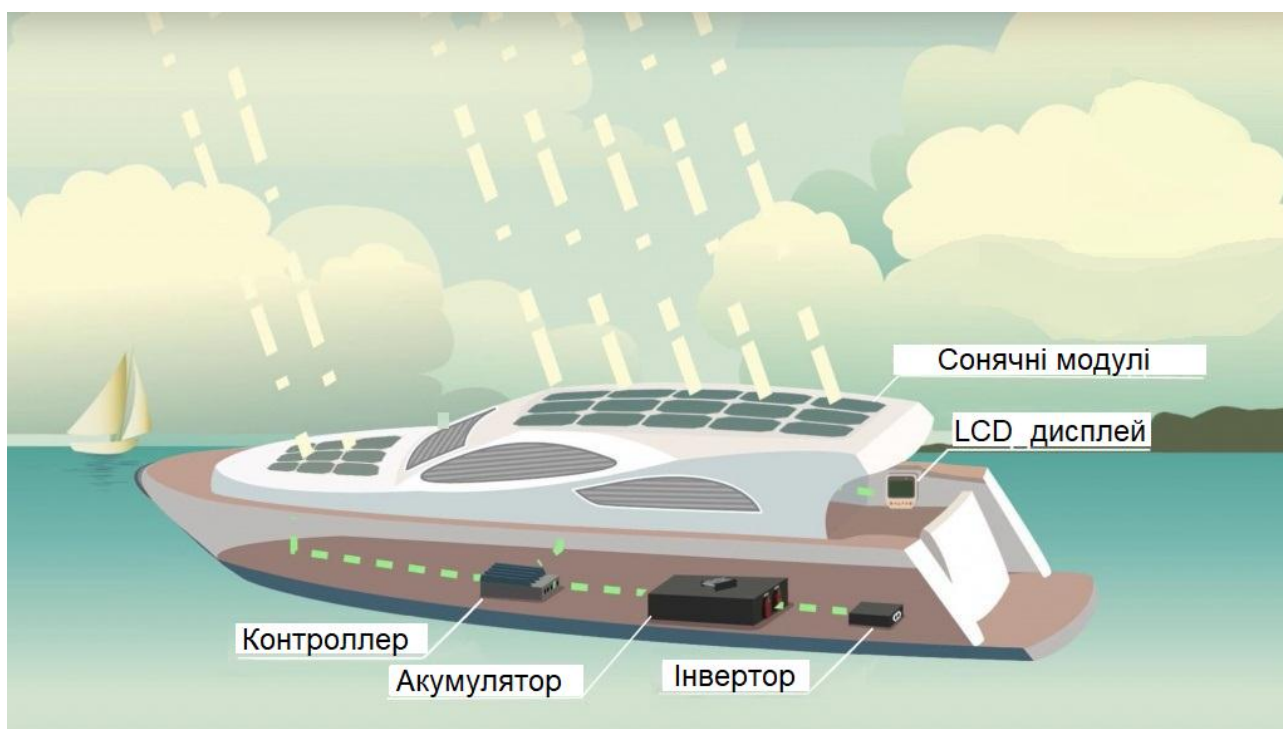


Рисунок 1.2 – Структурна схема автономного електропостачання
маломірного судна

Інвертор перетворює накопичену енергію в акумуляторних батареях уф електричний струм напругою 220 вольт, що дозволяє підключати будь-які електроприлади.

Сонячна енергосистема на борту дозволяє придбати автономну енергію в будь-яких місцях і користуватися будь-якими електроприладами на 220 В [2].

Для ефективного використання установок відновлюваної енергетики у складі автономних систем електропостачання споживачів необхідне виконання таких основних технічних вимог:

- нестабільність первинної відновлюваної енергії сонячного випромінювання потребує присутності в системі гарантованого джерела живлення;
- система, що розробляється, повинна забезпечувати запас енергії в обсягах, достатніх для повного покриття графіка електричних навантажень у накопичувачі, під час відсутності первинного відновлюваного енергоресурсу;
- система повинна містити повністю автоматизовані пристрої, що забезпечують раціональні та безпечні режими заряду та розряду накопичувача

енергії.



Рисунок 1.3 – Структурна схема сонячної електростанції з підключенням силових модулів

Сонячна установка підключається до акумуляторних батарей через контролери заряду-розряду, який виконує функцію регулювання та індикації процесів заряду та розряду, запобігаючи перезаряду та глибокому розряду. Оскільки вихідна енергія фотоелектричних модулів видається постійному струму, для приведення її до стандартних параметрів у складі системи, необхідний інвертор.

Досить часто функцію контролю заряду-розряду виконують конвертори постійної напруги, причому окремий контролер заряду-розряду батареї не встановлюється. Зазвичай використовуються конвертори постійної напруги в постійну напругу (DC-DC конвертори) типу, що підвищує. Враховуючи, що характеристика сонячного елемента є нелінійною залежністю, система управління конвертором повинна забезпечувати максимум відбору потужності [3].

1.3 Аналіз природних умов створення систем електропостачання на маломірних судах

Для правильного вибору джерела відновлюваної енергії необхідно точно визначити потужність її потоків у місці їх використання. Здійснення цього завдання передбачає наявність великої кількості інформації. Збір такої інформації можливий при організації тривалих та регулярних спостережень та

аналізів отриманих даних про параметри обраного джерела.

Згодом потреба енергії не постійна. Наприклад, максимальна потреба в електричній енергії – в ранкові та вечірні години та мінімальна – у нічний час доби. Традиційні джерела енергії можуть підлаштовуватися під ці коливання, регулюючи витрати палива чи води. При використанні нетрадиційних джерел енергії коливається не тільки попит на енергію, але й потужність джерел не постійна в часі. Тому процес узгодження вироблення та споживання електроенергії в системі з ВДЕ є складним завданням.

Усі відновлювані джерела енергії, умовно, представлені у трьох основних типах [7]:

- хімічна енергія;
- механічна енергія;
- теплова та промениста енергія.

Залежно від типу відновлюваного джерела енергії, він має певний набір якостей енергії, властивих тільки даному типу. Під якістю енергії відновлюваного джерела необхідно розуміти частку енергії, яку можна перетворити на механічну роботу.

ВДЕ з механічною енергією мають досить високу якість і придатні для виробництва електроенергії [2].

Залежно від джерела механічна енергія здатна досягати до 30% при використанні енергії вітру. При використанні енергії води цей відсоток набагато більший, до 75 % при використанні приливних та хвильових електроустановок. Якість теплових і променистих ВДЕ не дуже велика (до 35%) і обмежена другим законом термодинаміки.

Для джерел енергії на основі фотонних процесів (сонячні панелі), на даний момент технологічного прогресу, практично не вдалося отримати якість вище 15%. Лише у космосі подібні пристрої здатні видавати до 30%.

Загальносвітовий досвід у використанні ВДЕ, як показала практика, є відмінним рішенням для електропостачання віддалених споживачів, які не мають централізованого електропостачання.

Однак, жоден ВДЕ не є універсальним, здатним до використання у будь-якій ситуації. Використання того чи іншого типу джерела насамперед визначається природними умовами довкілля та необхідною кількістю потрібної електроенергії. Важливою умовою є вартість того чи іншого джерела.

Спираючись на подану інформацію, можна вибрати найбільш економічний і ефективний ВДЕ для тих чи інших необхідних умов.

Необхідно зробити висновок, що не існує простого та універсального методу планування енергетики на основі відновлюваних джерел енергії. Розмір району, на якому розумно планувати енергетику на відновлюваних джерелах, може займати площу радіусом близько 250 км.

При розвитку енергетики, варто пам'ятати, що ефективніше і дешевше, як правило, збільшувати енергоефективність споживачів, ніж збільшувати кількість джерел електроенергії. Виконавши аналіз споживачів та потенційних ВДЕ, необхідно узгодити їх з один одним. Узгодження передбачає виконання таких умов.

1. Проектована енергоустановка передбачає максимальну ефективність використання відновлюваного джерела енергії. Втрати при передачі електроенергії від джерела до споживача повинні бути мінімальними для забезпечення мінімізації розмірів енергетичного обладнання.

2. При проектуванні систем управління відновлюваних джерел слід пам'ятати, що використання зворотного зв'язку між споживачем і джерелом не ефективне. Енергія, що виробляється, буде витрачатись не повністю. Неефективність зворотнього зв'язку обумовлюється постійним існуванням у навколишньому просторі потоків використовуваної енергії.

3. Узгодження споживання та виробництва енергії без завищення потужності енергоустановки можливе за наявності накопичувачів виробленої енергії.

4. У разі неможливості погодження установки ВДЕ та споживача від цього завдання відмовляються. У такому разі відновлюване джерело енергії підключають до більш потужної та універсальної енергосистеми.

5. Найбільш ефективним варіантом використання ВДЕ є схема, де в кожний момент часу до джерела підключається така кількість споживачів, сумарна потужність яких відповідає потужності джерела, що виробляється в даний момент.

Для системи електропостачання маломірного судна розглядатимемо такі ВДЕ як сонце.

1.4 Характеристики акумуляторних батарей

Підвищити ефективність використання сонячних елементів в автономних системах електропостачання можна за рахунок використання накопичувачів енергії у вигляді акумуляторів.

Електричний акумулятор - хімічне джерело струму, особливістю якого є оборотність хімічних процесів всередині. Це забезпечує багаторазове циклічне використання для накопичення енергії. Найчастіше використовується для автономного електроживлення обладнання та електротехнічних пристроїв [4].

Хімічними джерелами струму називаються пристрої, у яких хімічна енергія при розряді за рахунок окисно-відновних процесів перетворюється на електричну [5].

Розрядні характеристики акумуляторів залежать від величини струму розряду. Термін служби акумуляторів також залежить від експлуатаційних особливостей, частоти та глибини заряду-розряду, величин зарядного та розрядного струму.

При проектуванні системи автономного електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії розглянемо гелеві акумуляторні батареї. Це найбільш досконалий, на сьогоднішній день тип акумуляторів. Крім того, ці типи акумуляторів - мало обслуговуються, отже експлуатаційні витрати, пов'язані з їх використанням, будуть значно нижчими. У зв'язку з цим використання гелевих акумуляторів найбільш зручне і вигідне для сонячної електростанції. Основними параметрами, якими зазвичай керуються при виборі

електричних акумуляторів, є ємність, термін служби та вартість.

Свинцево-кислотні акумулятори DELTA (табл.1.1) серії GX виготовлені за технологією GEL. Як електроліт використовується загущена сірчана кислота у вигляді гелю, що забезпечує стійкість акумулятора до глибоких розрядів та високу стабільність.

Таблиця 1.1 – Характеристики Свинцево-кислотних акумуляторів DELTA

Тип АКБ	U(B)	C(A· год)	Д(мм)	Ш(мм)	В(мм)
DELTA GX 12-40	12	40	197	165	170
DELTA GX 12-55	12	55	239	132	235
DELTA GX 12-75	12	75	258	166	215
DELTA GX 12-100	12	100	330	171	220
DELTA GX 12-150	12	150	482	170	240
DELTA GX 12-200	12	200	522	238	227
DELTA GX 12-230	12	230	520	269	208

1.4 Висновки до розділу

1. Виявлено, що розвиток технологій поступово призводив до того, що сонячні батареї ставали все ефективнішими і дешевшими, а акумулятори легшими і потужнішими.
2. Встановлено, що автономні сонячні енергосистеми дозволяють повністю відмовитися від генераторів, підвищити комфорт та безпеку на борту судна та вийти на якісно новий рівень відпочинку на воді.
3. Сформульовано технічні вимоги для забезпечення ефективного використання установок відновлюваної енергетики у складі автономних систем електропостачання.
4. Проведено аналіз природних умов створення систем електропостачання на маломірних судах.

5. Проведено аналіз хімічних джерел струму багаторазової дії для накопичення енергії та автономного електроживлення різних електротехнічних пристроїв та обладнання.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Оцінка сонячного енергетичного потенціалу при змінних координатах

Потенційні можливості сонячної радіації визначаються географічною широтою місця. Кліматичні характеристики району, що побічно характеризуються тривалістю сонячного сьйва, вносять суттєві корективи у можливість ефективного використання енергії сонця. У таблиці 2.1 та рис. 2.1 наведено середньоденні та середньомісячні суми сонячної радіації на р. Дністер у районі Тернопільської області. А у таблиці 2.2 наведено інсоляцію в період з 2016-2021 р.р.

Таблиця 2.1 - Середньоденні та середньомісячні суми сонячної радіації на р. Дністер у районі Тернопільської області

	Сума сонячної радіації, кВт · год / м ²											
	Січе	Лют	Бер	Квіт	Траве	Черве	Липе	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру
Ср.міс	23,2	46,4	98,7	125,5	159,1	177,8	172,3	135,7	90,2	44,9	24,4	18,6
Ср.днів	0,77	1,54	3,29	4,18	5,3	5,93	5,74	4,53	3	1,5	0,82	0,62

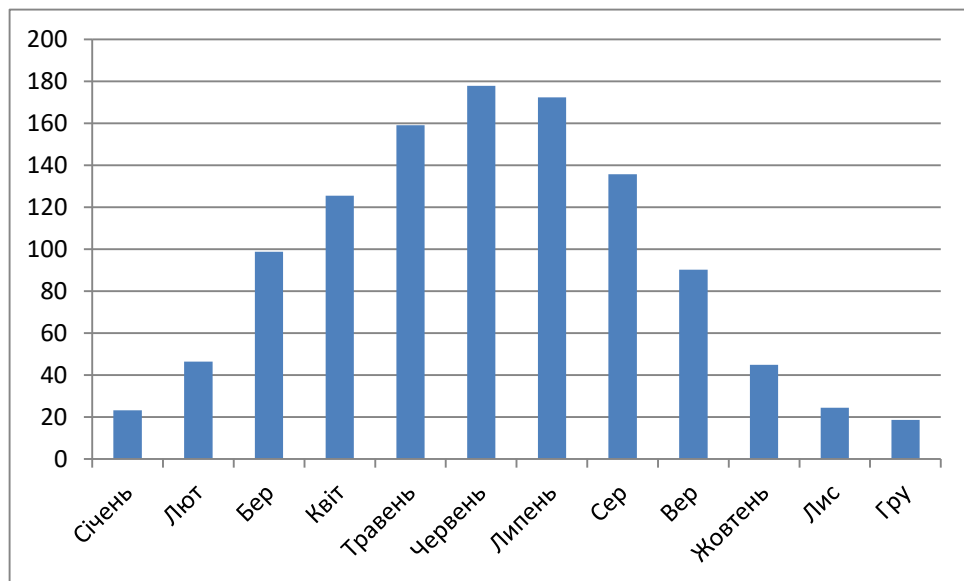


Рисунок 2.1 – Середньомісячні суми сонячної радіації

Таблиця 2.2 – Інсоляція в період з 2016-2021р

Місяць	λ , кВт · год/м ² на місяць					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Січень	23,40	23,80	24,10	23,20	22,90	23,50
Лютий	46,30	46,80	45,90	46,20	45,30	46,20
Березень	98,30	98,70	98,20	97,90	98,10	98,40
Квітень	125,50	125,10	124,90	125,80	125,30	125,20
Травень	159,20	159,10	159,40	159,90	158,80	159,30
Червень	177,80	177,40	177,90	177,70	177,10	176,90
Липень	172,20	172,80	172,50	172,40	171,80	172,90
Серпень	135,10	135,50	135,80	135,20	135,30	134,90
Вересень	90,30	90,20	90,40	89,98	90,32	90,54
Жовтень	44,90	44,56	44,34	44,76	44,46	44,33
Листопад	24,40	24,80	24,87	24,22	24,00	23,98
Грудень	15,83	15,58	15,43	15,77	15,41	15,98

Для побудови графіка значення сонячної енергії, залежно від часу доби, скористаємося наступним алгоритмом.

Наприклад виконаємо розрахунок для зимового періоду. Для кожної години на добу відзначимо наявність або відсутність сонця, починаючи з години сходу за годиною заходу (таблиця 2.3). Потім визначимо кількість сонячних годин, у нас це $N=8$.

Будувати графік будемо у вигляді синусоїди, у діапазоні кутів від 0 до 180 (схід = 0, захід сонця = 180), тому для кожної години сонячної активності призначимо кут, відповідно до кількості годин тривалості дня.

У таблиці 2.3 наведено усереднені дані про схід та захід сонця, на основі яких обчислено тривалість світлового дня.

Таблиця 2.3 – Тривалість світлового дня

Сезон	Схід	Захід сонця	Тривалість
Зима	09:00:00	17:08:00	08:08:00
Весна	05:36:00	20:14:00	14:37:00
Літо	04:21:00	21:40:00	17:18:00
Осінь	07:14:00	18:06:00	10:51:00

Розбиваємо 9-годинний інтервал на рівні проміжки і отримуємо, що за годину кут змінюється на 22,5 градуса. Враховуючи, що в годину сходу і в годину заходу, також виробляється електроенергія, змінимо значення кута вручну, щоб вироблення в ці години не дорівнювало 0.

Визначаємо потужність, яку можна отримати з 1 м² за 1 годину, стовпець 4 (табл.. 2.4):

$$P' = \frac{\lambda}{24} \cdot \sin \varphi_i \quad (2.1)$$

Просумувавши отримані значення потужності, зауважимо, що значення, що вийшло, відрізняється від величини добової інсоляції на квадратному метрі. Отже, необхідно знайти поправочний коефіцієнт:

$$K_{\pi} = \frac{\lambda}{\sum P'_i} = \frac{0,69}{0,145} = 4,741 \quad (2.2)$$

Використовуючи поправочний коефіцієнт, знайдемо значення потужності для кожної години W:

$$P = P'_i \cdot 4,741 \quad (2.3)$$

Для решти сезонів розрахунок аналогічний.

На рисунку 2.2 наведено добові графіки активної потужності, що виробляється з квадратного метра під дією сонячного випромінювання для кожного з сезонів. У таблиці 2.4 відображено чисельні значення цих потужностей. У таблиці 2.5 наведено добові графіки активних навантажень та

потужності, яка виробляється з 1 квадратного метра за рахунок енергії сонця.

Таблиця 2.4 - Побудова графіка енергії сонця для зимового сезону

T	$flag$	ϕ	P'	$P, \text{кВт/м}^2$	$W, \text{кВт год/м}^2$
1	2	3	4	5	6
00:00:00	0	0	0	0	0
01:00:00	0	0	0	0	0
02:00:00	0	0	0	0	0
03:00:00	0	0	0	0	0
04:00:00	0	0	0	0	0
05:00:00	0	0	0	0	0
06:00:00	0	0	0	0	0
07:00:00	0	0	0	0	0
08:00:00	0	0	0	0	0
09:00:00	0	0	0	0	0
10:00:00	1	1	0,000502	0,002379	0,002379
11:00:00	1	22,5	0,011002	0,052161	0,052161
12:00:00	1	45	0,020329	0,096381	0,096381
13:00:00	1	67,5	0,026562	0,125928	0,125928
14:00:00	1	90	0,02875	0,136303	0,136303
15:00:00	1	112,5	0,026562	0,125928	0,125928
16:00:00	1	135	0,020329	0,096381	0,096381
17:00:00	1	157,5	0,011002	0,052161	0,052161
18:00:00	1	179	0,000502	0,002379	0,002379
19:00:00	0	0	0	0	0
20:00:00	0	0	0	0	0
21:00:00	0	0	0	0	0
22:00:00	0	0	0	0	0
23:00:00	0	0	0	0	0
Разом	-	-	0,14554	0,69	0,69

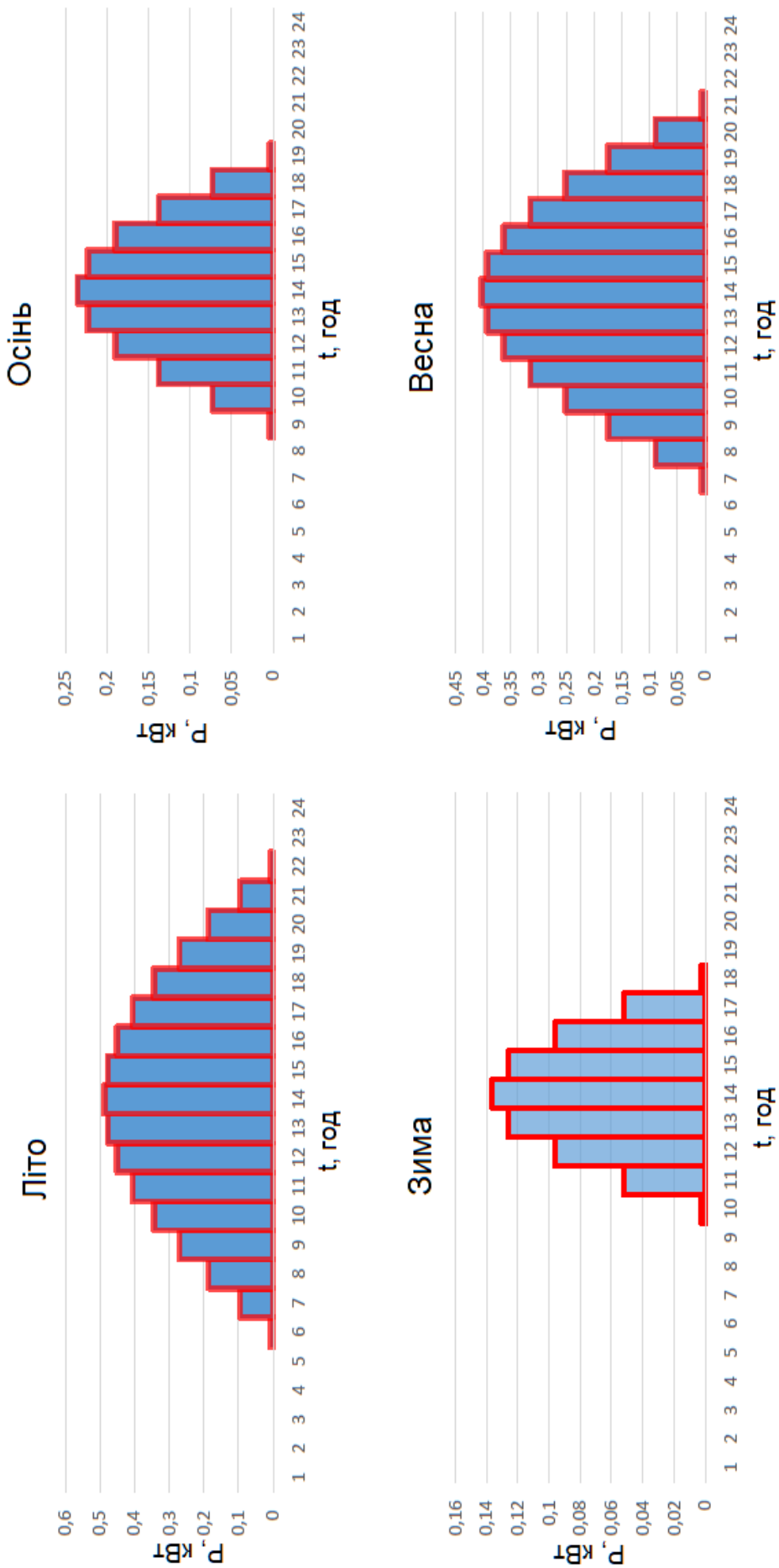


Рисунок 2.2 – Сезонні графіки активної потужності, що виробляється за рахунок сонячної енергії з 1 м²

Таблиця 2.5 - Добові графіки активних навантажень та потужності, яка виробляється з 1 квадратного метра за рахунок енергії сонця

t , год	Зима		Весна		Літо		Осінь	
	P_z	W_z	P_v	W_v	P_l	W_l	P_o	W_o
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0,008	0,008	0	0
7	0	0	0,007	0,007	0,095	0,095	0	0
8	0	0	0,09	0,09	0,186	0,186	0	0
9	0	0	0,175	0,175	0,27	0,27	0,004	0,004
10	0,0024	0,0024	0,251	0,251	0,344	0,344	0,073	0,073
11	0,0522	0,0522	0,315	0,315	0,405	0,405	0,138	0,138
12	0,0964	0,0964	0,363	0,363	0,45	0,45	0,19	0,19
13	0,1259	0,1259	0,393	0,393	0,477	0,477	0,223	0,223
14	0,1363	0,1363	0,403	0,403	0,487	0,487	0,235	0,235
15	0,1259	0,1259	0,393	0,393	0,477	0,477	0,223	0,223
16	0,0964	0,0964	0,363	0,363	0,45	0,45	0,19	0,19
17	0,0522	0,0522	0,315	0,315	0,405	0,405	0,138	0,138
18	0,0024	0,0024	0,252	0,252	0,344	0,344	0,073	0,073
19	0	0	0,175	0,175	0,27	0,27	0,004	0,004
20	0	0	0,09	0,09	0,186	0,186	0	0
21	0	0	0,007	0,007	0,095	0,095	0	0
22	0	0	0	0	0,008	0,008	0	0
23-24	0	0	0	0	0	0	0	0
Разом:	0,69		3,56		4,96		1,50	

2.2 Характеристики об'єкта електропостачання

Кафедра електричної інженерії співпрацює як із юридичними так із приватними особами. До нас звернувся ПП Котик О.С., який організовує відпочинкові екскурсії на р. Дністер на власному хаусботі. Виникла необхідність спроектувати автономну систему електропостачання на основі фотоелектричних батарей. На даний час власник судна кожних 2-3 дні вимушений причалювати до берега для дозарядки акумуляторних батарей від лінії електропередач. Це дуже не зручно.

Хаусбот – це маломірне судно понтонного типу. Іншими словами хаусбот - це самохідний будинок на воді, призначений для проживання та захоплюючого відпочинку. Такий будинок може послужити квартирою або дачею, залежно від цілей та потреб.

За комфортністю його можна порівняти із заміським будинком, а по мобільності з яхтою. Такі будинки на воді можуть бути обладнані всіма необхідними благами та зручностями, наприклад, інтернетом, водонагрівальною системою тощо.

Хаусбот виготовляється із сендвіч-панелей та складається з двох ярусів. Перший ярус має габарити – $D = 12.5$ м, $Ш = 4,44$ м і розділений на 5 зон: зона відпочинку, кухня та капітанський відсік, спальні місця в кількості 4 штук, санвузол/парна та комора.

Другий ярус є відкритим і поділяється на дві зони:

- Зона розміщення панелей сонячних батарей.
- Зона розміщення, з леєрною огорожею з нержавіючої сталі та можливістю багаторазового монтажу/демонтажу. Загальна площа другого ярусу – $9 \text{ м} \times 4,44 \text{ м}$.

Хаусбот є мобільним засобом пересування (рис. 2.3), тому можливість його транспортування велика. Наявні габарити дозволяють перевозити його як у воді, і дорогами загального користування з допомогою причепа. Такі технічні характеристики не створюють проблематичності у переміщенні судна та

розширюють його потенціал.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд маломірного судна (хаусбот) ПП Котик О.С

2.3. Розрахунок електричних навантажень

Завданням для проектованої сонячної електростанції полягає в тому, щоб забезпечити резервне електропостачання судна.

У таблиці 2.6 представлені побутові електроприлади, що встановлюються на судні, та їх номінальна потужність.

Так як наш об'єкт електропостачання має специфічний характер і може використовуватися лише навесні, влітку та восени, то для подальшого розрахунку зимовий період не враховуватимемо.

У таблицях 2.7, 2.8, 2.9 представлені сезонні навантаження електроспоживання цього судна.

Таблиця 2.6 - Встановлені побутові електроприлади

Встановлювані електроприлади	$P_{\text{ном}}$, кВт
Електричне освітлення	0,2
Побутова розеткова мережа	0,5
ПК	0,05
Чайник	1,5
СВЧ піч	0,8
Кавомашина	1,6
Бойлер	1,5
Кондиціонер повітря тепло-холод 32000 BTU	3
Разом:	9,15

Таблиця 2.7 – Навантаження у весняний період

Встановлювані електроприлади	$P_{ном}$, кВт	Кількість годин використання	$W_{доб}$, кВт·год
Електричне освітлення	0,2	3	0,6
Побутова розеткова мережа	0,5	2	1
ПК	0,05	2	0,1
Чайник	1,5	0,25	0,375
СВЧ піч	0,8	0,25	0,2
Кавомашина	1,6	0,25	0,4
Бойлер	1,5	3	4,5
Кондиціонер повітря тепло-холод 32000 BTU	3	2	6
Разом:	9,15		13,2

Таблиця 2.8 – Навантаження в літній період

Встановлювані електроприлади	$P_{ном}$, кВт	Кількість годин використання	$W_{доб}$, кВт·год
Електричне освітлення	0,2	1	0,2
Побутова розеткова мережа	0,5	1	0,5
ПК	0,05	1	0,05
Чайник	1,5	0,25	0,375
СВЧ піч	0,8	0,25	0,2
Кавомашина	1,6	0,25	0,4
Бойлер	1,5	2	3
Кондиціонер повітря тепло-холод 32000 BTU	3	2	6
Разом:	9,15		10,7

Таблиця 2.9 – Навантаження в осінній період

Встановлювані електроприлади	$P_{ном}$ кВт	Кількість годин використання	$W_{доб}$ кВт·год
Електричне освітлення	0,2	4	0,8
Побутова розеткова мережа	0,5	2	1
ПК	0,05	2	0,1
Чайник	1,5	0,25	0,375
СВЧ піч	0,8	0,25	0,2
Кавомашина	1,6	0,25	0,4
Бойлер	1,5	2	3
Кондиціонер повітря тепло-холод 32000 BTU	3	3	9
Разом:	9,15		14,9

Для складання балансу електроенергії в автономній системі електропостачання із сонячними панелями потрібен помісячний графік електроспоживання нашого судна.

У таблиці 2.10 представлено помісячне електроспоживання нашого об'єкта, а також на рис. 2.4 зображено графік споживаної потужності за кожен місяць.

Електроспоживання у весняні та осінні місяці зовсім трохи перевищують літнє енергоспоживання. Баланси електроенергії включають енергію, що генерується фотоелектростанцією і спожиту проєктованим об'єктом. Співвідношення генерованої та споживаної електроенергії суттєво розрізняються за місяцями, отже необхідний щомісячний аналіз енергетичних балансів.

Таблиця 2.10 - Енергія, яка споживається за кожен місяць експлуатації судна

Місяць	W, кВт·год
Березень	395.53
Квітень	377.12
Травень	354.26
Червень	321.75
Липень	325.88
Серпень	362.91
Вересень	446.24
Жовтень	452.86
Листопад	455.21

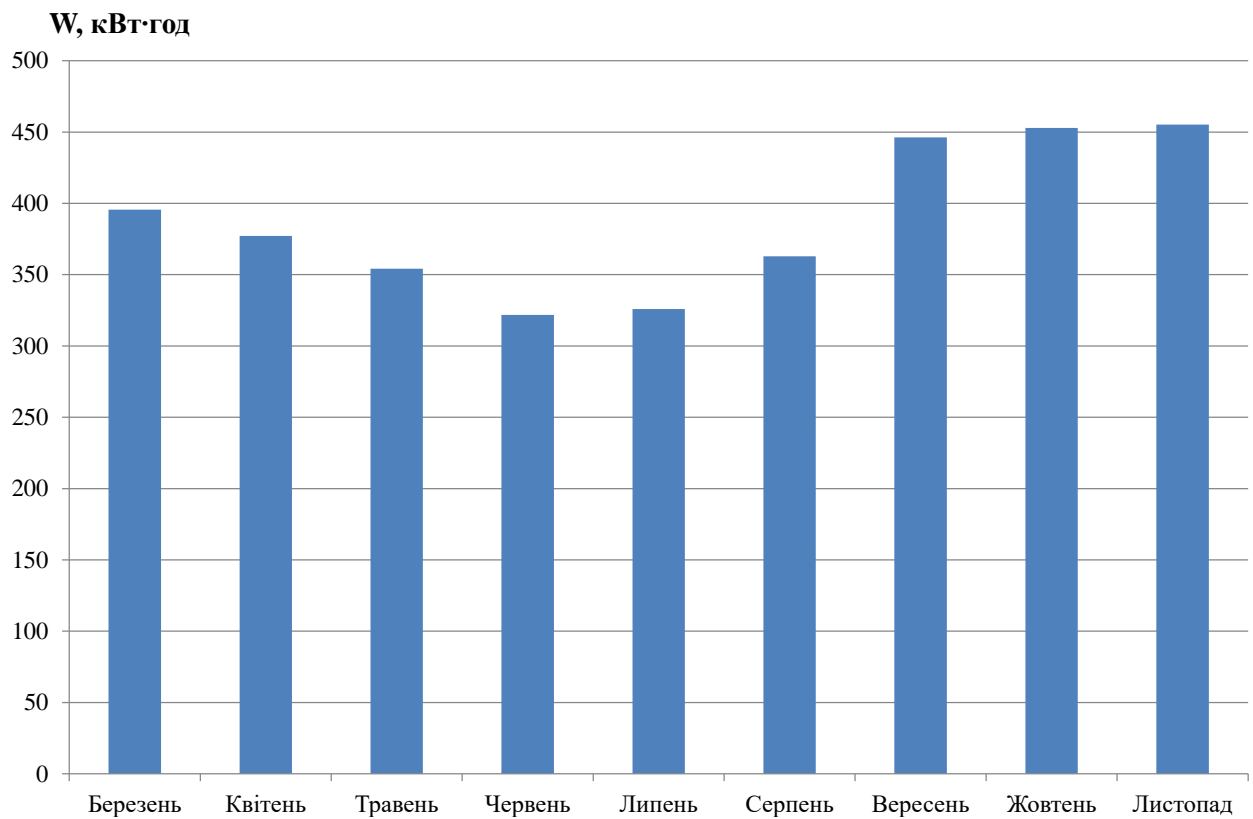


Рисунок 2.4 - Енергія, що споживається за кожен місяць

2.4 Вибір обладнання сонячної електростанції

2.4.1 Вибір сонячних модулів

З пункту 2.1 було проаналізовано потенціал сонячної енергії біля р. Дністер в районі Тернопільської області. Було встановлено, що на 1 м^2 залежно від пори року падає від 0,69 до 4,96 кВт сонячної енергії.

Виберемо сонячні модулі Exmork ФСМ-300М. Технічні характеристики сонячного модуля наведено на сайті виробника.

Розрахуємо кількість енергії, що виробляється, одним сонячним модулем протягом року за окремими місяцями (табл. 2.12), по отриманій таблиці побудуємо графік потужності, яка виробляється (рис. 2.5).

Модуль потужністю P_{CM} протягом обраного періоду виробить таку кількість енергії:

$$W_{CM} = \frac{kP_{CM}\lambda}{1000}, \text{кВтгод}; \quad (2.4)$$

де λ - значення інсоляції за обраний період, $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$;

k - коефіцієнт, що враховує поправку на втрату потужності сонячних елементів при нагріванні на сонці, а також похиле падіння променів на поверхню модулів протягом дня.

Приклад розрахунку для листопада:

$$W_{CM} = \frac{0,7 \cdot 300 \cdot 24,22}{1000} = 5,08 \text{кВтгод}; \quad (2.5)$$

З таблиці 2.11 видно, що для покриття потужності навантаження необхідно 16 сонячних модулів. Складемо графік вироблюваної потужності одним сонячним модулем (рис. 2.5) та графік балансу потужностей при використанні всіх сонячних модулів. (рис. 2.6).

Таблиця 2.11 - Кількість виробленої потужності одним сонячним модулем

Місяць	Сонячна радіація (кВт·год/м ²) (місяць)	Витрати Е.Е. мал.судна $W_{необх}$	Е.Е одного сонячного модуля	Е.Е 16 сонячних модулів $W_{мод}$ (кВт·год)	Баланс Е.Е.
Березень	97,90	395,53	20,56	328,94	-66,59
Квітень	125,80	377,12	26,42	422,69	45,57
Травень	159,90	354,26	33,58	537,26	183,00
Червень	177,70	321,75	37,32	597,07	275,32
Липень	172,40	325,88	36,20	579,26	253,38
Серпень	135,20	327,54	28,39	454,27	126,73
Вересень	89,98	446,24	18,90	302,33	-143,91
Жовтень	44,76	452,86	9,40	150,39	-302,47
Листопад	24,22	455,21	5,09	81,38	-373,83
Разом:	1027,86	3456,39	215,85	3453,61	884,01/ 886,79

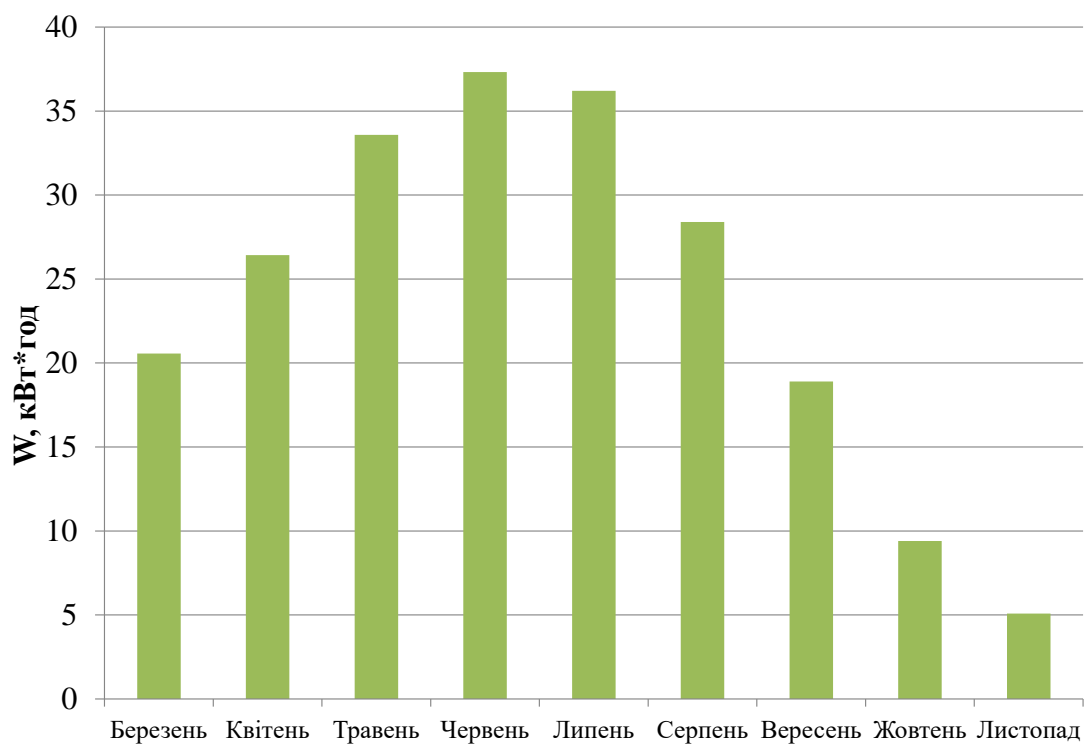


Рисунок 2.5 - Графік виробленої потужності одного сонячного модуля

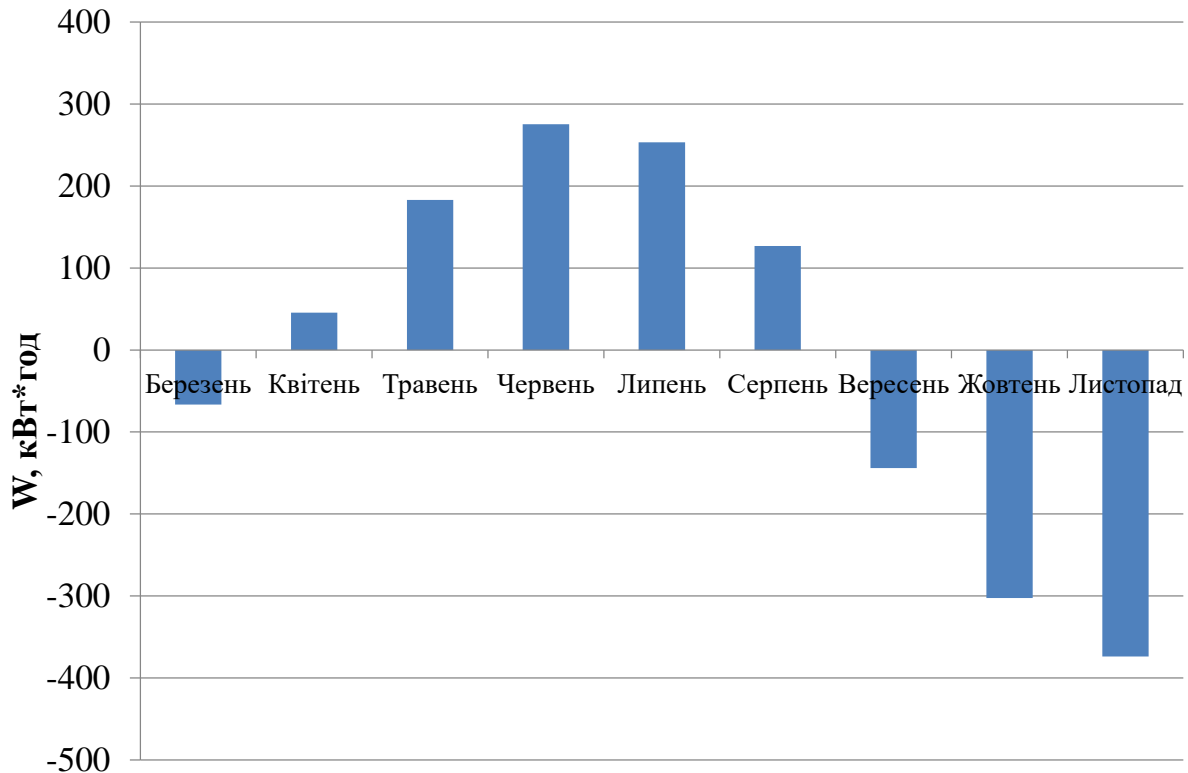


Рисунок 2.6 – Річний баланс потужностей при використанні сонячних модулів

2.4.2 Вибір акумуляторних батарей та інвертора

Зробимо розрахунок необхідної ємності накопичувачів для покриття добової потреби в електроенергії. Напруга батарей акумуляторів прийнята рівним $U_{AKB} = 12$ В, глибина розряду, з метою продовження терміну служби акумуляторів, прийнята рівною 30 %. Тоді, необхідна ємність накопичувачів ($E_{необх}$) буде рівна (2.6):

$$E_{необх} = \frac{W_{доб}}{U_{AKB} \cdot k} = \frac{13000}{12 \cdot 0,7} = 1547,614 \cdot год. \quad (2.6)$$

Знаючи необхідну ємність та ємність одного акумулятора, можна знайти необхідну кількість накопичувачів (2.7).

$$N = \frac{E}{E_{\text{осередка}}} = \frac{1547,61}{200} = 7,73 \quad (2.7)$$

Відповідно до розрахунку вибираємо акумулятор Ventura VG 12-200 [6]. Технічні характеристики акумулятора наведено на сайті виробника.

З запасом до встановлення 8 АКБ (4 АКБ для першого інвертора та 4 АКБ для другого інвертора, з'єднаних послідовно). Ємність обраного числа АКБ складе $E = 1600\text{А} \cdot \text{год}$, $U = 48\text{ В}$.

Посилаючись на обрану схему побудови системи електропостачання (рис. 2.7), необхідно зробити вибір обладнання цієї системи, зокрема, підібрати інвертор.

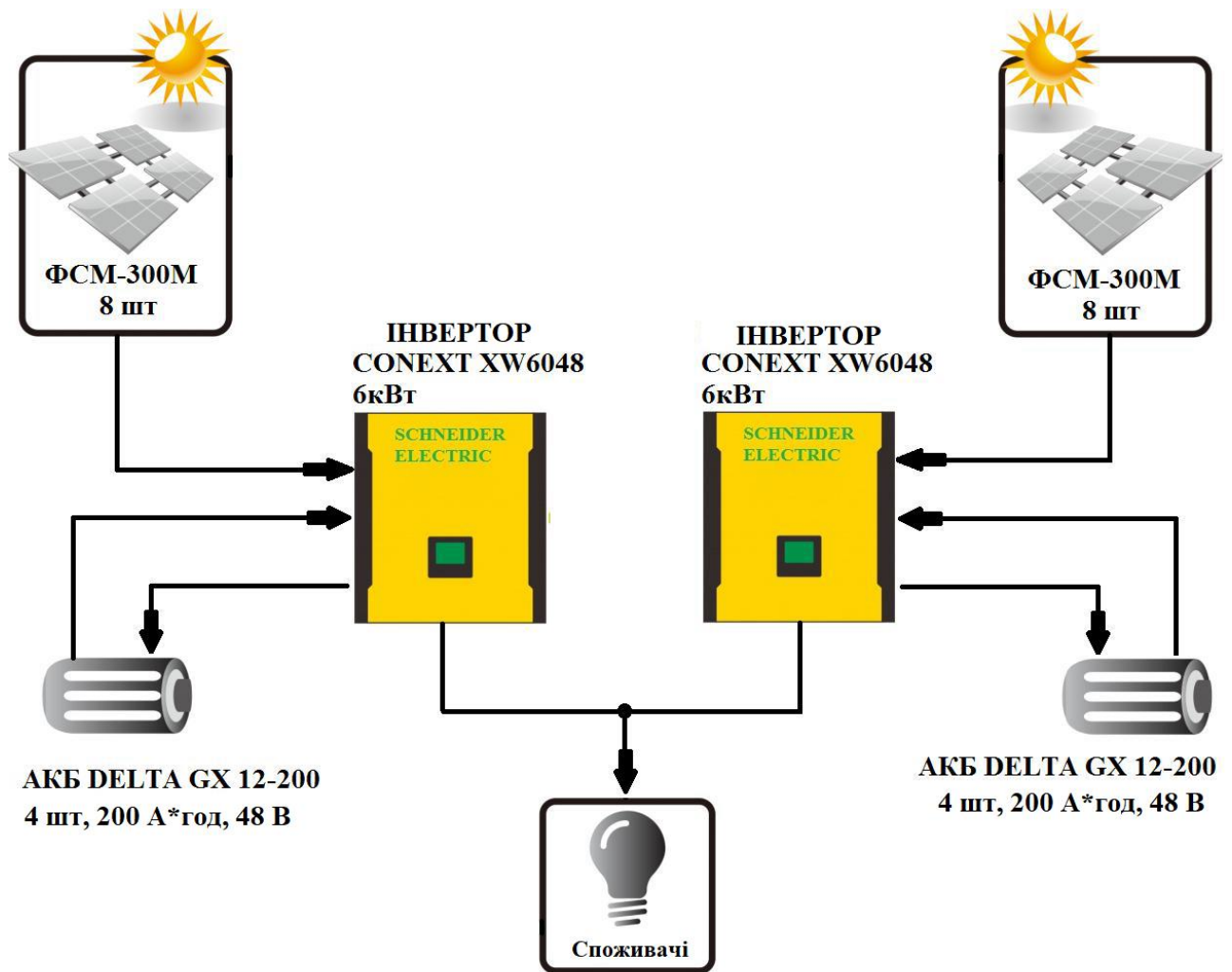


Рисунок 2.7 – Структурна схема сонячної електростанції

Вибраний інвертор повинен забезпечити необхідну вихідну потужність, форму струму, частоту, що виробляється, забезпечувати паралельну роботу генераторів електричної енергії на навантаження і на заряд акумуляторів. Також він повинен мати входи постійного струму, контролери заряду-розряду акумуляторних батарей, випрямляч. Все обладнання всередині шафи має бути узгоджене між собою. Сумарна споживана потужність протягом дня становить 9,15 кВт. Після аналізу ринку, як найбільш оптимальний варіант, було обрано 2 інвертори фірми SCHNEIDER ELECTRIC CONEXT XW6048 із сумарною потужністю 12 кВт.

Технічні характеристики інвертора SCHNEIDER ELECTRIC CONEXT XW6048 наведено на сайті виробника.

Сонячна установка підключається до акумуляторних батарей через інвертори-контролери заряду-розряду, які виконують функцію регулювання та індикації процесів заряду та розряду, запобігаючи перезаряду та глибокому розряду. Так як вихідна енергія фотоелектричних модулів видається на постійному струмі, для приведення її до стандартних параметрів у складі системи встановлений інвертор, який перетворює енергію на змінний струм і споживач отримує повноцінну напругу 220 В і частоту 50 Гц.

У таблиці 2.12 представлено кількість необхідного обладнання

Таблиця 2.12 - Обладнання для сонячної електростанції

№	Обладнання	Кількість, шт.
1	Сонячний модуль ФСМ-300М	16
2	Інвертор SE CONEXT XW6048	2
3	Гелеві акумуляторні батареї Ventura VG 12-200	8

На рис. 2.8, та рис. 2,9 наведено розташування сонячних батарей.



Рисунок 2.8 – 3d модель хаусбота



Рисунок 2.9 – 3d модель розташування сонячних батарей

2.5 Розробка пристрою контролю заряду-розряду акумуляторних батарей

Спроековано пристрій, що контролює ступінь заряду акумулятора. Він необхідний для того, щоб замовник міг перебуваючи на палубі стежити за станом акумуляторних батарей, які знаходяться у трюмі. Блок-схема такого пристрою зображена на рис.2.10, а принципова схема на рис. 2.11.

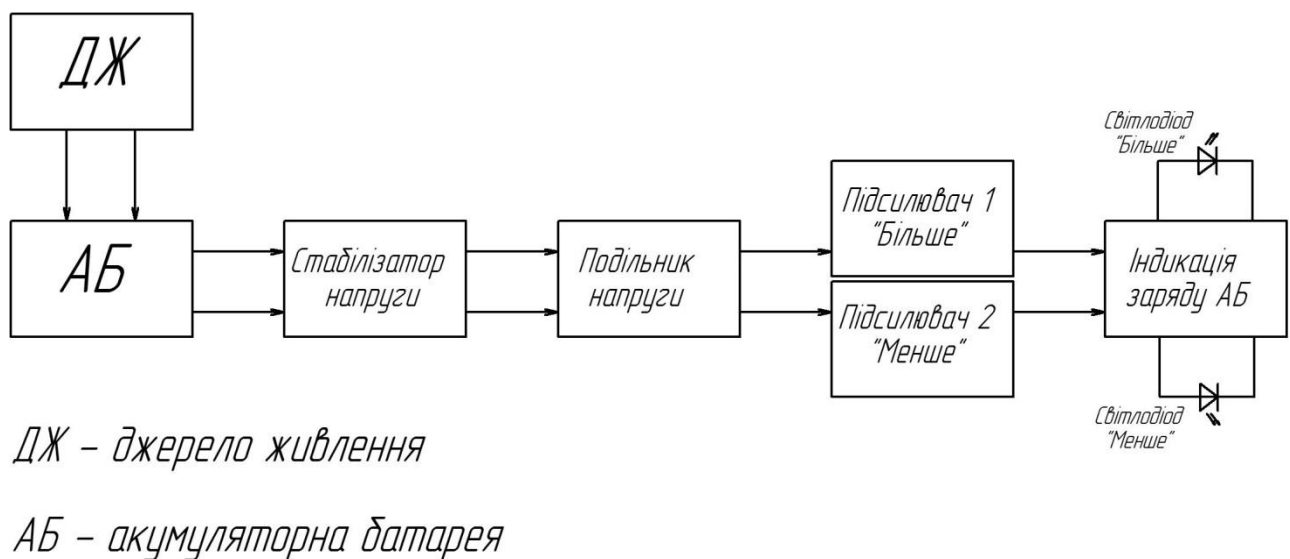


Рисунок 2.10 – Блок-схема проектованого пристрою контролю стану акумулятора

Акумулятор вважається розрядженим якщо напруга на клеммах рівна 10,2 В, а зарядженим – 14,4.

Детальний розрахунок параметрів усіх елементів схеми наведено у додатку А.

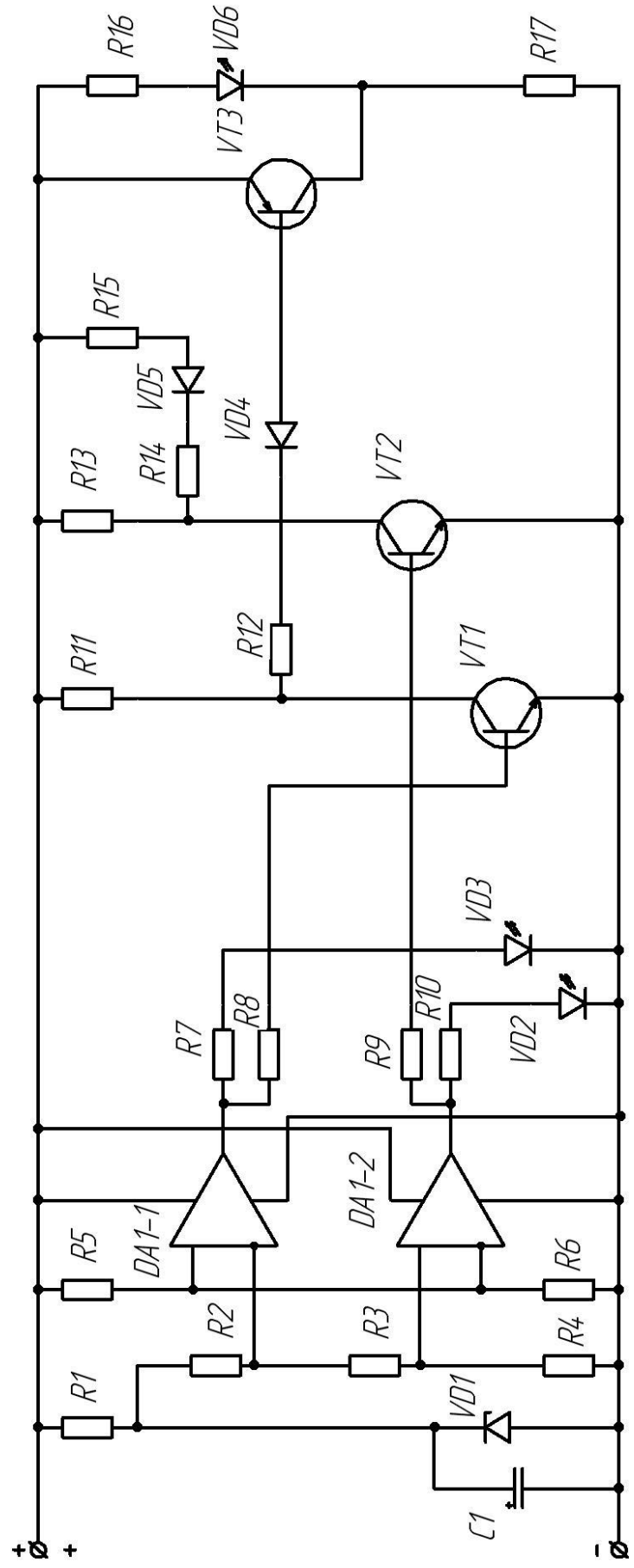


Рисунок 2.11 – Принципова схема пристрою контролю заряду акумуляторних батарей

2.6 Висновки до розділу

1. За наведеним графіком енергетичного балансу (рис. 2.6) можна зробити висновок, що роботи 16 сонячних панелей достатньо для роботи основного споживача. Найбільш сприятливими місяцями для використання сонячних модулів є місяці з квітня по серпень включно, так як вони характеризуються найвищими значеннями сумарної сонячної радіації. З вересня до листопада, використання нашого судна недоцільне, оскільки вже спостерігається відємні температури навколишнього середовища.

2. Прийнято рішення, що системі електропостачання буде працювати два інвертори-контролери заряду-розряду SCHNEIDER ELECTRIC CONEXT XW6048. Відповідно, для роботи всієї сонячної електростанції, ми на кожен інвертор розподілимо рівну кількість сонячних модулів ФСМ-300М та АКБ Ventura VG 12-200 Gel. Для синхронізації інверторів використовуються вбудовані модулі зворотного зв'язку. Тому проблем пов'язаних із зарядом-розрядом окремо взятих акумуляторних батарей немає, тобто виходить синхронна робота всієї системи.

3. Спроековано пристрій, що контролює ступінь заряду акумулятора та проведено розрахунок параметрів величин усіх його електричних елементів.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1. Імітаційна модель сонячного модуля у програмному середовищі MATLAB/Simulink

Побудуємо імітаційну модель сонячного модуля, що складається із 17 елементів. Структуру моделі сонячного модуля наведено на рис. 3.1. Параметрами, що змінюються у процесі моделювання, є: температура навколишнього середовища « T_c »; сонячна радіація " L_{sun} "; напруга на клеммах сонячного модуля " V "; вихідний струм сонячного модуля " I "; електрична потужність « P », що віддається. Параметрами, які залежать від типу сонячного модуля та в процесі роботи не змінюються, є: напруга холостого ходу V_{oc} ; струм короткого замикання I_{sc} ; кількість з'єднаних СЕ послідовно N_s і паралельно N_p . Крім того, константами в процесі моделювання є: заряд електрона « q »; постійна Больцмана " k "; абсолютна температура 0°C " T_0 "; базова температура " T_{rf} "; технологічний фактор " A "; гранична напруга « E_g ».

Структура підсистеми сонячного модуля, який працює на активне навантаження R_n , наведено на рис. 3.2.

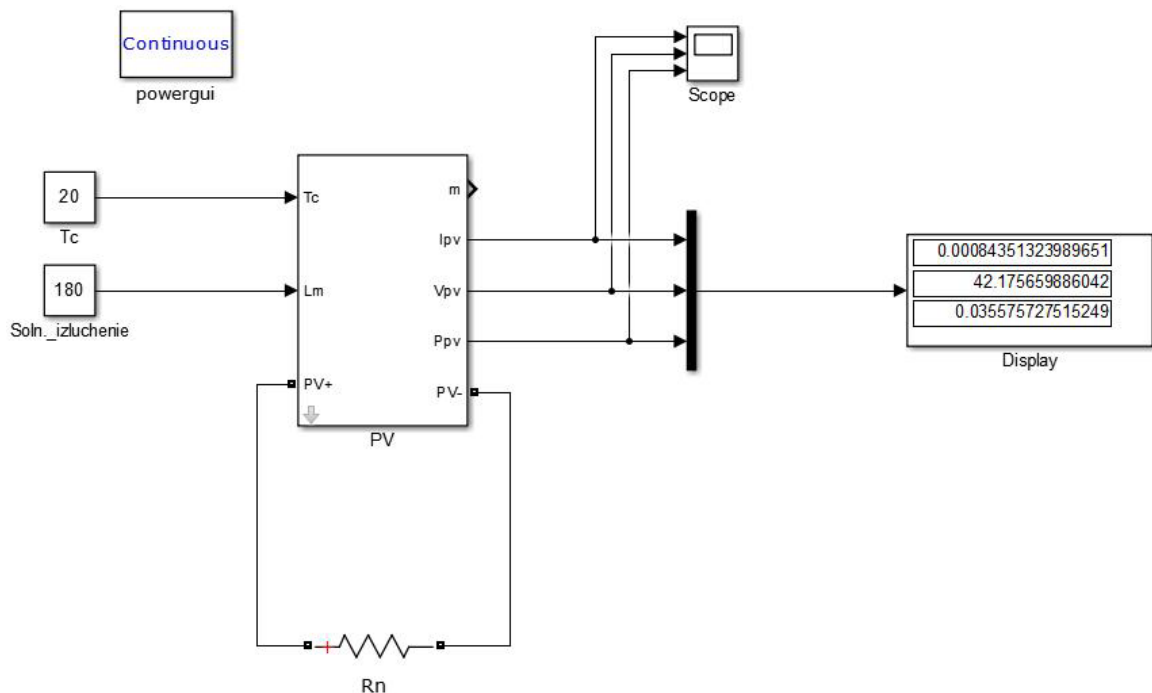


Рисунок 3.1 – Структура моделі сонячного модуля

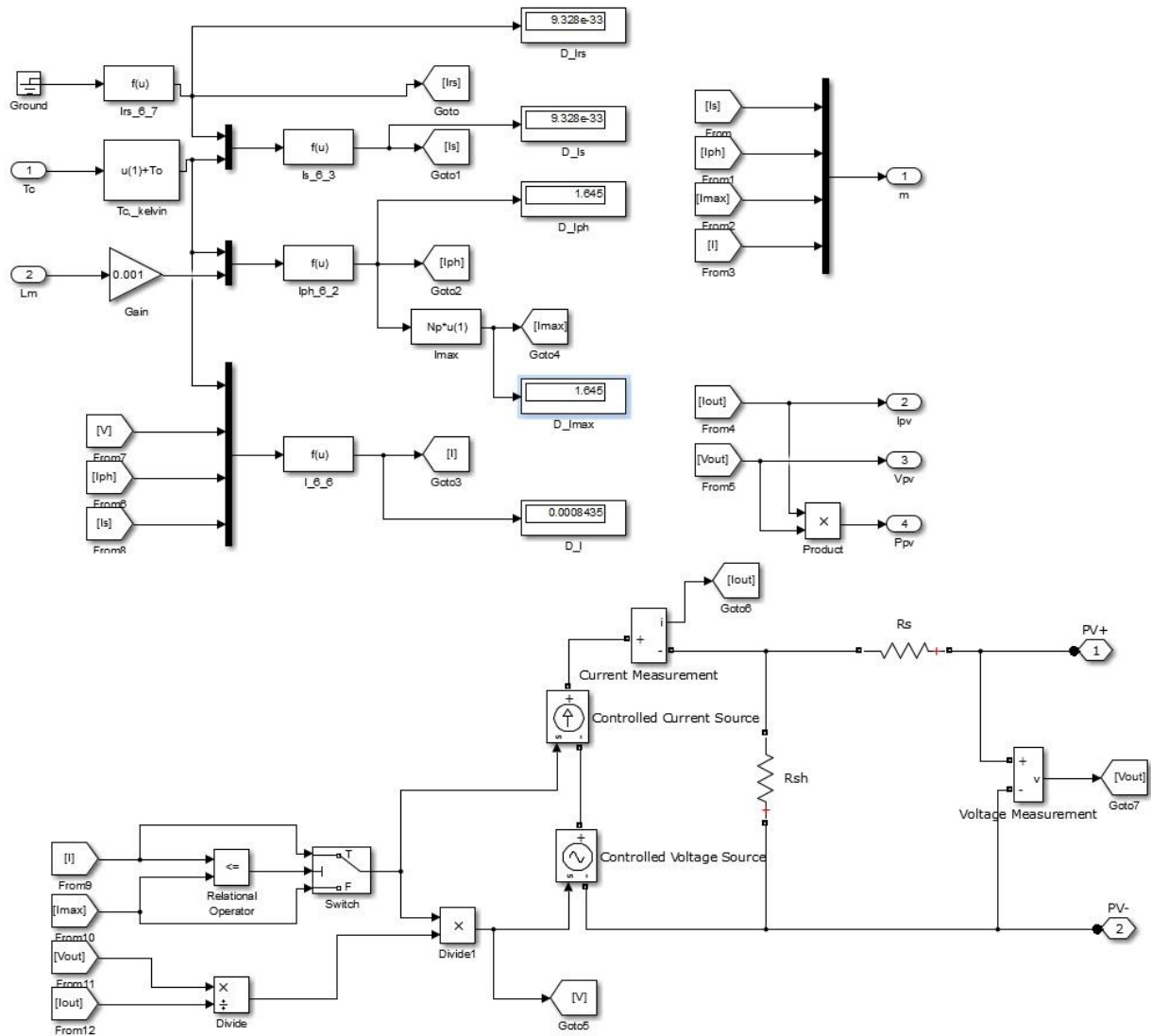


Рисунок 3.2 – Структура підсистеми сонячного модуля, що працює на активне навантаження R_n

Для полегшення процесу введення досить громіздких формул задамо параметри сонячного модуля та константні значення у символічному вигляді. Для цього створимо діалогове вікно введення параметрів (рис. 3.3). У вікні редактора підсистеми «PV» задамо параметри моделі (зкладка Parameters), які будуть вводиться за допомогою діалогового вікна (рис. 3.4).

В закладці Initialization (рис. 3.5) поставимо константи, що використовуються при побудові моделі.

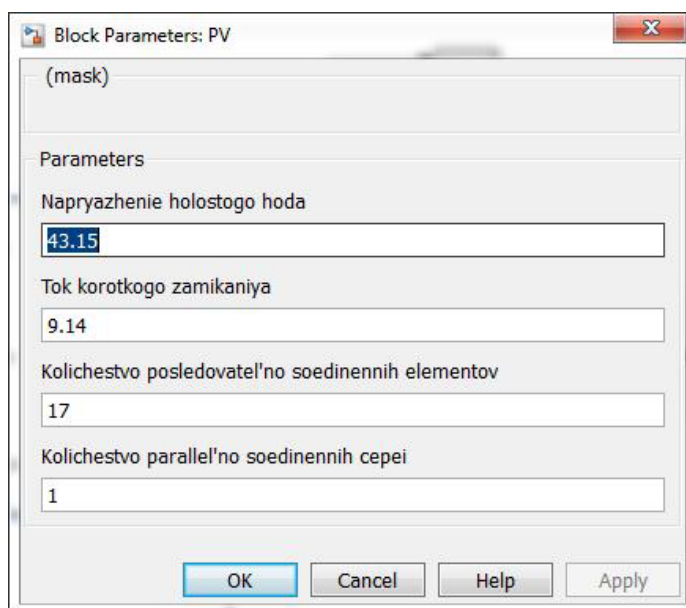


Рисунок 3.3 – Діалогове вікно введення параметрів підсистеми «PV»

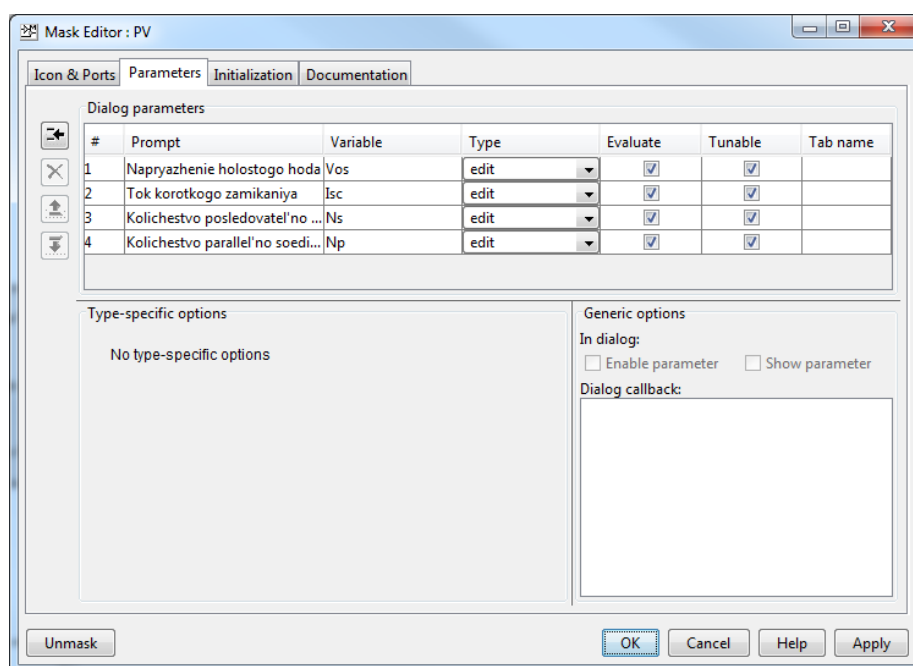


Рисунок 3.4 – Вікно редактора параметрів моделі (закладка Parameters)

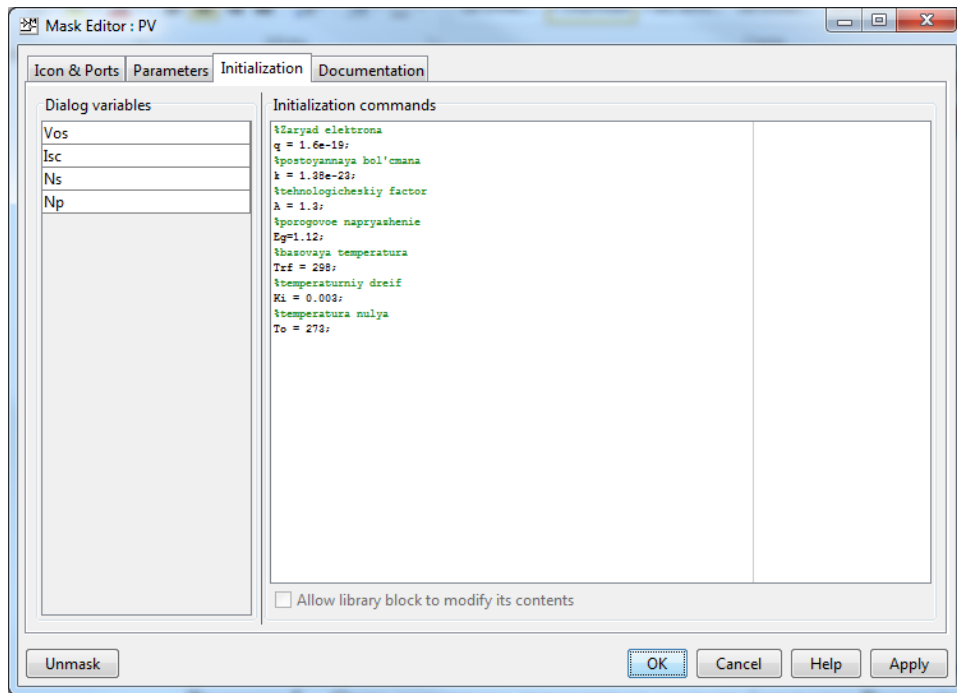


Рисунок 3.5 – Вікно редактора параметрів моделі (закладка Parameters)

3.2 Імітаційне моделювання у програмному середовищі MATLAB/Simulink

Задамо постійний рівень сонячної радіації 50 Вт/м^2 . Змінюючи значення опору навантаження на клеммах сонячного модуля в діапазоні $0,05 \dots 100000 \text{ Ом}$, знімемо ВАХ $V(I)$ та енергетичну характеристику $P(I)$ модуля. Дані занесемо до таблиці 3.1. Повторимо ці дії для рівнів сонячної радіації $100, 180 \text{ Вт/м}^2$. Графічне зображення ВАХ та енергетичної характеристики наведено на рисунку 3.6 і 3.7 відповідно.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання основних параметрів сонячного модуля

50 Вт/м^2										
R,	0,05	0,1	1	2	3	5	10	70	100	10000
I, A	0,457	0,457	0,457	0,45	0,457	0,457	0,45	0,44	0,402	0,0008
U, B	0,022	0,045	0,456	0,91	1,37	2,284	4,56	30	40,23	41,447
P, Вт	0,010	0,020	0,208	0,41	0,626	1,044	2,08	13,2	16,20	0,0343
100 Вт/м^2										
R,	0,05	0,1	1	2	3	5	10	40	100	10000
I, A	0,914	0,914	0,914	0,91	0,914	0,914	0,91	0,85	0,415	0,0008

Продовження таблиці 3.1

U, В	0,045	0,091	0,913	1,827	2,741	4,569	9,13	35,1	41,49	41,84
P, Вт	0,041	0,083	0,835	1,67	2,506	4,176	8,35	29,75	17,23	0,035
180 Вт/м ²										
R, Ом	0,05	0,1	1	2	3	5	10	25	100	10000
I, А	1,64	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645	1,64	1,55	0,42	0,000
U, В	0,082	0,164	1,645	3,29	4,935	8,225	16,4	35,6	42,00	42,17
P, Вт	0,135	0,27	2,706	5,413	8,119	13,532	27,0	55,8	17,66	0,035

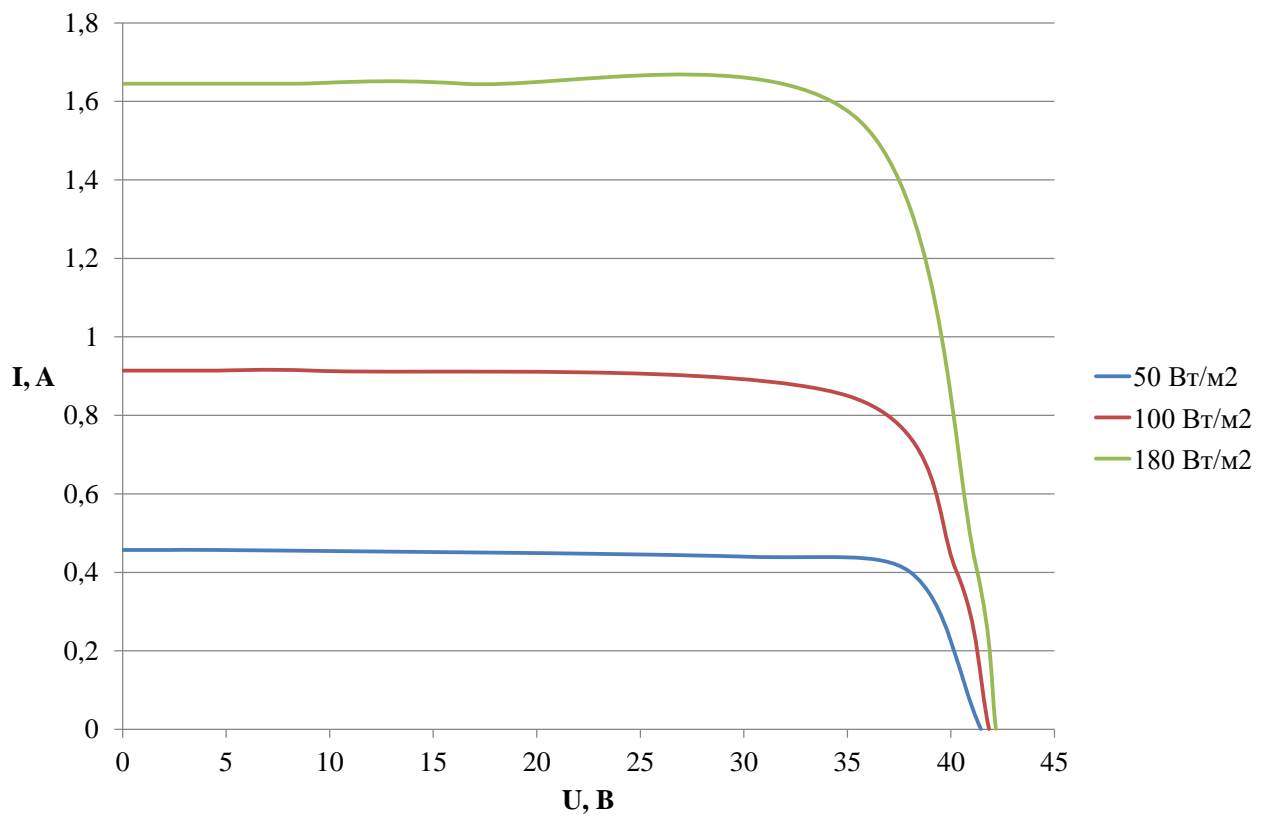


Рисунок 3.6 – Вольт-амперні характеристики сонячного модуля при фіксованих значеннях сонячної радіації

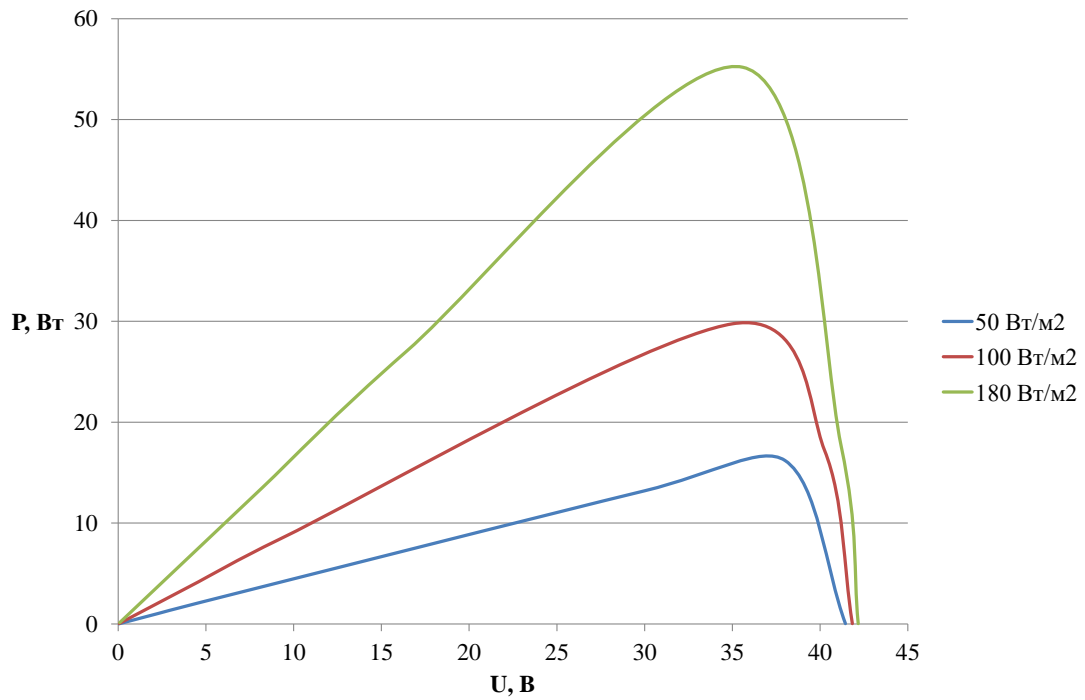


Рисунок 3.7 – Енергетичні характеристики сонячного модуля при фіксованих значеннях сонячної радіації

Поставимо на вхід L_m сонячного модуля блок Signal Builder з трьома рівнями сигналів нашої сонячної інсоляції 180 Вт/м^2 , 100 Вт/м^2 та 50 Вт/м^2 для перевірки нашої моделі при постійному опорі R_n .

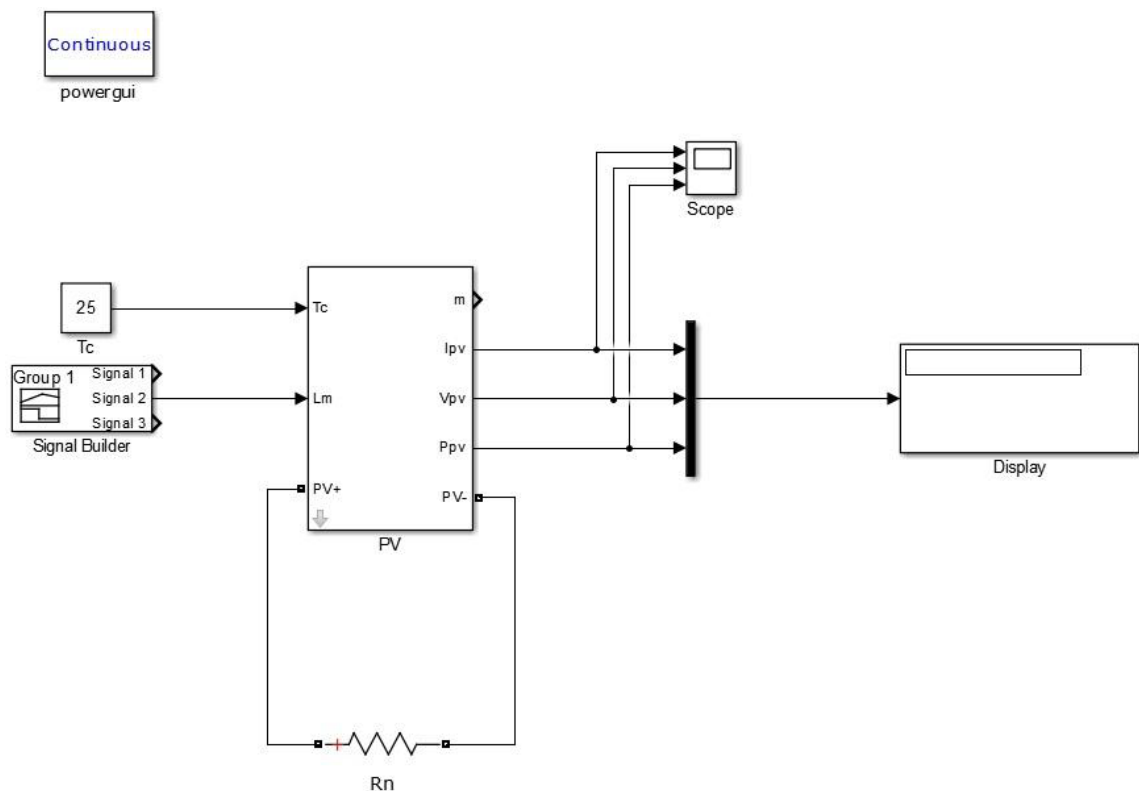


Рисунок 3.8 - Структура сонячного модуля із блоком Signal Builder

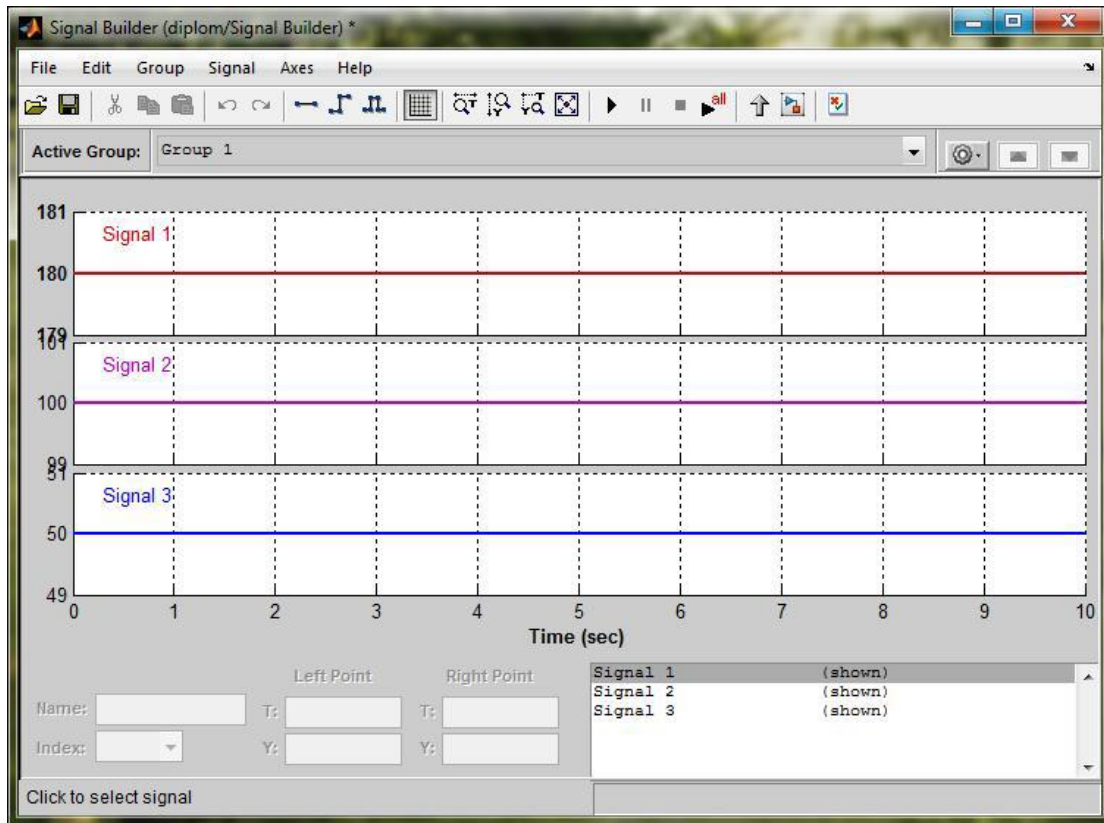


Рисунок 3.9 - Блок Signal Builder з трьома рівнями сигналу

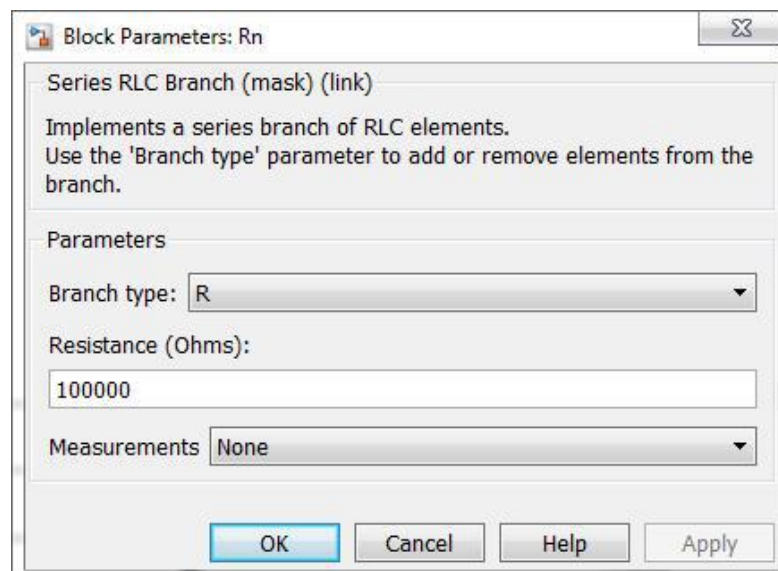


Рисунок 3.10 - Блок $R_n=100000 \text{ Ом} - \text{const}$

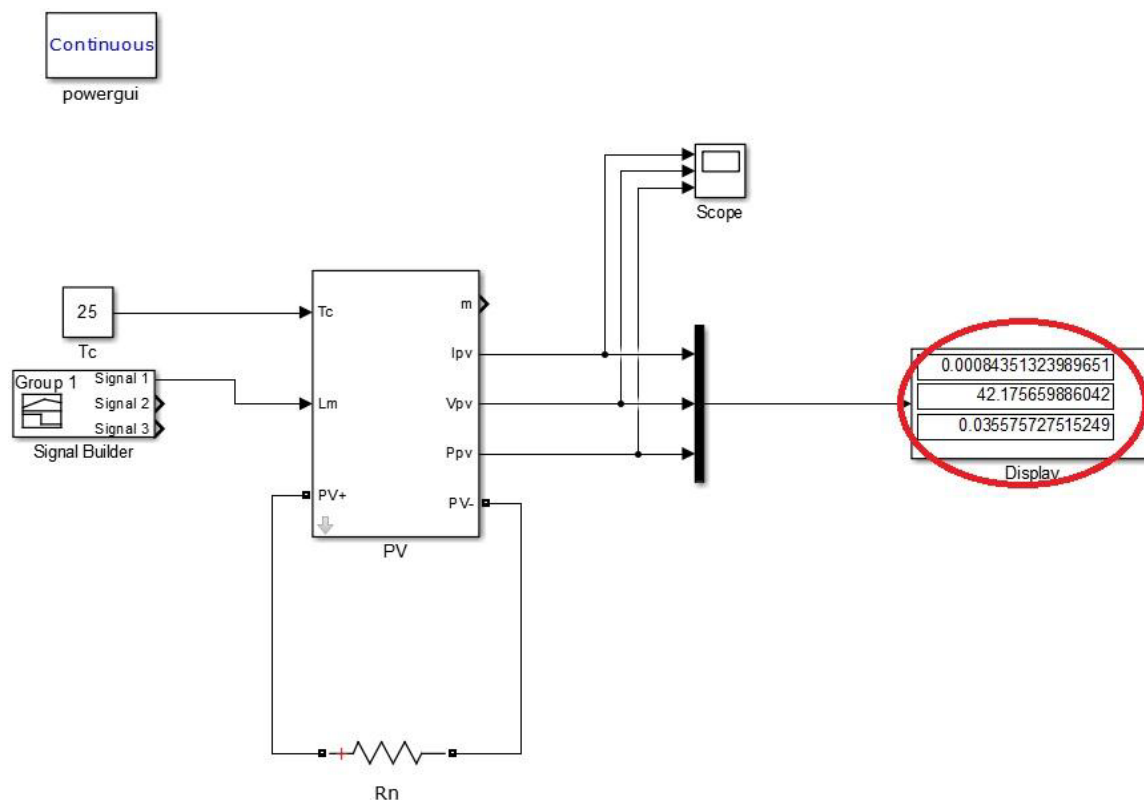


Рисунок 3.11 - Signal 1 із сонячною інсоляцією 180 Вт/м^2

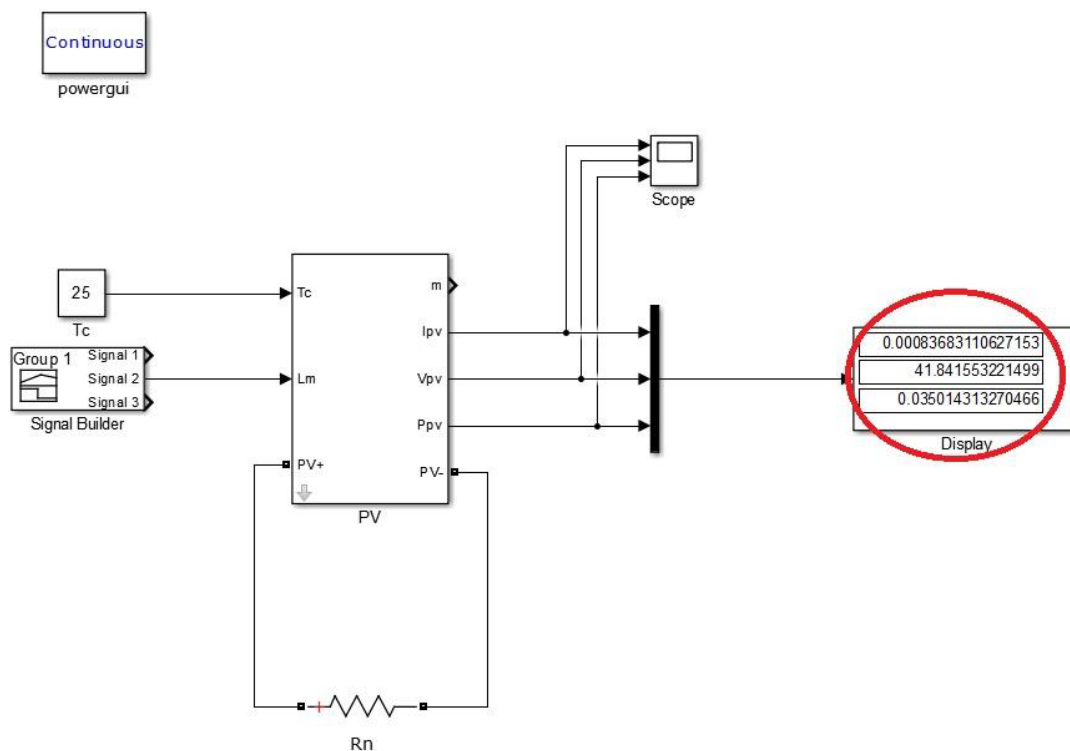


Рисунок 3.12 - Signal 2 із сонячною інсоляцією 100 Вт/м^2

3.3 Висновки до розділу

1. У процесі моделювання сонячного модуля була перевірена його робота за різних параметрів навантаження та сонячного випромінювання. За отриманими значеннями були побудовані вольт-амперна та ват-амперна (енергетична) характеристика модуля. За отриманими характеристиками видно, що зі збільшенням потужності сонячного випромінювання збільшується потужність, що виробляється сонячним модулем.

2. Виявлено відповідність характеристик сонячного модуля, наданих виробником та характеристик сонячного модуля під час моделювання в середовищі Matlab/Simulink. Розбіжність результатів моделювання з паспортними характеристиками не перевищує допустимих значень. Тим самим підтверджується адекватність запропонованої імітаційної моделі.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

. 4.1 Інструктажі з охорони праці

Усі працівники, які приймаються на постійну чи тимчасову роботу, і при подальшій роботі, повинні проходити на підприємстві навчання в формі інструктажів з питань охорони праці, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

За характером і часом проведення інструктажів з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий [8].

Вступний інструктаж проводиться:

- з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади;
- з працівниками інших організацій, які прибули на підприємство і беруть безпосередню участь у виробничому процесі або виконують інші роботи для підприємства;
- з учнями та студентами, які прибули на підприємство для проходження виробничої практики;
- у разі екскурсії на підприємство;

Первинний інструктаж проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником:

- новоприйнятим (постійно чи тимчасово) на підприємство;
- який переводиться з одного цеху виробництва до іншого;
- який буде виконувати нову для нього роботу;
- . - відрядженим працівником, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві [8].

Повторний інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці в терміни, визначені відповідними чинними галузевими нормативними актами

або керівником підприємства з урахуванням конкретних умов праці, але не рідше:

- на роботах з підвищеною небезпекою - 1 раз на 3 місяці;
- для решти робіт - 1 раз на 6 місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці:

- при введенні в дію нових або переглянутих нормативних актів про охорону праці, а також при внесенні змін та доповнень до них;
- при зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на стан охорони праці;
- при порушеннях працівниками вимог нормативних актів про охорону праці, що можуть призвести або призвели до травм, аварій, пожеж тощо;
- при виявленні особами, які здійснюють державний нагляд і контроль за охороною праці, незнання вимог безпеки стосовно робіт, що виконуються працівником;
- при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів - для робіт з підвищеною небезпекою, а для решти робіт - понад 60 днів.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками:

- при виконанні разових робіт, не передбачених трудовою угодою;
- при ліквідації аварії, стихійного лиха;
- при проведенні робіт, на які оформлюються наряд-допуск, розпорядження або інші документи.

Стажування (дублювання) та допуск працівників до роботи.

Новоприйняті на підприємство працівники після первинного інструктажу на робочому місці до початку самостійної роботи повинні під керівництвом досвідчених, кваліфікованих фахівців пройти стажування протягом 2 - 15 змін або дублювання протягом не менше шести змін.

Працівники, функціональні обов'язки яких пов'язані із забезпеченням безаварійної роботи важливих і складних господарчих потенційно небезпечних

об'єктів або з виконанням окремих потенційно небезпечних робіт (теплові та атомні електричні станції, гірничодобувні підприємства, інші подібні об'єкти, порушення технологічних режимів яких являє загрозу для працівників та навколишнього середовища), до початку самостійної роботи повинні проходити дублювання з обов'язковим суміщенням з протиаварійними і протипожежними тренуваннями відповідно до плану ліквідації аварій.

Допуск до стажування (дублювання) оформлюється наказом (розпорядженням) по підприємству (структурному підрозділу), в якому визначаються тривалість стажування (дублювання) та прізвище відповідального працівника. Перелік посад і професій працівників, які повинні проходити стажування (дублювання), а також тривалість стажування (дублювання) визначаються керівником підприємства. Тривалість стажування (дублювання) залежить від стажу і характеру роботи, а також від кваліфікації працівника. Керівнику підприємства надається право своїм наказом (розпорядженням) звільняти від проходження стажування (дублювання) працівника, який має стаж роботи за відповідною професією не менше 3 років або переводиться з одного цеху до іншого, де характер його роботи та тип обладнання, на якому він працюватиме, не змінюються.

Стажування (дублювання) проводиться за програмами для конкретної професії, посади, робочого місця, які розробляються на підприємстві і затверджуються керівником підприємства (структурного підрозділу) на робочих місцях свого або іншого подібного за технологією підприємства. У процесі стажування працівники повинні виконувати роботи, які за складністю, характером, вимогами безпеки відповідають роботам, що передбачаються функціональними обов'язками цих працівників.

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) [8].

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 ГОСТ 12.1.045-84 гранично допустима напруженість електричного поля $E_{доп}$ на робочих місцях не повинна перевищувати 60 кВ/м, якщо час впливу t_v не перевищує 1 год; при $1 \text{ год} < t_v < 9 \text{ год}$ – $E_{доп} = 60\sqrt{t_v}$.

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 Надзвичайні ситуації природного характеру

Надзвичайні ситуації природного характеру — це небезпечні геологічні, метеорологічні, гідрологічні морські та прісноводні явища, деградація ґрунтів чи надр, природні пожежі, зміна стану повітряного басейну, інфекційна захворюваність людей, сільськогосподарських тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміна стану водних ресурсів та біосфери [9].

На території України можливе виникнення практично всього спектру небезпечних природних явищ і процесів геологічного, гідрогеологічного та метеорологічного походження. До них належать великі повені, катастрофічні затоплення, землетруси та зсувні процеси, лісові та польові пожежі, великі снігопади та ожеледі, урагани, смерчі та шквальні вітри тощо.

Серед надзвичайних ситуацій природного походження в Україні найчастіше трапляються:

- геологічна небезпечні явища, такі, як зсуви, обвали та осипи, просадки земної поверхні різного походження та ін.;
- метеорологічна небезпечні явища, такі, як зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь;
- гідрологічна небезпечні явища, такі, як повені, паводки, підвищення рівня ґрунтових вод та ін.;
- природні пожежі лісових та хлібних масивів;
- масові інфекції та хвороби людей, тварин і рослин.

Виходячи з визначення стихійного лиха як природного явища, що безпосередньо впливає на стан навколишнього середовища і добробут населення та є екстремальним екологічним фактором, територія України характеризується дуже складними умовами, що визначає полігенетичний характер стихійних лих та певні просторові закономірності їх прояву в різних географічних зонах і районах.

Особливості географічного положення України, атмосферні процеси, наявність гірських масивів, підвищень, близькість теплих морів зумовлює різноманітність кліматичних умов: від надлишкового зволоження в західному Поліссі до посушливого в Південній Степовій зоні. Виняткові кліматичні умови на Південному березі Криму, в горах Українських Карпат та Криму. У результаті взаємодії всіх цих факторів виникають небезпечні стихійні явища. В окремих випадках вони носять катастрофічний характер для навколишнього природного середовища та населення.

Стихійні явища, як правило, виникають у комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Небезпечні природні явища, в основному, визначаються проявом трьох головних груп факторів – ендегенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів.

Стихійні лиха, що мають місце на території України, можна поділити на прості, що включають один елемент, наприклад, сильний вітер, зсув або землетрус, та складні, що включають декілька одночасно діючих процесів однієї групи або кількох груп, наприклад, негативних атмосферних та геодинамічних екзогенних процесів, ендегенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів у поєднанні з техногенними.

Аварії природного характеру класифікуються за такими основними ознаками:

- за масштабами наслідків відповідно до територіального поширення;
- за розмірами заподіяних (очікуваних) економічних збитків та людських втрат;
- за кваліфікаційними ознаками надзвичайних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі розглянуто сонячну електростанцію, здатну за рахунок енергії сонця повністю покрити потребу в електричній енергії споживача маломірного судна у теплі періоди року.

2. Сформульовано технічні вимоги для забезпечення ефективного використання установок відновлюваної енергетики у складі автономних систем електропостачання.

3. Необхідну кількість електричної енергії забезпечуватимуть 16 сонячних модулів, безперебійність електропостачання забезпечується за рахунок установки 8 накопичувачів, сумарною ємністю 1600 А·год та напругою 48 В. Системою передбачено встановлення інвертора, який дозволяє синхронізувати систему, тим самим полегшуючи експлуатацію сонячної станції.

4. Відповідно до розробленої схеми сонячної електростанції, вибрано основне обладнання.

5. Спроековано пристрій, що контролює ступінь заряду акумулятора та проведено розрахунок параметрів величин усіх його електричних елементів.

6. У процесі моделювання сонячного модуля була перевірена його робота за різних параметрів навантаження та сонячного випромінювання. За отриманими значеннями були побудовані вольт-амперна та ват-амперна (енергетична) характеристика модуля.

7. Виявлено відповідність характеристик сонячного модуля, наданих виробником та характеристик сонячного модуля під час моделювання в середовищі Matlab/Simulink. Розбіжність результатів моделювання з паспортними характеристиками не перевищує допустимих значень.

8. Загалом, у регіоні де експлуатуватиметься судно не дуже високий потенціал відновлюваних джерел енергії. Однак, використання новітнього та високоефективного обладнання дозволяє використовувати альтернативну енергетику в цьому районі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Bavaria Virtess 420 Fly. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] – Режим доступу: [https://www.busfieldmarine.co.nz/shop/New +Boats/Bavaria+Motor/Bavaria+Virtess+420+Fly.html](https://www.busfieldmarine.co.nz/shop/New+Boats/Bavaria+Motor/Bavaria+Virtess+420+Fly.html)
2. Особливості монтажу та експлуатації сонячних батарей: [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] – Режим доступу: <https://vinur.com.ua/ua/aboutus/usefull-info/install-and-operate-guide/montazh-solnechnih-batarei>.
3. Дослідження роботи фотоелектричного модуля [Текст]: Метод. вказівки до виконання лабораторної роботи для студентів спеціальності «Теплоенергетика» / Уклад В.В. Дубровська, В.І. Шкляр, В.В. Задвернюк – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 32 с.
4. Акумулятор: пристрій, призначення, принцип роботи. Конструкція та призначення акумулятора Схема роботи акумулятора. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] – Режим доступу: <https://carhappy.ru/uk/akkumulyator-ustroistvo-naznachenie-princip-raboty-konstrukciya-i-naznachenie/>
5. Акумуляторні батареї. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] – Режим доступу: <http://www.ecosvit.net/ua/akkumulyatorni-batarei-akkumulyatori-lipo>
6. Акумуляторна батарея Ventura VG 12-200 Gel. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт] – Режим доступу: <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-ventura-vg-12-200-gel/>
7. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова. - М.: Энергоатомиздат, 2008. - 231 с
8. В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. Основи охорони праці. — Вид. 2-е, стереотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.
9. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. К.: Знання, 2006. – 487 с.

Додаток А

Розробка пристрою контролю заряду-розряду акумуляторних батарей

Проведемо розрахунок пристрою, що контролює ступінь заряду акумулятора. блок-схема якого зображена на рис.2.10, а принципова схема на рис. 2.11.

У запропонованому пристрої для фіксації цих меж використано два компаратора DA1-1 і DA1-2. Живлення відбувається від акумулятора. Джерелом напруги установки: $U_{ак} < 10,2 \text{ В}$ і $U_{ак} > 14,4 \text{ В}$ служить параметричний стабілізатор, зібраний на елементах VD1, R1, C1. Для вибраного стабілітрону 2С482А напруга стабілізації $U_{ст} = 8,2 \text{ В}$, а мінімальний струм стабілізації $I_{ст \min} = 1 \text{ мА}$. При $I_{ст} = 5 \text{ мА}$: $U_{ст} = 8,2 \text{ В}$; максимальний струм стабілізації $I_{ст \max} = 96 \text{ мА}$.

При розрахунку опору R1 задамося наступними значеннями:

$$U_{\min ак} = 10 \text{ В};$$

$$U_{ст} = 8,2 \text{ В};$$

$$I_{ст \min} = 5 \text{ мА};$$

Тоді

$$R1 = \frac{U_{\min ак} - U_{ст}}{I_{ст \min}} = \frac{10 - 8,2}{5 \cdot 10^{-3}} = 360 (\text{Ом}) = 0,36 (\text{кОм})$$

Перевіримо, чи не будуть перевищені гранично допустимі параметри стабілітрона при напрузі зарядженого акумулятора $U_{\max ак} = 14,4 \text{ В}$.

$$I_{ст} = \frac{U_{\max ак} - U_{ст}}{R1} = \frac{14,4 - 8,2}{360} = 0,0172 (\text{А}) = 17,2 (\text{мА})$$

Так як $I_{ст} < I_{ст \max}$; $17,2 \text{ мА} < 96 \text{ мА}$, значить гранично допустимі параметри перевищені не будуть. Отже, стабілітрон обраний вірно.

При виборі стабілітрона потрібно, щоб при необхідній напрузі стабілізації, максимальний струм стабілізації був високий.

За довідковою літературою підбираємо необхідну мікросхему DA1. В даному випадку підібрана мікросхема - операційний підсилювач типу К140УД20. Вхідний $I_{вх}$ і вихідний $I_{вих}$ струми обраної мікросхеми: $I_{вх} = 0,2 \text{ мА}$; $I_{вих} = 20 \text{ мА}$.

Струм через подільник для установки порогових опорних значень напруги 10,2 В і 14,4 В знаходиться наступним чином. Зазвичай струм через подільник вибирають з умови

$$I_{nod} \geq (2 \div 4) \cdot I_{нав.},$$

де $I_{нав}$ - струм через навантаження;

I_{nod} - струм через подільник.

Для розглянутого випадку $I_{нав} = I_{вх}$ значить

$$I_{nod} \geq (2 \div 4) \cdot 0,2 \geq 0,4 \div 0,8 \text{ мА}.$$

Вибираємо струм подільника $I_{nod1} = 1 \text{ мА}$.

Визначимо опору подільника R2, R3, R4.

Відповідно до закону Ома:

$$R_{nod1} = \frac{U_{cm}}{I_{nod1}} = \frac{8,2}{1} = 8,2 (\text{кОм}).$$

Раніше було визначено, що напруга акумулятора резисторами R5 і R6 ділиться на два. Нехай R5, R6 є подільник на два, тоді згідно вище викладеного I_{nod2} має бути $\geq 1 \text{ мА}$. При відомому $U_{min ак}$ маємо

$$R_{nod2} = \frac{10}{1} = 10 \text{ кОм}.$$

При напрузі зарядженого акумулятора

$$I_{\text{под}2} = \frac{U_{\text{max ак}}}{R_{\text{под}2}} = \frac{14,4}{10 \cdot 10^3} = 0,00144(A) = 1,44(\text{мА}) ,$$

$$\text{що} > (2 \div 4) I_{\text{нав}} ..$$

Опори R5 і R6 рівні. R5 = R6, при розподілі напруги акумуляторі, отже:

$$R5 = R6 = \frac{10}{2} = 5(\text{кОм}) .$$

Найближчий номінал, щоб виконувалася умова $I_{\text{под}} \geq (2 \div 4) \cdot I_{\text{нав}}$ буде рівним 4,7 кОм.

Отже R5 = R6 = 4,7 кОм. При таких значеннях опорів напруга на подільнику буде змінюватися від 5,1 В до 7,2 В при зазначеній зміні напруги на акумуляторі.

Розрахуємо номінали резисторів подільника:

$$R4 = \frac{U_{1 \text{ нор}}}{I_{\text{под}1}} ,$$

де $U_{1 \text{ нор}}$ - напруги розрядженого акумулятора, рівна 5,1В.

$$R4 = \frac{5,1}{1 \cdot 10^{-3}} = 5100(\text{Ом}) = 5,1(\text{кОм}) .$$

Друга порогова напруга $U_{2 \text{ нор}}$ - 7,2 В, тобто

$$R3 + R4 = \frac{7,2}{1 \cdot 10^{-3}} = 7,2(\text{кОм}) .$$

тоді

$$R3 + R4 = 7,2,$$

$$R3 = 7,2 \cdot 10^3 - R4 = 7,2 \cdot 10^3 - 5,1 \cdot 10^3 = 2100(\text{Ом}),$$

$$R2 + R3 + R4 = 8,2 (\text{кОм}),$$

$$R2 = R_{\text{под}1} - (R3 + R4) = 8,2 - 7,2 = 1 (\text{кОм}).$$

Якщо напруга на резисторі R6 нижче опорної то світиться світлодіод VD2, який підключений через резистор R9. Якщо напруга на резисторі R6 вище опорної, діоди VD2 не світиться. Струм діода прийемо

$$I_{\max VD2} = 9 \text{ мА}$$

Тоді опір струмообмежуючого резистора

$$R9 = \frac{U_{\text{вих}DA1-2} - U_{\text{под}}}{I_{\max VD2}},$$

де $U_{\text{вих}DA1-2} \approx 10 \text{ В}$;

$U_{\text{под}} \leq 3 \text{ В}$;

$$R9 = \frac{10 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 777 (\text{Ом}) = 0,777 (\text{кОм}) .$$

Якщо напруга на резисторі R3 вища за напругу на резисторі R6 то світлодіод VD3 не світиться.

Якщо напруга на резисторі R6 перевищує опорну, стабільну на R3, то світлодіод VD3 світиться, проходить струм через резистор R7, величина якого розраховується так же само як і R9 за допомогою формули:

$$R7 = \frac{14,4 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 1267 (\text{Ом}) \approx 1,3 (\text{кОм}) .$$

Отже, коли напруга на акумуляторі більша 10,2 В і менша 14,4 В, вихід DA1-1 і вихід DA1-2 знаходяться в стані «викл», тобто на цих виходах рівень - Uіст. живлення, а значить VT1 і VT2 знаходяться в режимі відсічки, тобто $U_{\text{к VT1}}$ і $U_{\text{г VT2}}$ рівна Uіст живлення. Через подільник R14, R16, R17, а також діоди VD4 і VD5 струм не тече, отже коло VD6, R18, R19 не шунтується транзистором VT3 і світловипромінюючий діод світиться, сигналізуючи $U_{\text{ном ак}}$.

Елементи VT1; VT2; VT3; VD5; VD6; R8; R10; R13; R14; R15; R16; R17 виконують логічну функцію «І» (функція логічного множення).

Знайдемо номінали цих елементів. Використовуємо для цього основні співвідношення транзистора:

$$I_{\kappa} = \beta \cdot I_{\delta}$$

де I_{κ} - струм колектора;

I_{δ} - струм бази;

β - коефіцієнт зворотного зв'язку.

Приймемо струми колекторів транзисторів VT1 і VT2 $I_{\kappa} = 10$ мА при U_{\max} .
 $_{ak} = 14,4$ В, звідки за законом Ома

$$R_{\kappa} = \frac{U_{\max ak}}{I_{\kappa}} = \frac{14,4}{10 \cdot 10^{-3}} = 1440(Ом) = 1,44(кОм) .$$

Вибираємо найближчий номінал $R_{\kappa} = 1,5$ кОм. Отже, $R13 = R15 = 1,5$ кОм, тоді знайдемо базовий струм I_{δ} , звідки розрахуємо опір R_{δ} .

В даному випадку підходять транзистори КТ503В, у яких $\beta_{\min} = 40$;
 $I_{\kappa} = 150$ мА; $U_{\kappa e} = 40$ В.

$$I_{\delta} = \frac{I_{\kappa}}{\beta} = \frac{10}{40} = 0,25 мА .$$

Знайдемо R10. Так як при $U_{\min ak} = 10,2$ В на виході DA1 - 1 + $U_{\min ak} = 10,2$ В.

$$R10 = \frac{U_{\min ak}}{I_{\delta}} = \frac{10,2}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 40800(Ом) = 40,8(кОм) .$$

Найближчий стандартний номінал 39 кОм. $R10 = 39$ кОм.

Знайдемо R8 також при $U_{\max ak} = 14,4$ В. На виході DA1-1 + $U_{\max ak}$,
 Значить:

$$R8 = \frac{U_{\max ak}}{I_{\delta}} = \frac{14,4}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 57600(Ом) \approx 58(кОм)$$

Найближчий стандартний номінал 56 кОм. $R_8 = 56 \text{ кОм}$.

В якості транзистора VT3 підходить транзистор типу KT502B, що має технічні дані: $\beta_{min} = 40$; $I_K = 150 \text{ мА}$; $U_{ке} = 40\text{В}$; $U_{бе max} = 1,2\text{В}$.

Визначимо значення опорів R_{12} ; R_{14} ; R_{15} ; R_{16} ; R_{17} . Розрахуємо баластовий резистор $R_{16} + R_{17}$ в колі світловипромінюючого діода VD6. Щоб не перевищити гранично допустимий струм через VD6, приймемо ступінь насичення $N = 1,5$. отже:

$$U'_{нас.бе} = U_{бе max} \cdot 1,5 = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ В}.$$

Максимальний прямий струм через VD6 також, як і через VD2 і VD3 дорівнює 9 мА.

Баластний резистор $R_{16} + R_{17}$ розраховується за формулою:

$$(R_{16} + R_{17}) = \frac{U_{макс} - U_{под}}{I_{max}} = \frac{14,4 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 1267(\text{Ом}) \approx 1,3(\text{кОм}) .$$

Довільно приймемо $R_{16} = R_{17}$:

$$R_{16} = R_{17} = \frac{R_{16} + R_{17}}{2} = \frac{1300}{2} = 650(\text{Ом}) .$$

Найближчий стандартний номінал 680 Ом, тоді $R_{16} = R_{17} = 680 \text{ Ом}$.

У відкритому, насиченому стані струм $I_{K max}$ (або $I_{K VT3}$) транзистора VT3 дорівнює

$$I_{K max} = \frac{U_{макс}}{R_{17}} = \frac{14,4}{0,68 \cdot 10^3} = 0,021(\text{А}) = 21(\text{мА}) .$$

отже

$$I_{бе VT3} = \frac{I_{K VT3}}{\beta} = \frac{21}{40} = 0,525 (\text{мА}) .$$

За раніше наведеним висловом струм $I_{под}$:

$$I_{под} > (2 \div 4) \cdot I_{б VT3} > 1,05 \div 2,1 \text{ (мА)}.$$

Прийmemo $I_{под} = 2 \text{ мА}$ при $U_{нас.бе} = 1,8 \text{ В}$. У цьому випадку опір R15 рівний:

$$R15 = \frac{U'_{нас.бе}}{2} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ (кОм)} .$$

Найближчий стандартний номінал $R15 = 910 \text{ Ом}$.

Якщо VT1 відкритий, то $U_{max ак} = 14,4 \text{ В}$.

Тоді

$$U_{R14+VD4} = U_{max ак} - U'_{нас.бе} = 14,4 - 1,8 = 12,6 \text{ В}.$$

$$R12 = \frac{U_{R14} - U_{VD4}}{I_{под}} = \frac{12,6 - 0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 5950 \text{ (Ом)} = 5,95 \text{ (кОм)} ,$$

де $U_{VD4} \approx 0,7 \text{ В}$.

Найближчий стандартний номінал 5,9 кОм, тобто, $R12 = 5,9 \text{ кОм}$.

Коли VT2 відкритий то $U_{min ак} = 10,2 \text{ В}$.

Визначимо опір R14. Напруга на R14 і діод VD5 визначається з виразу:

$$U_{R14+VD5} = U_{min ак} - U'_{нас.бе} = 10,2 - 1,8 = 8,4 \text{ (В)},$$

$$R14 = \frac{U_{R14} - U_{VD5}}{I_{под}} = \frac{8,4 - 0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 3850 \text{ (Ом)} = 3,85 \text{ (кОм)} .$$

Найближчий стандартний номінал 3,9 кОм, значить, $R14 = 3,9 \text{ кОм}$.

U_{VD5} і U_{VD4} - пряме падіння напруги на кремнієвих діодах, рівне 0,7 В.

Діоди VD4 і VD5 можна вибрати малопотужні кремнієві діоди типу КД522А.

Конденсатор фільтра вибираємо довільно, типу К50-29 - електролітичний конденсатор ємністю 470 мкФ · 16 В. При виборі конденсатора необхідно, щоб напруга на конденсаторі була більше напруги, на яку він буде підключатися.