

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

з спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(назва освітнього ступеня)

на тему: Автоматизована система електроживлення мобільної установки  
переробки пластикових відходів

Виконав(ла): студент 2 курсу, групи КАд-2

спеціальності 151 - Автоматизація та комп'ютерно-

інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ Мартинюк В.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Савків В.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ Козбур І.Р.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Савків В.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2021 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Мартинюку Валерію Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизована система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів

Керівник роботи Савків Володимир Богданович, кандидат технічних наук, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «1» жовтня 2021 року № 4/7-824

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

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

Вступ.

1. Аналітична частина.

2. Технологічна частина.

3. Конструкторська частина.

4. Науково-дослідна частина.

5. Спеціальна частина.

6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Висновки.

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С., старший викладач кафедри ОХ		
Охорона праці	Левицький В.В., кандидат технічних наук, доцент кафедри КТ		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітична частина	15.10.2021 р.	Виконав
2	Технологічна частина	01.11.2021 р.	Виконав
3	Конструкторська частина	15.11.2021 р.	Виконав
4	Науково-дослідна частина	01.12.2021 р.	Виконав
5	Спеціальна частина	15.12.2021 р.	Виконав
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20.12.2021 р.	Виконав

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Мартинюк В. В.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Савків В. Б.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Мартинюк Валерій Володимирович, ст. гр. КАд-2. (151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології).

Науковий керівник: Савків Володимир Богданович

Тема роботи: Автоматизована система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів

кілк. стор. 68.

Анотація:

У кваліфікаційній роботі розроблена та досліджена автоматизована система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів, що складається з фотоелектричних модулів, дизельгенератора, акумуляторних батарей, суперконденсаторних батарей, перетворювача постійного струму у постійний струм та інвертора.

Ключові слова: автоматизована система електроживлення, мобільна установка переробки пластикових відходів, фотоелектричний модуль, акумуляторна батарея.

# ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	
<b>1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b> .....	
1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами.....	
1.2 Актуальність виконання роботи.....	
1.3 Методи вирішення поставленої задачі.....	
1.4 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу магістра.....	
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	
2.1 Характеристика виробу та його призначення.....	
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення виробу.....	
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b> .....	
3.1 Аналіз вихідних даних на проектування базового варіанту автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів..	
3.2 Підбір серійного обладнання, уточнення компоновки автоматизованої система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів на основі паспортних даних серійного обладнання.....	
3.3 Обґрунтування необхідності проектування, вимог і технічних показників нестандартного обладнання, що входить в автоматизовану систему електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів.....	
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b>	
4.1 Характеристика об'єкту та предмету дослідження.....	
4.2 Імітаційна модель автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів.....	
<b>5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b>	
5.1 Алгоритм керуючої програми відслідковування точки максимальної потужності.....	
5.2 Симуляція керуючої програми відслідковування точки максимальної потужності фотоелектричного модуля.....	
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> .....	
6.1 Вимоги до охорони праці при виготовленні автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів.....	

6.2 Екологічні вимоги при виготовленні та експлуатації автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів.....	
6.3 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції на робочому місці монтажника автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів.....	
6.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях на малому підприємстві по виробництву автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів.....	
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	
<b>ДОДАТКИ.....</b>	

## ВСТУП

Сьогодні інтенсивно досліджують, як теоретично так і експериментально, автономні системи енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії для використання у різних географічних частинах світу [1-4]. Однак для віддалених регіонів, де проведення центральної електромережі є економічно недоцільним, оптимальним варіантом є використання автоматизованих систем електроживлення, які містять кілька джерел генерації електроенергії: поновлюваних, як правило фотоелектричних модулів, та традиційних - зазвичай дизельгенератора [2, 3].

Серед основних причин, що спонукають вчених всього світу до таких досліджень є зменшення викидів парникових газів завдяки вдосконаленню методів виробництва електроенергії [1, 5]; забезпечення можливості електроживлення віддалених регіонів з урахуванням економічних (пов'язаних із вартістю дизельного палива) аспектів, надійності та забруднення навколишнього середовища [4-6]; забезпечення електроенергією сільських районів слаборозвинених країн [7]; надійне джерело енергії групи швидкого реагування у віддалених місцях стихійного лиха для живлення вакцинного холодильника, системи очищення води та базової системи супутникового зв'язку [8], що має великий потенціал для порятунку людських життів.

У публікаціях проводиться аналіз роботи продуктивності автономних систем енергозабезпечення з урахуванням середньої погодинної інсоляції сонячного світла, температури навколишнього середовища та профілю потужності навантаження [3].

Розробляються математичні моделі, що можуть бути використані для оцінки розміру, контролю та оцінки працездатності автономних систем енергозабезпечення, що містять фотоелектричні модулі, дизельгенератор та акумуляторні батареї [3, 5].

В роботі [6] вивчають поведінку акумуляторних батарей під впливом змінного освітлення фотоелектричних модулів, а дизельгенератор використовується як резервне джерело енергії, коли потужності фотоелектричних модулів недостатньо. В літературі, в основному, проводяться дослідження автономних систем енергозабезпечення невеликої потужності (до декількох кВт), які мають як постійну так і змінну вихідну напругу живлення [7, 8].

У публікаціях щодо автономних систем енергозабезпечення практично відсутні дослідження процесів та методів збільшення ефективності відбору енергії від фотоелектричних модулів, компенсації струмів пікових (стартових) навантажень, балансування, контроль робочої температури та багатостадійний заряд акумуляторних батарей для довговічності їх експлуатації. Всі ці наукові проблеми вимагають поглиблених досліджень.



# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами

Щорічно у світі утворюється понад  $350 \cdot 10^6$  тонн пластикових відходів [9], які викликають серйозні екологічні проблеми, в основному через їх життєвий цикл і складність ліквідації. Більшість пластикових відходів потрапляє в одне з двох місць: на звалище або в океан. Значна кількість пластику розпадається на мікропластик, який поглинають риби та інші морські мешканці, що в кінцевому підсумку руйнує всю екосистему. За даними Національного управління океанічних і атмосферних досліджень, приблизно  $8 \cdot 10^6$  метричних тонн пластику потрапило в океан у 2010 році [10].

Прибрати вже розкидане людством сміття не так і просто: інноваційна система Ocean Cleanup, яка повинна була виловити тихоокеанську сміттєву пляму, площею в 2,5 території України, зламалася за півроку роботи.

За оцінками Агентства з охорони навколишнього середовища, у 2017 році на полігони надійшло  $26,8 \cdot 10^6$  тонн пластику, що становить 19,2% усіх твердих побутових відходів [11]. Переробка стала привабливим способом очищення пластику в навколишньому середовищі. Поширені варіанти переробки пластику та обробки після закінчення терміну служби включають спалювання з відновленням енергії, піроліз, механічну переробку, сольволиз та розчинення/осадження [12, 13].

На відміну від переробки паперу, де збереження морфології волокна (наприклад, довжини та діаметра) є дуже важливим [14, 15], пластикові відходи часто перетворюються на інші продукти або перетворюються на тепло. Наприклад, значна кількість пластику спалюється в рамках муніципальних програм утилізації; за оцінками, у 2017 році було спалено  $5,6 \cdot 10^6$  тонн пластику. Спалювання як засіб утилізації є екологічно нежиттєздатним, оскільки виділяє в атмосферу токсичні сполуки, включаючи діоксини, фурани, ртуть та поліхлоровані біфеніли [16].

У спробі відновити цінну енергію, яку містять пластикові відходи, останнім часом вивчаються традиційні піролітичні або термолітичні методи. Піроліз - це

термохімічне розкладання речовини на основі вуглецю за відсутності кисню; головною метою піролізу є перетворення органічних відходів у стійке паливо або інші цінні хімічні речовини [17].

Піроліз вважається альтернативним методом переробки, який набув популярності завдяки своєму потенціалу відновити більшість енергії з пластикових відходів у вигляді рідких масел, газів і вуглецю. Завдяки такій гнучкості багато дослідників обирають його як область розвитку [18]. Спільний піроліз біомаси та відходів пластмас також викликав інтерес як економічний та ефективний метод біопалива [19, 20].

Фізико-хімічні характеристики продукту, отриманого в результаті піролізу пластмас, залежать від типу використовуваного пластику, умов роботи піролізного реактора та типу використовуваного каталізатора [21]. Типовими видами пластмас, які використовуються в піролізі, є поліетилен високої щільності, поліетилен низької щільності, поліпропілен і полістирол.

Важливо відзначити, що галогеновані пластмаси, такі як політетрафторетилен або полівінілхлорид, не можна використовувати для цього процесу. Проблема з галогенованими пластмасами полягає в тому, що вони можуть реагувати з іншими компонентами паливної суміші, утворюючи отруйні сполуки. За традиційного термічного піролізу (тобто без каталізатора) процес піролізу може давати віск і вуглець, залежно від природи пластикової сировини. Більш раннє дослідження піролізу імітованої пластикової суміші, знайденої в твердих побутових відходах, зафіксувало вихід воску 17,28% і вихід вуглецю 2,82% при випробуванні при 500 °C [22].

При більш високих температурах кількість воску зменшується, а нафтопродукт стає більш ароматним. Коли температура перевищує 700 °C, виходить продукт з властивостями, майже ідентичними до бензину [22]. Однак підтримувати таку високу температуру дорого і енергоємно. Використання каталізаторів не тільки знижує температуру реакції, але й підвищує ефективність деполімеризації та підвищує селективність. Каталітичний піроліз виявився більш економічно вигідним процесом [21, 23].

Хмельницький національний університет активно співпрацює з компанією «Оболонь Оіл» в рамках спільної угоди про наукову співпрацю. Основним напрямком наукової співпраці є розробка автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів у дизельне паливо компанії «Оболонь Оіл» [24].

Компанія «Оболонь Оіл» вже 10 років розвиває технологію отримання полідизеля під назвою «полієвродизель» за власною запатентованою технологією [25-27]. Цей продукт є «зеленим» заміником традиційного дизеля, адже для його виробництва не потрібно добувати і переробляти нафту. Натомість, мобільна установка «Оболонь Оіл» використовує для виробництва палива важкі для переробки і повторного використання полімерні відходи: поліетиленове пакування і мішки, каністри, пластикові ящики і пляшки.

Рішення від «Оболонь Оіл» скорочує викиди парникових газів та можливих токсичних продуктів горіння пластику: відходи перетворюються на полієвродизель і синтез-газ. На виході установки - 60% фракції полієвродизеля та біля 40% синтез-газу. Попутний газ замінятиме традиційний для двигунів внутрішнього згорання. А виробництво палива зі сміття не тільки прибирає пластикові відходи, але й скорочує енергетичний та вуглецевий слід всього ланцюжка виробництва нафтопродуктів. Окрім того, полієвродизель є менш димним.

Компанія має власний полігон для сміття, звідки й отримує матеріал для переробки, а також співпрацює з підприємствами. Зокрема, ПрАТ «Оболонь» обмінює пластикові відходи від своєї діяльності на екологічне паливо для своєї агротехніки. Мобільна установка переробки пластикових відходів у дизельне паливо компанії «Оболонь Оіл», яка зображена на рисунку 1, є не тільки мобільною, але й автономною.



Рисунок 1 – Мобільна установка переробки пластикових відходів у дизельне паливо компанії «Оболонь Оіл»

Основним недоліком мобільної установки переробки пластикових пляшок у дизельне паливо є необхідність використання електричної енергії для живлення електричних двигунів дробарки пластикових пляшок та хімічного реактора переробки пластикових пляшок у дизельне паливо. Для більшої ефективності використання мобільної установки переробки пластикових пляшок у дизельне паливо використовується системи автономного електроживлення постійного та змінного струму на основі відновлювальних джерел енергії у різних режимах її функціонування.

Сьогодні інтенсивно досліджують, як теоретично так і експериментально, автономні системи енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії для використання у різних географічних частинах світу [28-31]. Однак для віддалених регіонів, де проведення центральної електромережі є економічно недоцільним, оптимальним варіантом є використання системи автономного електроживлення, яка містить кілька джерел генерації електроенергії: поновлюваних, як правило фотомодулів, та традиційних - зазвичай дизельгенератора [29, 30].

## 1.2 Актуальність виконання роботи

Дуже важливим завданням є запобігання потраплянню пластикових відходів у природні екосистеми, а також їх переробка для повторного використання. Виробництво палива із пластикових відходів допоможе не тільки очистити планету від пластикових відходів, але й заощадить енергетичні ресурси планети та зменшить негативний вплив на навколишнє середовище від процесу видобутку та переробки нафти.

Розробка технологій переробки пластикових відходів у дизельне паливо почалася після значного забруднення навколишнього середовища пластиковими відходами. Процес перетворення пластику з високомолекулярного стану (пластикові відходи) у низькомолекулярний стан (дизельне паливо) є ендотермічною реакцією, яка потребує додаткової енергії. У процесі переробки пластикових відходів у дизельне паливо додаткова енергія використовується для нагрівання матеріалу до температури близько 400 °С.

Мобільна установка переробки пластикових пляшок у дизельне паливо компанії «Оболонь Оіл» вимагає автономного живлення з використанням фотоелектричних технологій та системи зберігання для безпосереднього використання на місцях захоронення відходів та сортувальних станціях. Це позбавляє процес переробки необхідності транспортувати відходи до пунктів переробки та зменшує витрати на переробку та забруднення повітря, спричинене транспортування.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення задачі зменшення витрат електричної енергії в процесі переробки пластикових пляшок у дизельне паливо шляхом розробки та дослідження автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів з використанням фотоелектричних модулів, акумуляторних батарей та суперконденсаторних батарей та дизельгенератора.

### **1.3 Методи вирішення поставленої задачі**

Для вирішення поставленої задачі зменшення витрат електричної енергії в процесі переробки пластикових відходів у дизельне паливо використовується метод динамічного відстеження положення сонця з одночасним оптимізованим контролем фотомодулів для роботи в умовах туману, хмарності, сильних дощових опадів та сильного вітру. Це збільшить продуктивність фотомодулів до 30% та зменшить площу землі, яку займають фотомодулі.

При вирішенні поставленої задачі в роботі використовуються методи фізики, електроніки та теорії електричних кіл, методи теорії автоматизованого керування, а також методи алгоритмізації та програмування.

### **1.4 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу магістра**

Перетворюючи переробку пластикових відходів у дизельне паливо, ми вирішуємо дві проблеми:

- а) очищення навколишнього середовища від пластикових відходів;
- б) зменшуємо дефіцит палива, не використовуючи нафтовидобування.

Ця подвійна перевага переробки пластикових відходів у дизельне паливо, безсумнівно, є міцною платформою, щоб будувати чисте та зелене майбутнє.

Головною проблемою в процесі переробки пластикових відходів у дизельне паливо є необхідність використання електричної енергії. Для переробки пластикових відходів у дизельне паливо можна використовувати електричну енергію від мережі змінного струму 220 В. У цьому випадку необхідно транспортувати пластикові відходи від полігону зберігання пластикових відходів до місця їх переробки, де вже є можливість під'єднання до мережі змінного струму 220 В. Це збільшує фінансові витрати на процес переробки пластикових відходів у дизельне паливо.

Використання мобільної установки переробки пластикових відходів у дизельне паливо дозволяє здійснювати процес переробки безпосередньо біля полігону зберігання пластикових відходів. У цьому випадку для електроживлення

мобільної установки переробки пластикових відходів у дизельне паливо доцільно використовувати автоматизовану систему електроживлення з використанням фотоелектричних модулів, акумуляторних батарей, суперконденсаторних батарей та дизельгенератора.

Виходячи із зроблених висновків у кваліфікаційній роботі магістра необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити структурну схему автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів з використанням фотоелектричних модулів, акумуляторних батарей та суперконденсаторних батарей та дизельгенератора;

- виконати підбір серійного обладнання, здійснити уточнення компоновки автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів на основі паспортних даних серійного обладнання;

- виконати обґрунтування та вибір типу схеми керування автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів;

- виконати теоретичні та експериментальні дослідження автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів;

- розробити заходи безпека в надзвичайних ситуаціях в процесі експлуатації автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів;

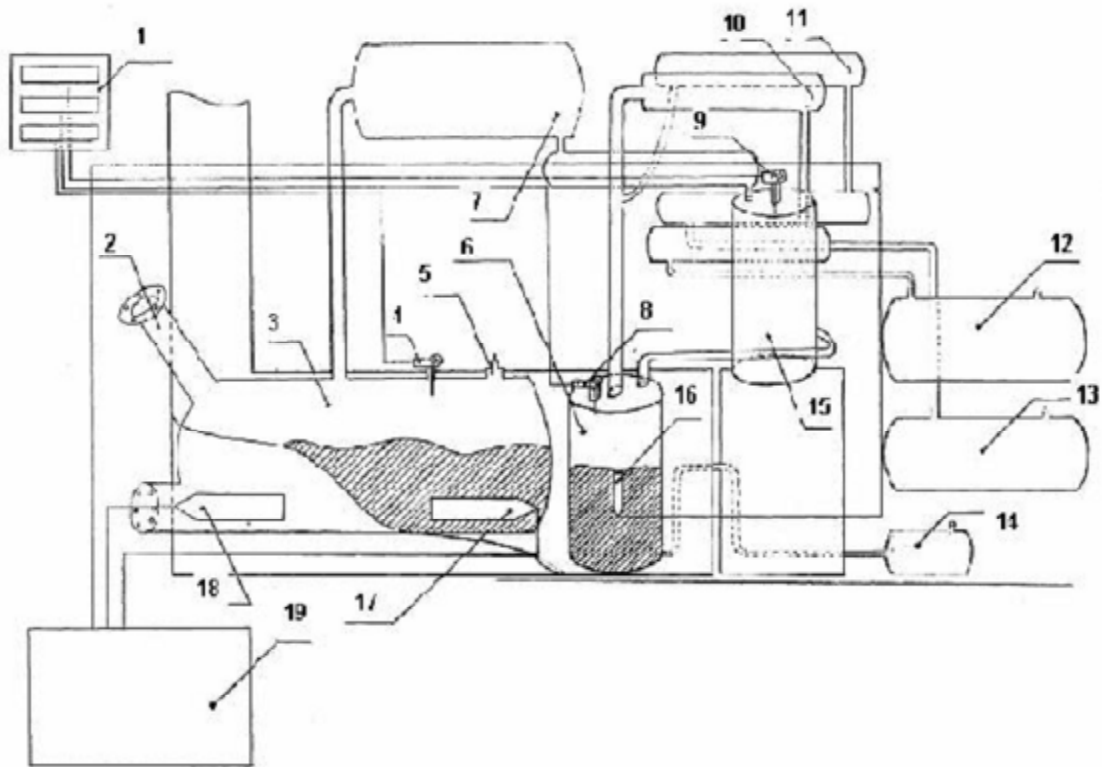
- розробити заходи з охорони праці в процесі експлуатації автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика виробу та його призначення

Мобільна установка переробки пластикових відходів компанії «Оболонь Оіл» призначена для отримання дизельного палива з вторинних полімерних відходів методом нагріву в реакторі термоконверсії і подальшої ректифікації отриманої сировини в колонних апаратах.

Принцип роботи мобільної установки переробки пластикових відходів у дизельне паливо компанії «Оболонь Оіл» пояснюється структурною схемою установки, яка зображена на рисунку 2 [25].



- 1 – термометр; 2 – люк подачі сировини; 3 – ємність нагріву сировини;  
4 – термопара; 5 – запобіжний стравний клапан, 6 – ємність нагріву;  
7 – теплообмінник; 8 – термопара; 9 – термопара; 10 – конденсатор бензинової фракції; 11 – конденсатор дизельної фракції; 12 – ємність бензинової фракції;  
13 – ємність дизельної фракції; 14 - ємність для збереження солідолу;  
15 – водяний охолоджувач; 16, 17, 18 – нагрівачі; 19 - дизельгенератор

Рисунок 2 – Структурна схема мобільної установки переробки пластикових відходів у дизельне паливо компанії «Оболонь Оіл» [25]



Процес переробки пластикових відходів у дизельне паливо здійснюється шляхом подрібнення початкової сировини з подальшим низько-температурним піролізом [25]. Низько-температурний піроліз виконується шляхом індукційного підігріву при температурі 130 - 430 °С та тиску 0,01 - 0,07 МПа, причому отримана рідка речовина поступає на ректифікацію в конденсатори-холодильники з можливістю отримання двох фракцій: бензинової та дизельного палива, а також решти - солідолу.

Первинну сировину (пластикових відходів) подрібнюють (на рисунку 2 процес подрібнення не показано), причому подрібнення здійснюють без попереднього очищення і миття полімерного матеріалу. Далі подрібнений матеріал через люк подачі сировини 2 подають в ємність нагріву сировини 3, де під впливом індукційного підігріву індукційними нагрівачами 17 та 18 при температурі 130°С - 430°С і тиску 0,01 - 0,07 МПа відбувається процес низькотемпературного піролізу.

Під впливом підігріву відбувається деструкція (розклад) полімерного матеріалу, тобто його перехід з твердого стану в рідкий стан. Процес низькотемпературного піролізу відбувається без використання додаткових речовин-катализаторів, у тому числі і газів. Отриманий в результаті піролізу рідкий продукт направляють для подальшого підігріву у ємність 6 з нагрівачем 16.

Підготовлений для ректифікації рідкий продукт надходить до холодильника 10, де конденсується бензинова фракція та до холодильника 11, де конденсується дизельна фракція. Решта продукту у вигляді солідолу подається в ємність 14 для його збереження.

Аналізуючи структурну схему мобільної установки переробки пластикових відходів у дизельне паливо компанії «Оболонь Оіл» [25], яка зображена на рисунку 2 можна зробити висновок, що електроживлення установки здійснюється за допомогою дизельгенератора 19.

Це значно зменшує економічну ефективність мобільної установки переробки пластикових відходів у дизельне паливо компанії «Оболонь Оіл», тому що частина виробленого дизельного палива використовується на роботу дизельгенератора 19.

Для підвищення економічної ефективності мобільної установки переробки пластикових відходів у дизельне паливо компанії «Оболонь Оіл» автор пропонує

використовувати високоефективну систему електроживлення на основі фотоелектричних модулів, акумуляторів, суперконденсаторів та дизельгенератора.

Однак, вироблення електричної енергії фотоелектричними модулями носить переривчастий характер, тому важливо забезпечити надійність та максимальну ефективність системи енергоменеджменту, щоб уникнути відключення живлення, коли енергія з фотоелектричних модулів є не достатньою для підтримки всіх навантажень.

Зменшення негативного впливу цього недоліку можливе шляхом врахування нерівномірності параметрів фотоелектричних модулів, врахування можливості затінення окремих модулів сторонніми предметами, їх забруднення чи пошкодження.

Важливим фактором ефективної роботи фотоелектричних модулів є врахування їх нерівномірної деградації з плином часу, а також інші фактори, які зумовлюють зміну точки максимальної потужності окремих фотоелектричних модулів. Наслідком цього є зменшення генерації електричної енергії фотоелектричними модулями та необхідності ефективно враховувати ці параметри.

Підвищення ефективності генерації електричної енергії фотоелектричними модулями здійснюється за допомогою алгоритму відстеження точки максимальної потужності для оптимізації роботи фотоелектричних модулів в швидко мінливих погодних умовах, а також позиціонування робочої поверхні фотоелектричних модулів під кутом  $90^\circ$  до падаючого сонячного випромінювання.

Надлишок електричної енергії, яка виробляється фотоелектричними модулями під час максимального рівня сонячної інсоляції, потрібно зберігати у акумуляторних батареях. Компенсація пікових струмів та пульсації потужності навантаження (пускові струми двигунів та іншого обладнання, короткотривале включення навантаження, потужність якого перевищує номінальну та ін.) здійснюється шляхом використання суперконденсаторних батарей.

Зміна внутрішнього опору стеку кожної акумуляторної батареї та суперконденсаторної батареї в процесі їх роботи в буферному чи циклічному режимі призводить до нерівномірного розподілу напруги, і як наслідок до більш швидкого їх «старіння».

Зміна внутрішнього опору може бути спричинена перепадами температур, вібраціями, ударами, їх регулярним недозарядом чи пере розрядом, а працездатність і довговічність роботи акумуляторної батареї та суперконденсаторної батареї залежить не тільки від кількості циклів глибокого розряду, а й від робочої температури (при перевищенні 45 °С ресурс їх роботи може скоротитися втричі).

## **2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення виробу**

При виборі технології виготовлення автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів важливу роль грає правильний вибір матеріалів та комплектуючих. Як матеріали для автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів використовують вироби чорної і кольорової металургії, пластмаси, композити, волокна і т.д.

При виборі матеріалів елементів автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів потрібно враховувати багато різних, часто суперечливих чинників: механічні і масогабаритні вимоги до виробу, умови його експлуатації, технологію виготовлення, обсяг виробництва (одиничний, серійний, масовий), вимоги надійності і довговічності, стандартизації і уніфікацій, ряду спеціальних вимог (наприклад пожежної безпеки або естетики).

Так, навіть грубий вибір типу матеріалу одного асортименту без урахування технології не завжди очевидний: чим міцніше матеріал, тим він дорожчий, але разом з тим його потрібно менше. Заміна стійких до корозії, але дорогих кольорових металів більш дешевими іншими вимагає додаткових технологічних операцій по хімічній обробці або нанесенню захисних покриттів.

При виборі матеріалів потрібно враховувати наступні рекомендації:

- спільний облік багатьох вимог приводить до неоднозначності відповіді, оскільки серед багатьох десятків сортів конструкційних матеріалів і технологій їх обробки можна виділити декілька, приблизно однаково відповідаючих комплексу технічних вимог в заданих умовах експлуатації;

- при масовому виробництві вироби виготовляють на спеціальному обладнанні, пристосованому до випуску конкретного виробу (прес-форма, пуансон і матриця).

Дороговартісне обладнання окупається за рахунок безвідхідної технології, виключення подальших чистових технологічних операцій, високої продуктивності і можливості автоматизації процесу.

Для мобільної установки переробки пластикових відходів підвищується роль експлуатаційних витрат, що залежать від масогабаритних характеристик, для яких правильний вибір матеріалу особливо важливий.

Так, для виробів, працюючих в умовах підвищеної вогкості, не застосовують металів з великою різницею електрохімічних потенціалів, а при виборі технології виготовлення виробів, а отже, і матеріалу потрібно неодмінно враховувати питання екології, ресурсо- і енергозбереження.

Традиційна технологія процесу виготовлення деталей автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів в загальному випадку включає дві стадії: перша, чорнова - отримання заготовки з розмірами (об'ємом), декілька великим номінальних розмірів виробу, і друга, чистова - доведення розмірів до необхідних шляхом зняття зайвого матеріалу, обробки поверхні виробу, свердлування отворів і т.д. Звичайно доведення розмірів і чистову обробку виконують на металоріжучий станках.

Прогресивними є такі технології, при яких виключається багатостадійність, меншає час виготовлення, процент відходів, кількість операцій, праце- і енерговитрати, підвищується екологічність. Приклад - методи порошкової металургії, точне лиття, заміна, де можна, металу пластмасою.

Основним чинником, стримуючим впровадження прогресивних технологій, є чинник вартості. Тому на сьогодні в залежності від властивостей матеріалу, форми деталі, її серійність і вартостей, заготовку виробу отримують або литтям, або вибором з сортаменту.

Сучасна технологія виробництва автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів у загальному вигляді складається з наступних етапів виробничого процесу.

1. Вхідний контроль - перевірка поступаючих на виробництво матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих виробів. Необхідність вхідного контролю зумовлена ненадійністю вихідного контролю, а також пошкодженнями під час транспортування. При цьому вхідний контроль по витратах нижче, ніж ремонт і налаштування.

2. Підготовка матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих виробів до безпосередніх стадій виробничого процесу - різання, згинання, очищення і т.д. Це процес придання матеріалам, напівфабрикатам і комплектуючим параметрів, необхідних при безпосередньому виробництві.

3. Виготовлення автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів - обробка, складання і монтаж - основний етап виробничого процесу виготовлення автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів. При цьому використовуються конкретні технологічні процеси, задається якість виготовлюваної продукції.

4. Налагодження і регулювання автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів - досягнення пристроєм необхідних технічних характеристик. Цей етап зумовлений похибкою вхідних параметрів і вхідних матеріалів, напівфабрикатів, а також присутність технологічних допусків при виготовленні пристрою.

5. Вихідний контроль автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів - перевірка отриманих при виготовленні, настройці і регулюванні технічних характеристик і параметрів.

Цей етап необхідний для зменшення кількості браку, визначення елементів, які мають знижену надійність внаслідок різноманітних дефектів.

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Аналіз вихідних даних на проектування базового варіанту автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів

Автоматизована система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів виконує такі функції:

- забезпечує електроживлення усіх блоків мобільної установки переробки пластикових відходів;
- здійснює контроль стану технологічного обладнання;
- здійснює контроль технологічних параметрів;
- виконує регулювання параметрів, що забезпечує задану якість вихідних продуктів і безпеку ведення процесу;
- здійснює захисні блокування;
- здійснює попереджувальну світлову та звукову сигналізацію про зміну стану обладнання та про вихід поточних технологічних параметрів за допустимі межі;
- здійснює аварійну світлову та звукову сигналізацію про спрацьовування захисних блокувань і інших аварійних ситуаціях.

Автоматизована система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів здійснює такі функції:

- автоматичний збір, підготовка і відображення необхідної інформації;
- управління режимами роботи блоку за завданнями, встановленими оператором;
- ідентифікацію режимів роботи технологічного обладнання та допоміжних систем;
- дистанційне керування основним і допоміжним устаткуванням і режимами роботи установки отримання палив з вторинних полімерних відходів з автоматичною реєстрацією команд на управління, із зазначенням дати і часу, а також із захистом від помилкових і несанкціонованих команд;
- виявлення та локалізацію позаштатних ситуацій на підставі аналізу ходу технологічних процесів;
- контролювання справності обладнання та допоміжних систем;

- автоматичний контроль параметрів і стану устаткування з відображенням технологічної інформації;
- автоматичне ведення протоколу технологічного процесу і реєстрація відхилень параметрів технологічного процесу від норми (попереджувальні та аварійні сигнали), входження їх в норму;
- контроль виконання всіх команд з автоматичною реєстрацією команд управління із зазначенням дати і часу.

### **3.2 Підбір серійного обладнання, уточнення компоновки автоматизованої система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів на основі паспортних даних серійного обладнання**

Автоматизована система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів складається з наступних блоків, які зображені на рисунку 3.

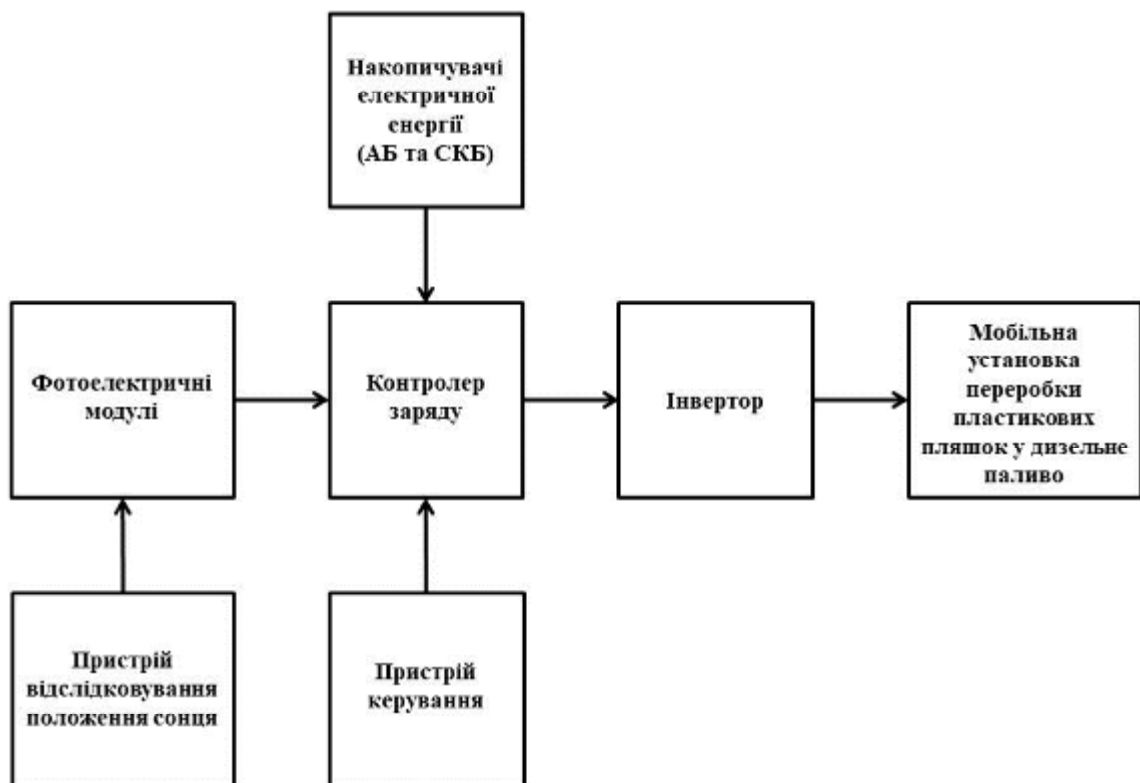


Рисунок 3 – Структурна схема автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів

Основними елементами, які забезпечують перетворення сонячної енергії в електричну, є фотоелектричні модулі. Для підбору серійних фотоелектричних модулів для автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів розглянемо тривалість світлового дня і ночі по місяцях у місті Хмельницькому за 2021 рік, який зображено на рисунку 4 у відповідності до даних сайту <https://ua.365.wiki/world/ukraine/khmelnyskyi/sun/>.

День або ніч	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Середнє
Найдовша ніч	15:43	14:33	12:57	11:03	09:18	07:59	08:49	10:30	12:19	14:08	15:29	15:50	12:23
Найкоротша ніч	14:36	13:01	11:07	09:22	08:01	07:43	07:48	08:52	10:34	12:22	14:11	15:31	11:06
Середня тривалість ночі	15:15	13:48	12:02	10:11	08:36	07:47	08:14	09:40	11:26	13:16	14:54	15:45	11:44
Найдовший день	09:23	10:58	12:52	14:37	15:58	16:16	16:11	15:07	13:25	11:37	09:48	08:28	12:53
Найкоротший день	08:16	09:26	11:02	12:56	14:41	16:00	15:10	13:29	11:40	09:51	08:30	08:09	11:36
Середня тривалість дня	08:44	10:11	11:57	13:48	15:23	16:12	15:45	14:19	12:33	10:43	09:05	08:14	12:15

Рисунок 4 – Тривалість світлового дня і ночі по місяцях у місті Хмельницькому за 2021 рік

Кількість сумарної енергії сонячного випромінювання залежить від географічного положення. У відповідності до даних сайту <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/ukraine>, розглянемо мапу сонячної радіації території України, яка зображена на рисунку 5.

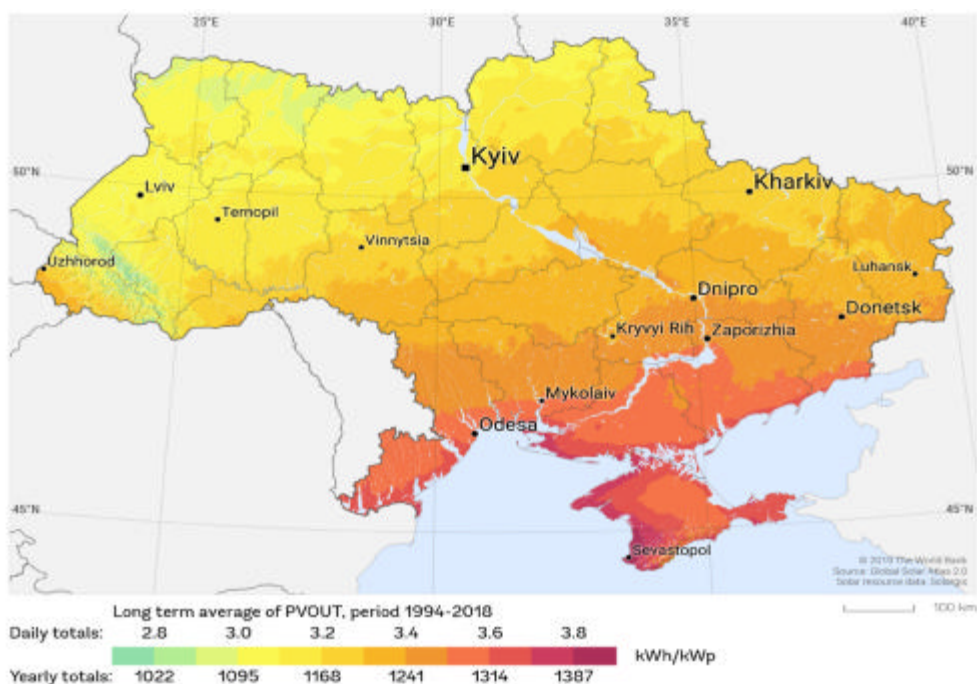


Рисунок 5 – Мапа сонячної радіації території України



Виходячи із співвідношення ціна/якість оберемо фотоелектричні модулі для автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів китайської компанії ABISOLAR моделі CL-P72295, який зображено на рисунку 6.



Рисунок 6 – Фотоелектричний модуль моделі CL-P72295

Основні параметри фотоелектричного модуля CL-P72295 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Основні параметри фотоелектричного модуля CL-P72295

Параметр	Значення
Модель	CL-P72295
тип	полікристалічний
вихідна потужність (Вт)	295
номінальна напруга (В)	36,5
номінальна сила струму (А)	8,08
максимальна напруга (В)	43,3
максимальна сила струму (А)	8,64
розміри (мм)	1956x990x50
вага (кг)	24
робоча температура (°С)	- 45 °С + 85 °С
термін експлуатації (80 % потужності після 20 років експлуатації)	20

У якості навантаження автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових виберемо три тені реактора установки потужністю 1,2 кВт кожен (загальне навантаження тенів реактора становить 3,6 кВт.)

Кількість енергії, яку може виробити фотоелектричний модуль CL-P72295 залежить від погоди. Для того, щоб визначити кількість енергії, яку може виробити фотоелектричний модуль CL-P72295, необхідно визначити, скільки енергії сонце сонце на цій ділянці поверхні м. Хмельницького.

В процесі розрахунку враховуємо два фактори: середньорічну сонячну радіацію та її середньомісячне значення у найгірших умовах. У першому варіанті кількість енергії, яку може виробити фотоелектричний модуль CL-P72295, розраховуємо за допомогою середньорічного коефіцієнта, при цьому в деякі місяці енергії буде надлишок, а в деякі місяці енергії не буде вистачати.

У другому варіанті, енергії має завжди вистачати, за умови відсутності занадто довгих періодів з несприятливою погодою. Таким чином, ми обчислимо номінальну потужність фотоелектричного модуля.

Один фотоелектричний модуль CL-P72295 з потужністю  $P_w=295$  Вт у період обраного часу може генерувати сумарну потужність на добу:

$$W = \frac{k \cdot E \cdot P_w}{1000}, \quad (1)$$

де  $E$  – значення інсоляції за обраний період для м. Хмельницького з рисунку 2 становить 2,11 кВт•год/доб;

$k$  – коефіцієнт, що дорівнює 0,5 в літній період та 0,7 зимовий періоди.

Цей коефіцієнт бере до уваги нагрів сонячних панелей на сонці, а також кут падіння протягом дня. А різниця в його значенні влітку і взимку обумовлена різним нагріванням панелей в цей період.

Значення інсоляції  $E= 2,11$  кВт•год/доб для м. Хмельницького у квітні. Квітень вибраний за основу розрахунків, так як це саме в цьому місяці найменше значення інсоляції у м. Хмельницькому за сонячні місяці.

Підставивши значення у вираз (1) отримаємо:

$$W = \frac{0,7 \cdot 2110 \cdot 295}{1000} = 435,7 \text{ Вт} \cdot \text{доб}.$$

Таку кількість енергії буде виробляє на добу у квітні один фотоелектричний модуль CL-P72295 з потужністю  $P_w=295$  Вт. Визначимо необхідну кількість фотоелектричний модуль CL-P72295:

$$N = \frac{3600}{435,7} = 8,26 \approx 9 \text{ шт.} \quad (2)$$

Для підбору серійного інвертора та контролера заряду для автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів врахуємо збільшення сумарної потужності навантаження інвертора на 30%. Завдяки цьому, інвертор дозволить вмикати електроприлади, які споживають пускову потужність у 2-3 рази більшу від паспортної.

Для автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів загальне навантаження тенів реактора становить 3,6 кВт, якщо збільшити потужність на 30%, ми отримаємо мінімальну потужність інвертора  $P_{інв}=4680$  Вт. Виходячи із цього виберемо інвертор Challenger Spirit 5 кВт, який поєднує у собі функції контролера заряду акумуляторних батарей і зображений на рисунку 7.



Рисунок 7 – Інвертор Challenger Spirit 5 кВт

Основні параметри інвертора Challenger Spirit 5 кВт наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Основні параметри інвертора Challenger Spirit 5 кВт

Параметр	Значення
Модель	Challenger Spirit 5 кВт
тип	автономний
вихідна потужність (Вт)	5000
кількість фаз	1
кількість акумуляторних батарей	4
напруга живлення від акумуляторних батарей (В)	48
розміри (мм)	580x400x200
вага (кг)	12

Для підбору серійних акумуляторних батарей для автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів врахуємо, що обраний інвертор Challenger Spirit 5 кВт може заряджувати лише 4 акумуляторні батареї загальною напругою живлення  $U_{AB}=48$  В.

Виходячи із співвідношення ціна/якість оберемо 4 акумуляторні батареї для автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових типу Ventura GPL 12-100, які зображено на рисунку 8.



Рисунок 8 – Акумуляторна батарея Ventura GPL 12-100

Основні параметри акумуляторної батареї Ventura GPL 12-100 наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Основні параметри інвертора акумуляторної батареї Ventura GPL 12-10

Параметр	Значення
Модель	Ventura GPL 12-10
тип	Absorbed Glass Mat - AGM
ємність, А <sup>г</sup> од	100
напруга (В)	12
розміри (мм)	330x224x172
вага (кг)	32

### 3.3 Обґрунтування необхідності проектування, вимог і технічних показників нестандартного обладнання, що входить в автоматизовану систему електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів

Сучасні сонячні електростанції використовують технології стрінгових інверторів через значні переваги порівняно з центральною інверторною системою. Однак навіть технології стрінгових інверторів мають ряд особливостей, зокрема: послідовне підключення фотоелектричних модулів в групу змушує їх працювати за однакового струму, який обмежений модулем, що генерує найнижчий струм.

Пряме послідовне підключення фотоелектричних модулів призводить до нездатності відібрати від них всю доступну електроенергію тому, що деякі з фотоелектричних модулів будуть працювати в умовах, інших ніж їхні умови точки максимальної потужності.

Перша особливість має дуже неприємні наслідки - часткове затінення хоча б одного фотоелектричного модуля призводить до обмеження струму генерації усього стрінгу, як зображено на рисунку 9,а. А вихід з ладу одного фотоелектричного модуля приводить до зупинки генерації цілого стрінгу, як зображено на рисунку 9,б.

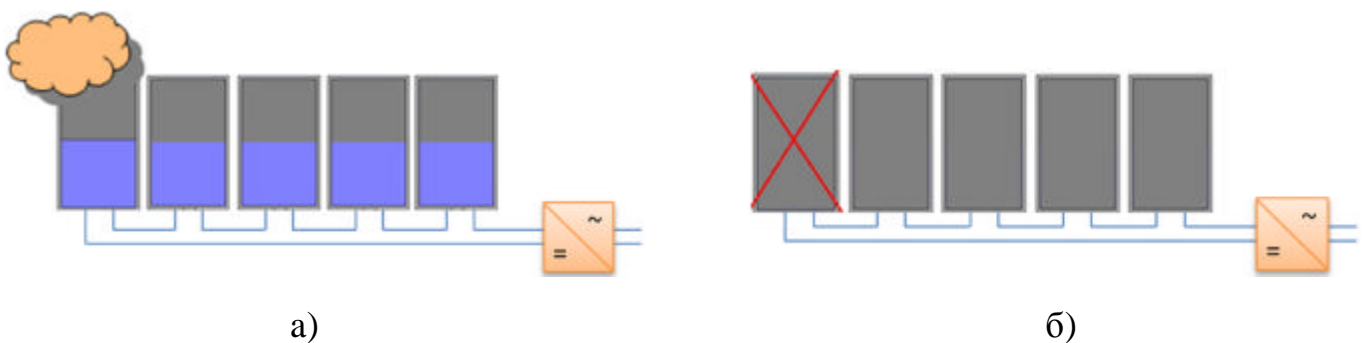


Рисунок 9 – Пряме послідовне підключення фотоелектричних модулів

Добре відомо, що кожен фотоелектричний модуль в кожен конкретний момент часу має унікальні параметри точки максимальної потужності – конкретне значення напруги і струму, за яких фотоелектричний модуль буде генерувати максимально доступну потужність. Також відомо, що в послідовному стрінгу всі фотоелектричні модулі не можуть працювати в точці максимальної потужності, якщо групу сформовано прямим послідовним з'єднанням фотоелектричних модулів.

До таких стрінгів застосовують пристрій стеження за точкою максимальної потужності, який оптимізує потужність на глобальній основі для всієї установки, незалежно від кількості використовуваних фотоелектричних модулів. Однак відслідковування точки максимальної потужності навіть на рівні одного стрінгу змушує працювати фотоелектричні модулі за однакового струму, який обмежений модулем, що генерує найнижчий струм.

Зокрема, нерівномірність параметрів різних фотоелектричних модулів, можливість затінення окремих фотоелектричних модулів сторонніми предметами, їх забруднення чи пошкодження, нерівномірна деградація з плином часу, та інші фактори зумовлюють розбіжність параметрів точки максимальної потужності окремих фотоелектричних модулів і призводять до втрат генерації енергії всього стрінгу.

Все це вимагає нових високоефективних підходів, методів і пристроїв для оптимізації роботи фотоелектричних модулів і автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів.

Автор запатентував спосіб збільшення енергії в опорі навантаження в електричному колі з постійною електрорушійною силою [32] та на його основі розробив пристрій, який зображено на рисунку 10, що дозволяє кожному фотоелектричному модулю індивідуально генерувати максимальну доступну потужність, тим самим забезпечує одержання більшої енергії для автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів в цілому.

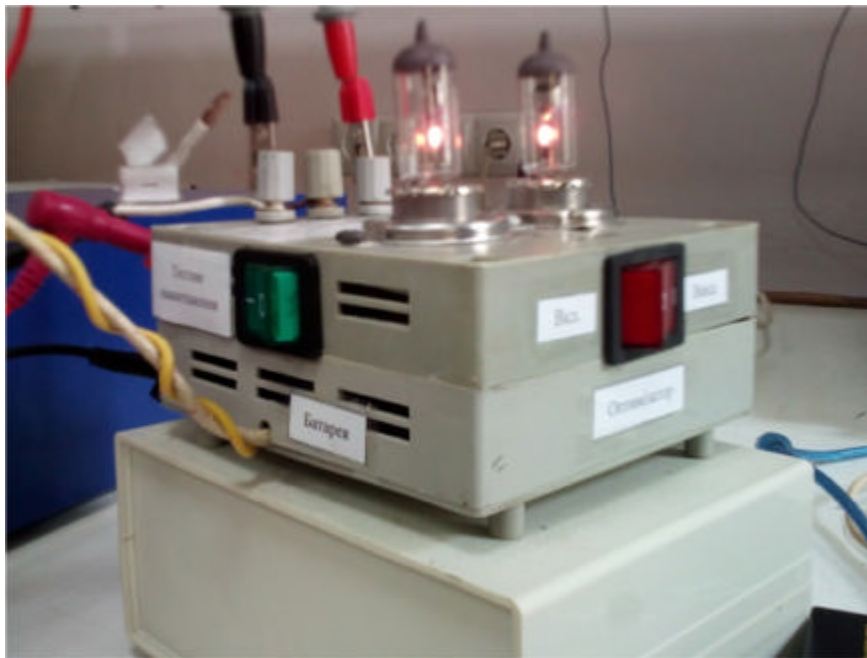


Рисунок 10 – Пристрій збільшення енергії в опорі навантаження в електричному колі з постійною електрорушійною силою

Передумовами відслідковування точки максимальної потужності за допомогою пристрою збільшення енергії в опорі навантаження в електричному колі з постійною електрорушійною силою виступають електричні явища.

1. В електричному колі з увімкненим фотоелектричним модулем і суперконденсатором струм фотоелектричного модуля у кожний момент часу залежить від відповідної миттєвої напруги на суперконденсаторі.

2. Потужність, яку генерує фотоелектричний модуль, залежить від напруги роботи фотоелектричного модуля і має точку максимальної потужності за певної напруги. Оскільки фотоелектричний модуль і суперконденсатор ввімнені паралельно, то потужність фотоелектричного модуля в кожний момент часу залежить від відповідної миттєвої напруги суперконденсатора.

3. Потужність, яку генерує фотоелектричний модуль, можна змінювати, змінюючи напругу суперконденсатора.

У батареї суперконденсатори з'єднані послідовно із використанням пасивного і активного балансування з метою недопущення перевищення допустимих меж напруги для кожного суперконденсатора.

При прямому підключенні опору навантаження  $R_H$  до джерела електрорушійної сили  $E$  з внутрішнім опором  $R_0$ , напруга та потужність в навантаженні визначаються формулами:

$$U_H = E \frac{R_H}{R_0 + R_H}, \quad (3)$$

$$P_H = \frac{U_H^2}{R_H}, \quad (4)$$

а енергія за час  $t$ :

$$W_H = P_H \cdot t. \quad (5)$$

Якщо є можливість змінювати опір  $R_H$ , то максимальна потужність в навантаженні буде в узгодженому режимі при  $R_H = R_0$ , а коефіцієнт корисної дії складає при цьому 50%.

Для зменшення пульсацій випрямленої змінної напруги та збільшення постійної складової випрямленої напруги паралельно опору навантаження під'єднується суперконденсатор, ємність  $C$  якого обирається з умови, що постійна часу розряду суперконденсатора  $\tau = R_H C$  значно більше періоду змінної напруги  $T$ .

Однак, при постійній ЕРС паралельне під'єднання суперконденсатора до опору навантаження не змінює в сталому режимі напругу на навантаженні, яка визначається формулою (3).

Для збільшення енергії в опорі навантаження в електричному колі з постійною електрорушійною силою при заданих величинах  $E$ ,  $R_0$ ,  $R_H$  необхідно під'єднувати паралельно до джерела ЕРС через діоди декілька суперконденсаторів, а опір навантаження під'єднувати по черзі, через рівні інтервали часу  $T$ , до одного з суперконденсаторів, який при цьому від'єднується від джерела ЕРС і розряджається на опір  $R_H$ , а після закінчення інтервалу часу  $T$  суперконденсатор під'єднується на дозарядку, при цьому кількість суперконденсаторів обирається достатньою для відновлення напруги на суперконденсаторі, який під'єднаний на дозарядку до початкового значення, як показано на рисунку 11.



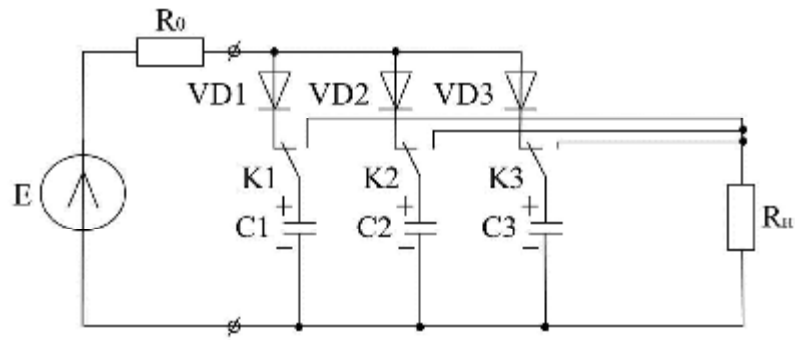


Рисунок 11 – Схема комутації суперконденсаторів

На рисунку 11 зображено схему, в якій до джерела ЕРС з внутрішнім опором  $R_0$  під'єднано паралельно через діоди  $VD1$ ,  $VD2$  і  $VD3$  та перемикачі контакти  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$  суперконденсатори  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$ . Опір навантаження  $R_H$  під'єднаний до спільної точки з'єднання суперконденсаторів та до однойменних частин перемикаючих контактів.

Комутатор (його схема на рисунку не наведена) з періодом  $T$  по черзі під'єднує суперконденсатори до опору  $R_H$  та на дозарядку.

На рисунку 12 показано криві розряду та заряду одного суперконденсатора для встановленого періодичного процесу, який характеризується початковим значенням напруги  $U_C(0)$  на початку процесу розряду, та кінцевим значенням напруги  $U_C(T)$  в кінці періоду. Криві розряду та заряду відповідають наявності трьох суперконденсаторів. На рисунку 12  $U_C(0) = U_C(3T)$ .

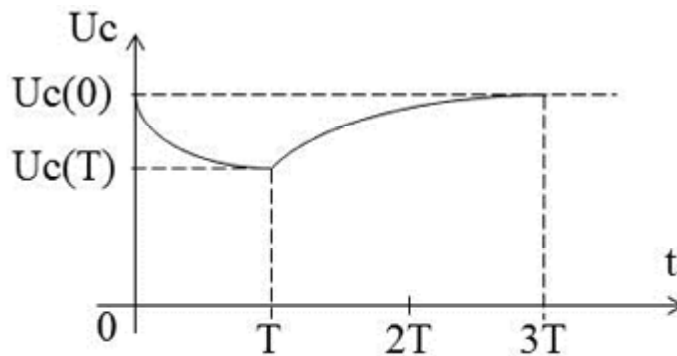


Рисунок 12 – Перехідний процес на суперконденсаторі

З метою спрощення математичної моделі перетворювача напруги зарядні та розрядні криві доцільно описувати експоненційними функціями (6), (7):

$$U_C = U_H = U_C(0) \cdot e^{-t/(R_H C)}, \quad (6)$$

$$U_C = E + (U_C(T) - E)e^{-t/(R_0 C)}. \quad (7)$$

Крива залежності напруги на виході кола комутації суперконденсаторів від часу наведена на рисунку 13.

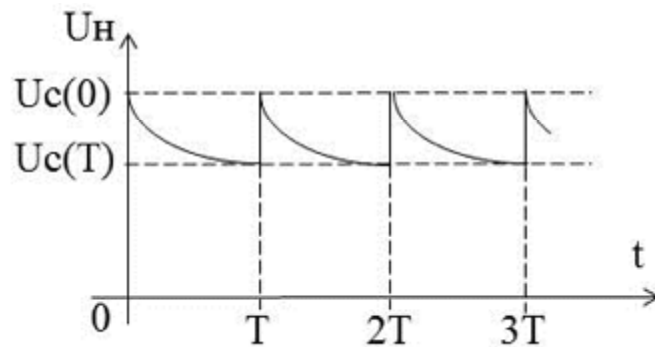


Рисунок 13 – Напруга на виході кола комутації суперконденсаторів

Коли, наприклад, суперконденсатор  $C_1$  з напругою  $U_C(T)$  від'єднується від опору  $R_H$  і під'єднується до джерела ЕРС, то наявність діодів не дає можливості розряджати зарядженим до  $U_C(0)$  суперконденсаторам на цей суперконденсатор. Таким чином, він «працює» особисто з джерелом.

При практичному застосуванні способу треба задати  $U_C(0) = K_1 E$  та  $U_C(T) = K_2 E$ , де  $K_2 \geq \frac{R_H}{R_0 + R_H}$ , а  $K_1 > K_2$ . Тоді середнє значення напруги на навантаженні буде завжди більше напруги, яка визначається формулою (3), а значить і більшою буде енергія в опорі навантаження.

Необхідна величина періоду  $T$  із достатнім наближенням визначається формулою:

$$T = R_0 C \ln \frac{K_1}{K_2}, \quad (8)$$

а необхідна кількість періодів для дозаряду суперконденсатора буде:

$$nT = R_0 C \ln \frac{1 - K_2}{1 - K_1}, \quad (9)$$

а кількість суперконденсаторів:

$$n \geq \frac{nT}{T} + 1. \quad (10)$$

Для ілюстрації способу наведені порівняльні дані стосовно відношення енергії для схем з суперконденсаторами та без суперконденсаторів при різних опорах навантаження. Розглянемо порівняння енергії в опорі навантаження для схеми з суперконденсаторами та для схеми без суперконденсаторів за один період.

Для схеми без суперконденсаторів енергія  $W_1$  визначається формулою (5), а в схемі з суперконденсаторами – формулою:

$$W_2 = \frac{1}{R_H} \int_0^T U_H^2 dt = \frac{1}{R_H} \int_0^T \left( K_1 \times E e^{-\frac{t}{R_H C}} \right)^2 dt. \quad (11)$$

Візьмемо, для прикладу, що суперконденсатор розряджається до напруги:

$$U_c(T) = E \frac{R_H}{R_0 + R_H}. \quad (12)$$

Нехай  $K_1 = 0,95$ , а  $K_2 = \frac{R_H}{R_0 + R_H}$ .

В таблиці 4 наведено результати розрахунків при різних опорах навантаження.

Таблиця 4 – Відносне збільшення енергії для різних опорів навантаження

№ п/п	$R_H$	$W_2/W_1$
1	$R_0$	2,03
2	$2R_0$	1,45
3	$3R_0$	1,28

Таким чином, суперконденсатори забезпечують великі значення пікового струму, і тому, згідно із приведеними вище розрахунками, їх використання як накопичувачів енергії дозволяє значно підвищити ефективність роботи фотоелектричних модулів до 30%.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 4.1 Характеристика об'єкту та предмету дослідження

Кваліфікаційна робота спрямована на розроблення автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів. Основними перевагами такої системи є поєднання відновлювальних і традиційних джерел енергії, компенсація пікових струмів навантаження, простота транспортування та розгортання, узгодженість роботи основних її вузлів, що забезпечує надійність та ефективність автономного електроживлення таких об'єктів.

**Об'єкт дослідження** – фізичні явища, що є основою оптимізації роботи фотоелектричних модулів, побудови алгоритмів функціонування системи, процеси генерування та накопичення електричної енергії, багатостадійні процеси заряду-розряду акумуляторних і суперконденсаторних батарей від фотоелектричних модулів та дизельгенератора.

**Предмет дослідження** – автоматизована система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів, яка включає фотоелектричні модулі, суперконденсаторні батареї, акумуляторні батареї, дизельгенератор, їх електрофізичні та фотоелектричні властивості; методи та алгоритми компенсації пікових струмів навантаження і балансування напруги акумуляторної батареї, методи узгодження роботи джерел енергії – фотоелектричних модулів, акумуляторних і суперконденсаторних батарей та дизельгенератора між собою та навантаженням, мінімізації втрат при перетворенні та розподілу енергії.

Математична модель автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів поєднує чотири наукові та прикладні методики. Енергія від автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів може використовуватися у вигляді постійного або змінного струму з використанням відповідних перетворювачів постійного струму у постійний струм та інвертора.

1. Спосіб двокоординатного відстеження траєкторії сонця з динамічним позиціонуванням робочої поверхні фотоелектричних модулів перпендикулярно

сонячному випромінюванню та відповідним керуванням трекером у тумані, хмарності, сильних опадах та сильному вітрі. Використання динамічної системи відстеження дозволяє підвищити продуктивність автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів до 30% і зменшити площу, яку займають фотоелектричні модулі.

2. Спосіб отримання електричної енергії з фотоелектричних модулів з використанням суперконденсаторів у порівнянні з аналогами ефективно працює навіть за швидко мінливих погодних умов і з достатньою точністю контролює точку максимальної потужності кожного модуля. У переважній більшості аналогів пошук точки максимальної потужності здійснюється на рівні послідовного з'єднання фотоелектричних модулів. Однак відомо, що в при послідовному з'єднанні фотоелектричних модулів всі фотоелектричні модулі не можуть працювати в точці максимальної потужності при послідовному з'єднанні фотоелектричних модулів.

3. Спосіб заряду-розряду акумуляторних батарей та суперконденсаторних батарей за розробленим алгоритмом, що забезпечує мінімальні втрати енергії на перетворювачах напруги, а також багатоступінчастий режим заряду, контроль температури та напруги акумуляторних батарей з метою збільшення терміну їх служби. Додатковою перевагою використання суперконденсаторних батарей порівняно з існуючими аналогами в автоматизованій системі електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів є можливість отримання високої миттєвої вихідної потужності навіть при низькій інсоляції сонячного випромінювання (ефект посилення потужності) за рахунок його низького внутрішнього опору і, відповідно, низького заряду та високого струму розряду.

4. Спосіб активного балансування акумуляторних батарей та суперконденсаторних батарей, суть якого полягає в передачі енергії від більш зарядженого елемента до менш зарядженого елемента практично без втрат енергії. Вирівнювання рівня заряду – метод, що дозволяє підвищити безпеку роботи акумулятора, час роботи без підзарядки та термін служби.

Як інвертор є джерелом змінної напруги для автоматизованій системі електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів з хаотичним навантаженням. Акумуляторні батареї та суперконденсаторні батареї є джерелами

струмів, які можуть мати як позитивні, так і негативні значення залежно від режимів заряду та розряду.

Загальний струм описується виразом:

$$i(t) = i_L(t) + i_0(t), \quad (13)$$

де струм  $i_0(t)$  відповідає процесу переходу енергії від акумуляторних батарей та суперконденсаторних батарей до навантаження, а струм  $i_L(t)$  - це струм навантаження за умови  $i_0(t) = 0$ .

Для підвищення ефективності автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів необхідно виконати умову мінімізації середнього струму навантаження  $i_L(t)$  при стабільній амплітуді напруги  $u(t)$ . При цьому струм навантаження  $i_L(t)$  не може перевищувати порогове значення, після чого джерело зазнає зниження напруги, при цьому споживання енергії від джерела має бути максимальним. Таким чином, умову можна описати таким виразом:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{\min} \sin(\omega t + \varphi_0) < u(t) < A_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0), \\ u(t) \rightarrow A_0 \sin(\omega t + \varphi_0), \\ i(t) = i_L(t) + i_0, \\ \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_{PV}(\tau) \cdot u_{PV}(\tau))^2 d\tau} \rightarrow \max. \end{array} \right. \quad (14)$$

Виконання цієї умови забезпечується алгоритмом регулювання струму, а живлення струму здійснюється від енергії в акумуляторних батареях та суперконденсаторних батареях. Структурна схема автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів з можливістю реалізації віртуального імпедансу показана на рисунку 14.

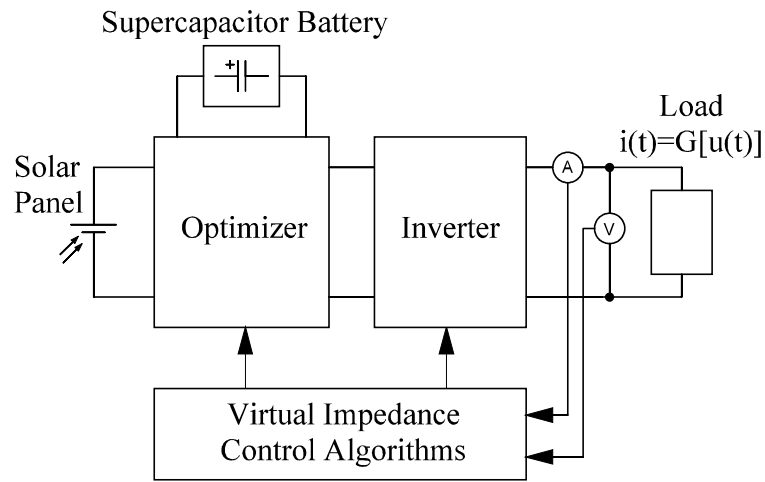


Рисунок 14 – Структурна схема автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів з можливістю реалізації віртуального імпедансу

#### 4.2 Імітаційна модель автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів

Імітаційна модель автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів з можливістю реалізації віртуального імпедансу показана на рисунку 15.

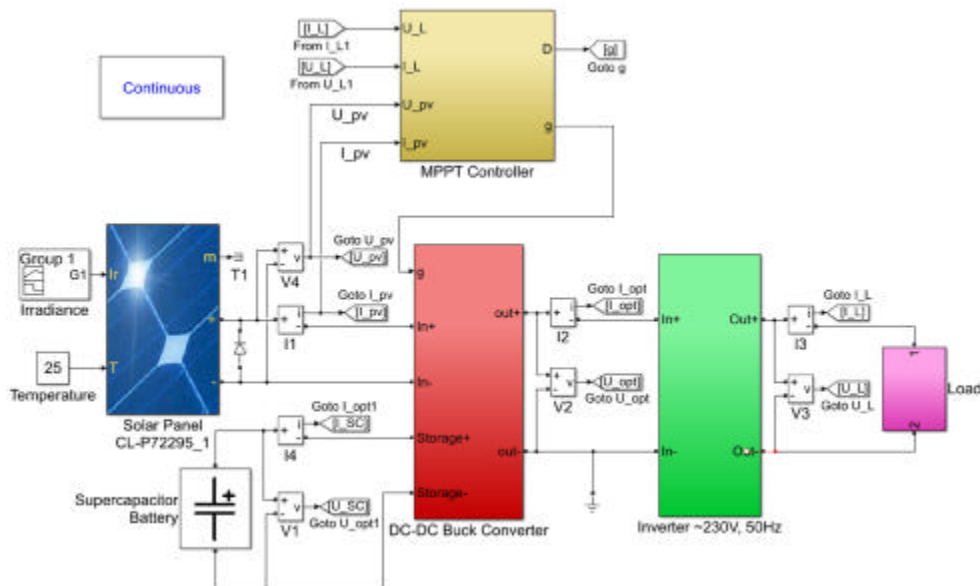


Рисунок 15 – Імітаційна модель автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів з можливістю реалізації віртуального імпедансу



Представлена імітаційна модель дає можливість підвищити ефективність розробленої автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів за рахунок розширення сфери аналізу перехідних процесів при нестабільному нелінійному навантаженні. Модель дає можливість прямого налаштування алгоритму відстеження точки максимальної потужності у вигляді функції MATLAB, яка може бути перетворена в двійковий код для контролера керування перетворювачем.

Перетворювач постійного струму у постійний струм показаний на рисунку 16. Перетворювач постійного струму у постійний струм є частиною оптимізатора фотоелектричних модулів, який призначений для відстеження точки максимальної потужності і, таким чином, підвищення ефективності передачі енергії на навантаження від фотоелектричних модулів.

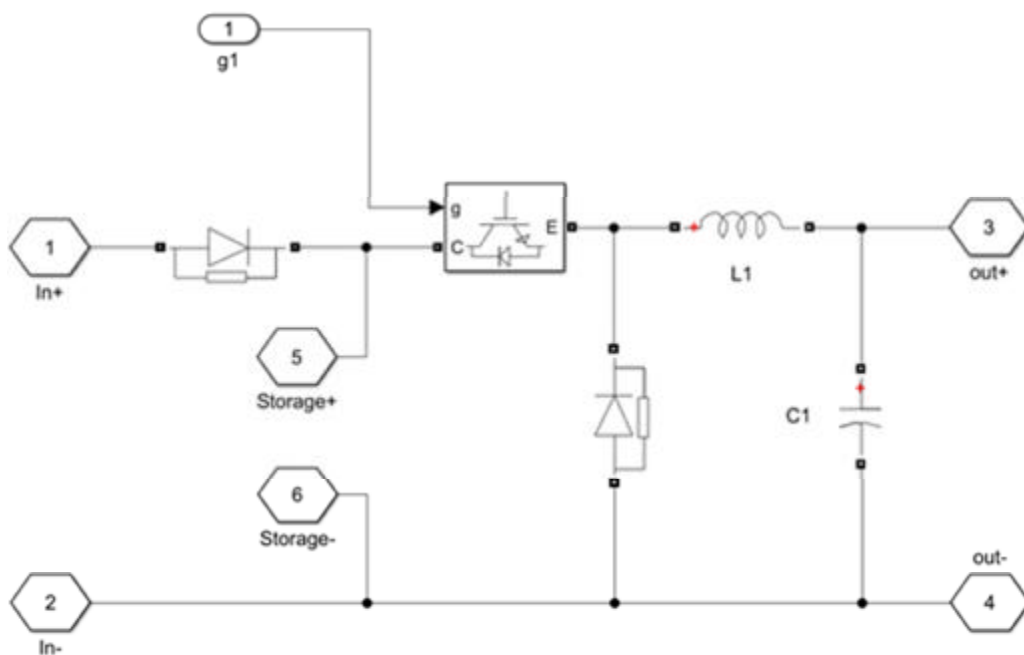


Рисунок 16 – Імітаційна модель перетворювача постійного струму у постійний струм

Перетворювач постійного струму у постійний струм побудований на транзисторному перемикачі. Перетворювач постійного струму у постійний струм складається з двох захисних діодів, а також вихідного фільтра, який побудований на дроселі L1 і конденсаторі C1. Сигнал керування g призначений для керування перетворювачем постійного струму у постійний струм. Цей сигнал формується

контролером відслідковування точки максимальної потужності. Імітаційна модель контролера відслідковування точки максимальної потужності показана на рисунку 17.

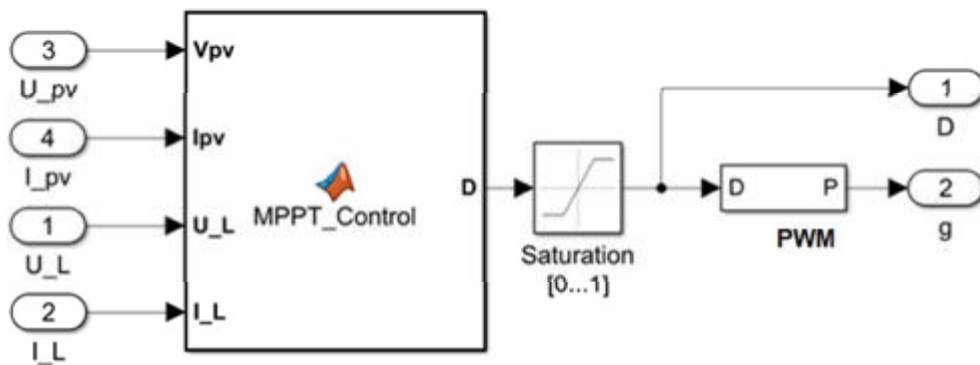


Рисунок 17 – Імітаційна модель контролера відслідковування точки максимальної потужності

Алгоритм керування контролером відслідковування точки максимальної потужності був розроблений як функція в середовищі моделювання MATLAB. Контролер відслідковування точки максимальної потужності отримує вхідні дані у вигляді струму і напруги фотоелектричного модуля, а також навантаження.

Після визначення робочої точки фотоелектричного модуля та значення її відповідності опору навантаження формується керуючий сигнал. Сигнал керування контролером відслідковування точки максимальної подається на генератор широтно-імпульсного сигналу. Генератор широтно-імпульсного сигналу відкриває і замикає транзисторний перемикач перетворювача постійного струму у постійний струм.

З виходу перетворювача постійного струму у постійний струм напруга надходить на вхід інвертора. Імітаційна модель інвертора показана на рисунку 18.

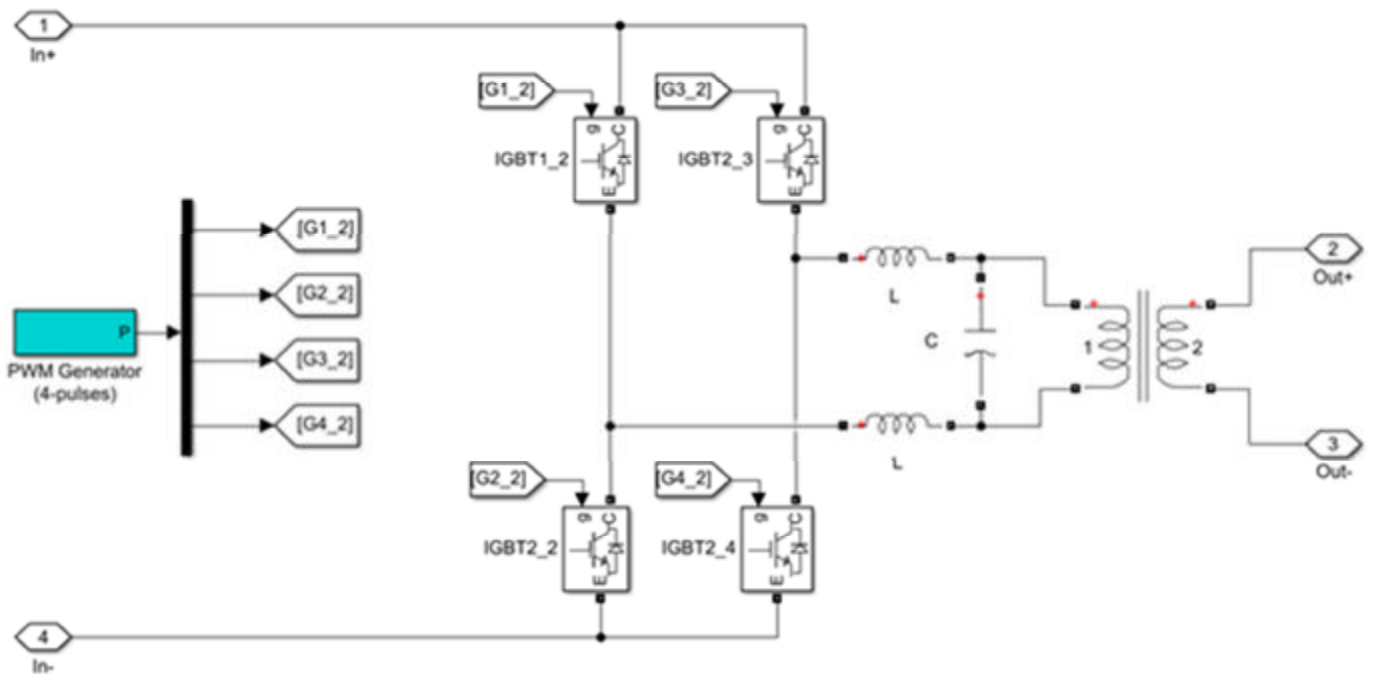


Рисунок 18 – Імітаційна модель інвертора

Інвертор перетворює напругу, що постачається від перетворювача постійного струму у постійний струм, у напругу 220 В змінного струму. Інвертор генерує змінну напругу з частотою 50 Гц. Інвертор реалізований за допомогою мостової схеми. Особливістю мостової схеми є використання чотирьох транзисторних перемикачів, які реалізовані на IGBT транзисторах.

Генератор широтно-імпульсного сигналу подає керуючі сигнали на транзистори IGBT. Після інвертора включається фільтр нижніх частот. Фільтр нижніх частот згладжує вихідну напругу, яка подається на трансформатор. Трансформатор створює напругу 325,2 В на виході перетворювача постійного струму у постійний струм.

Щоб збільшити енергію від фотоелектричного модуля, необхідно з часом змінювати передавальну функцію інвертора, щоб змінити еквівалентну лінійну частину кола навантаження для отримання максимального ефекту.

Явище нелінійності навантаження виникає через наявність в мережі нелінійних елементів, таких як випрямлячі, перетворювачі напруги, магнітні кола трансформаторів, а також за рахунок комутації споживачів електроенергії.

В електромережах з нелінійним навантаженням коливання струму можуть мати хаотичну динаміку, яка визначається характеристиками нелінійних елементів, підключених до мережі.

Наявність в мережі таких елементів, як, наприклад, випрямлячі або перетворювачі напруги, побудовані на основі напівпровідникових діодів, може призвести до коливань струму на частотах, відмінних від номінальної. Такі коливання зазвичай характеризуються нестабільним зміщенням відносно середини і відповідають коливанням, які генеруються системами з мультистабільними потенціальними функціями.

Найпростіша структурна схема навантаження, що має хаотичні режими коливань струму, показана на рисунку 19.

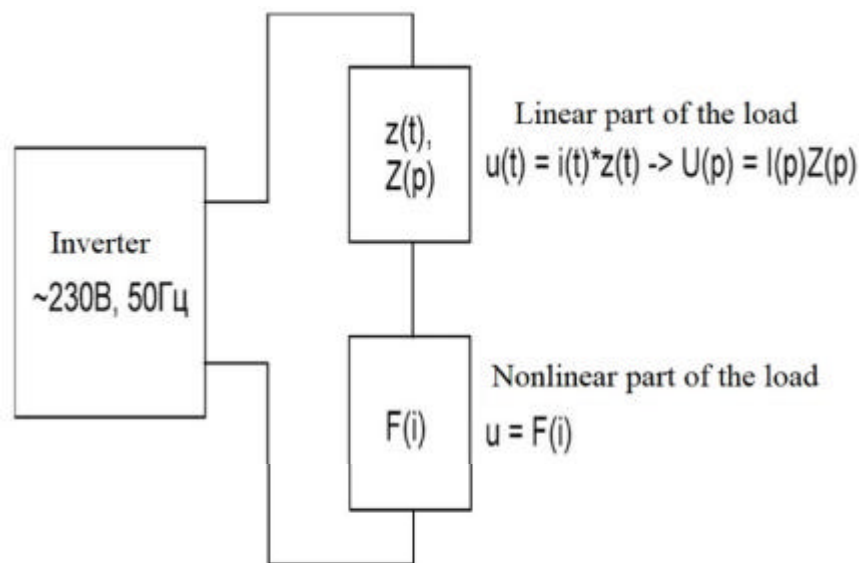


Рисунок 19 – Найпростіша структурна схема навантаження, що має хаотичні режими коливань струму

Більшість навантажень з хаотичною динамікою можна описати рівнянням типу, яке визначає залежність напруги від струму на навантаженні.

$$A(t) * \left( i(t) + F \left[ i(t), i'(t), i''(t), \dots, i^{(n)}(t) \right] \right) = u(t). \quad (15)$$

Напруга інвертора є головним коливанням для хаотичної системи, утвореної навантаженням. Струм, що протікає через клеми інвертора, залежить від напруги інвертора, є початковим значенням хаотичної системи. Хаотична система навантаження складається з лінійної та нелінійної частин.

Лінійна частина описується імпульсною характеристикою  $A(t)$ . Згортка струму  $i(t)$  з імпульсною характеристикою  $A(t)$  визначає еквівалентну напругу лінійної частини хаотичної системи:

$$u_L(t) = A(t) * i(t) = \int_0^t A(\tau) i(t - \tau) d\tau . \quad (16)$$

Нелінійна частина хаотичної системи описується нелінійною функцією струму на клеммах інвертора та його похідних від першого до n-го порядку. Еквівалентна напруга нелінійної частини хаотичної системи визначається виразом:

$$u_{NL}(t) = A(t) * F[i(t), i'(t), i''(t), \dots, i^{(n)}(t)] . \quad (17)$$

Сума еквівалентних напруг лінійної та нелінійної частин є величиною коливань напруги на виході інвертора:

$$u(t) = u_L(t) + u_{NL}(t) . \quad (18)$$

Тоді рівняння моделі хаотичного навантаження має вигляд:

$$A(t) * (i_L(t) + i_0(t) + F[i_L(t) + i_0(t), i_L'(t), i_L''(t), \dots, i_L^{(n)}(t)]) = u(t) . \quad (19)$$

Функційна схема хаотичного навантаження показана на рисунку 20.

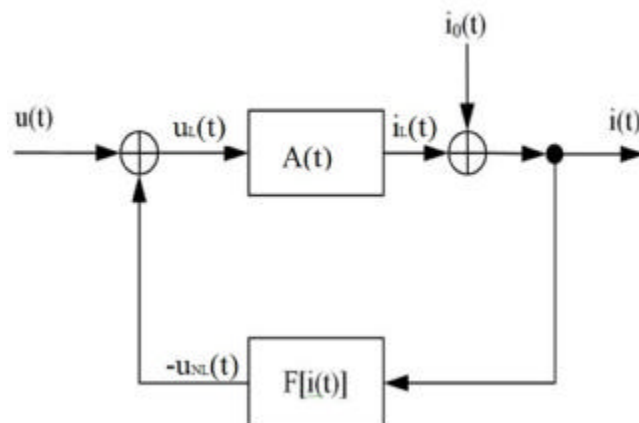


Рисунок 20 – Функційна схема хаотичного навантаження

Математична модель хаотичного навантаження, показана на рисунку 20, описується рівнянням Даффінга з коефіцієнтами, які забезпечують масштабування в часі та амплітуді:

$$B_1 \cdot \frac{d^2 i(t)}{dt^2} + B_2 \cdot k \cdot \frac{di(t)}{dt} + B_3 \cdot F(B_4 \cdot i(t)) = u(t), \quad (20)$$

де  $B_1$  і  $B_2$  – коефіцієнти масштабування частоти;

$$B_1 = \frac{1}{\omega^2} \text{ та } B_2 = \frac{1}{\omega}, \quad (21)$$

де  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  – кутова частота;

$k$  – коефіцієнт загасання;

$F(x) = x^3 - x$  – нелінійна функція;

$B_3$  та  $B_4$  – коефіцієнти масштабування напруги;

$$B_3 = \frac{U_0}{U_p} \text{ та } B_4 = \frac{U_p}{U_0}, \quad (22)$$

де  $U_0 = 325,2 \text{ В}$  – амплітуда напруги в мережі;

$U_s$  – амплітуда напруги, що відповідає заданому режиму коливань.

Імітаційна модель навантаження з хаотичною динамікою показана на рисунку 21.

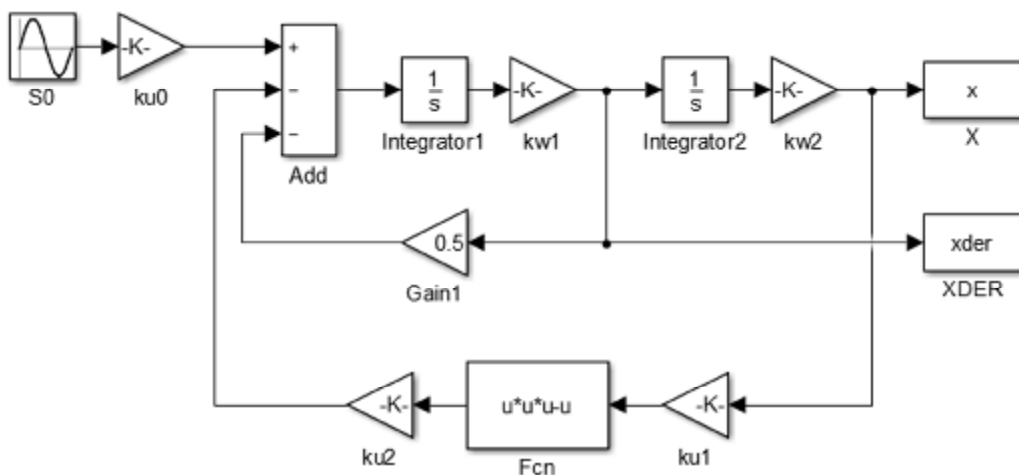


Рисунок 21 – Імітаційна модель навантаження з хаотичною динамікою

У наведеній імітаційній моделі встановлені значення коефіцієнтів, які відповідають масштабуванню рівняння для роботи в мережі змінної напруги  $\sim 230\text{В}$  з частотою 50 Гц.

Коефіцієнти  $B_1$  та  $B_2$  для частоти мережі 50 Гц мають фіксовані значення:

$$B_1 = 1,013 \cdot 10^{-5} \text{ та } B_2 = 0,0032. \quad (23)$$

Коефіцієнти  $B_3$  та  $B_4$  для напруги мережі 230 В і для діапазону  $U_s \in [0,3; 0,9]$  В визначаються з умов:

$$B_3 \in [361; 1000] \text{ та } B_4 = \frac{1}{B_3}. \quad (24)$$

Коефіцієнти  $B_3$  та  $B_4$  визначають режим струму навантаження. В імітаційній моделі, показаній на рисунку 21, ці коефіцієнти мають такі значення:

$$kw1 = \omega = 314,2 \text{ та } kw2 = kw1 = \omega = 314,2. \quad (25)$$

$$ku2 = B_3 = 325,2 / U_p, \quad ku1 = B_4 = U_p / 325,2 \text{ та } ku0 = 1. \quad (26)$$

Напруга і струм навантаження з хаотичною динамікою, описаною системою Даффінга, наведені на рисунку 22.

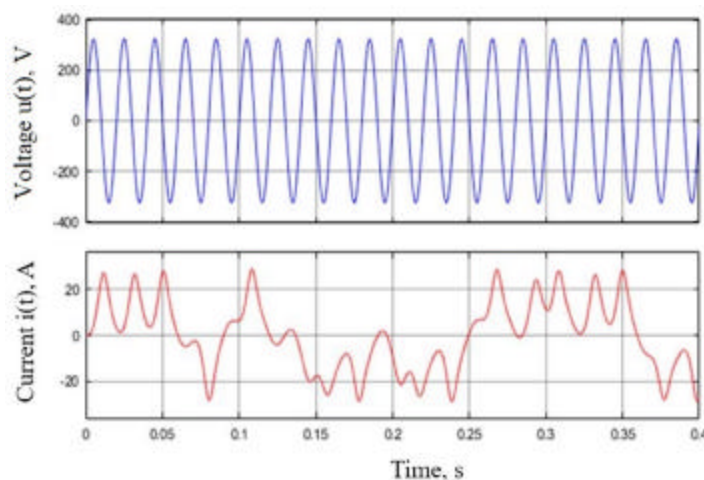


Рисунок 22 – Напруга і струм навантаження з хаотичною динамікою, описаною системою Даффінга

Поверхня, утворена миттєвими значеннями струму на навантаженні, яка описується рівнянням 20 і в залежності від часу і напруги в мережі, показана на рисунку 23.

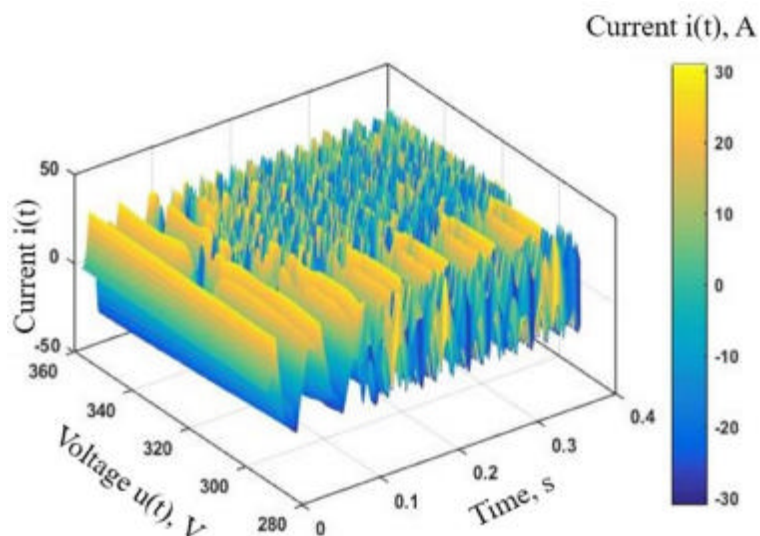


Рисунок 23 – Поверхня, утворена миттєвими значеннями струму на навантаженні

Функційна схема автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів зображена на рисунку 24.

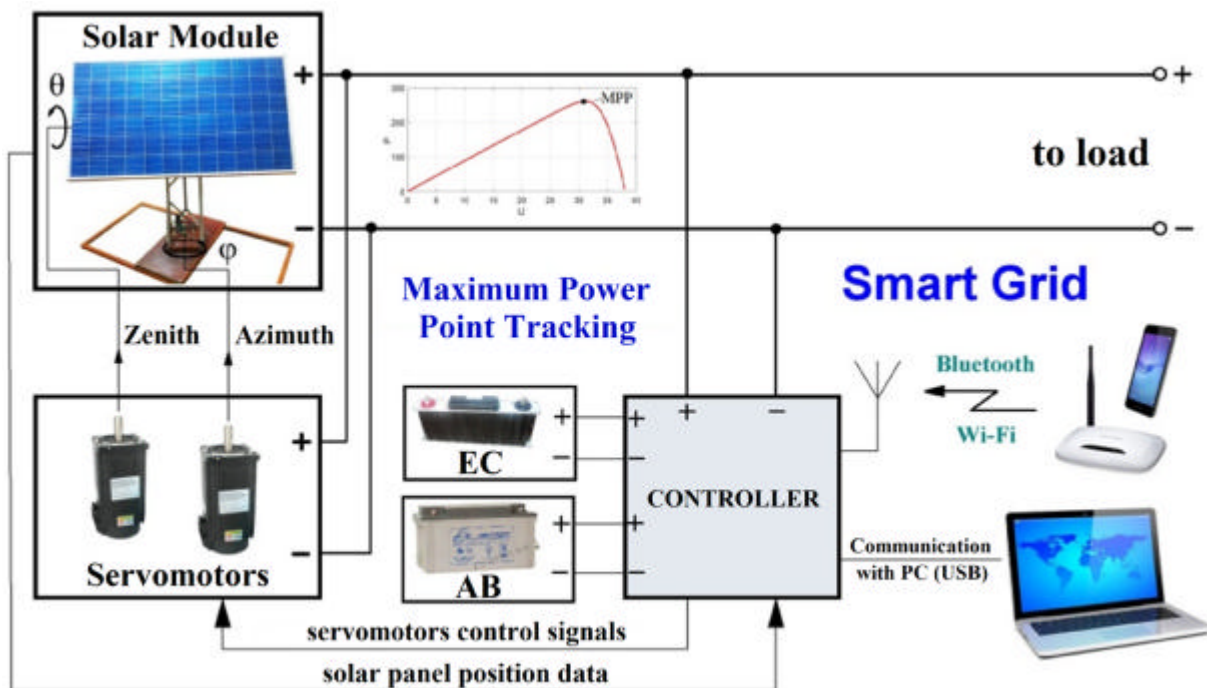


Рисунок 24 – Функційна схема автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів



## 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Алгоритм керуючої програми відслідковування точки максимальної потужності

Передумови відслідковування точки максимальної потужності фотоелектричного модуля за допомогою перетворювача постійного струму у постійний струм.

1. В електричному колі з паралельно увімкненими фотоелектричним модулем і суперконденсатором, струм фотоелектричного модуля у кожний момент часу залежить від відповідної миттєвої напруги на суперконденсаторі.

2. Потужність, яку генерує фотоелектричний модуль залежить від напруги роботи фотоелектричного модуля. Оскільки фотоелектричний модуль і суперконденсатор ввімкнуті паралельно, то потужність фотоелектричного модуля в кожний момент часу залежить від відповідної миттєвої напруги суперконденсатора.

3. Потужність, яку генерує фотоелектричний модуль можна змінювати змінюючи напругу суперконденсатора.

Контролер відслідковування точки максимальної потужності підтримує роботу фотоелектричного модуля в околі точки максимальної потужності за допомогою блоку керування, що працює за таким алгоритмом.

Відомо, що в точці максимальної потужності нахил кривої потужності фотоелектричного модуля відсутній, ліворуч від точки максимальної потужності – додатній, а праворуч – від’ємний:

$$\begin{cases} \frac{dP}{dV} = 0 & \text{в ТМП;} \\ \frac{dP}{dV} > 0 & \text{ліворуч від ТМП;} \\ \frac{dP}{dV} < 0 & \text{праворуч від ТМП.} \end{cases}$$

Початкові умови роботи алгоритму керуючої програми відслідковування точки максимальної потужності.

1. Після під'єднання суперконденсатора до фотоелектричного модуля відбувається заряд суперконденсатора. По ходу заряду напруга суперконденсатора зростає і прямує до  $U_{хх}$  фотоелектричного модуля, а струм  $I$  зменшується. У цей час навантаження вимкнено.

2. Заряджування суперконденсатора триває до напруги, за якої крива потужності змінює свій нахил з позитивного на негативний. Після того як напруга  $U_{ск}$  сягає величини за якої  $dP/dV=0$  вмикається навантаження і відбувається відбір енергії від системи фотоелектричний модуль-суперконденсатор, тобто одночасно відбір енергії від фотоелектричного модуля і суперконденсатора.

Блок-схема алгоритму відслідковування точки максимальної потужності фотоелектричного модуля з використанням суперконденсатора зображено на рисунку 25.

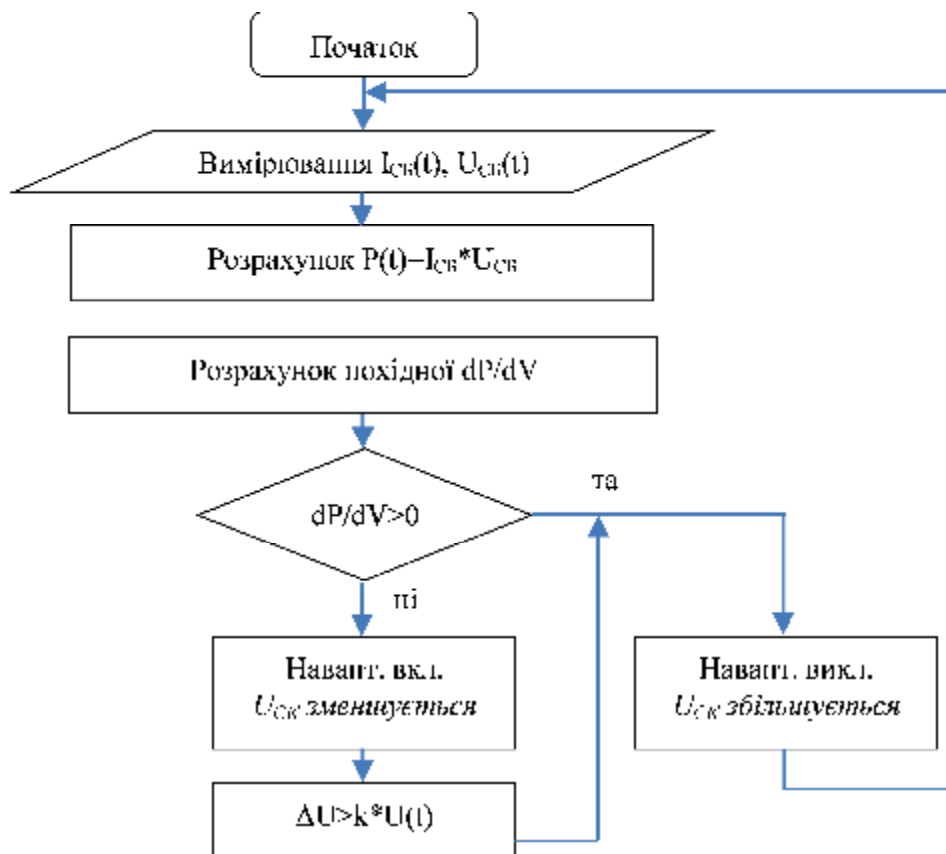


Рисунок 25 – Блок-схема алгоритму відслідковування точки максимальної потужності фотоелектричного модуля з використанням суперконденсатора

Залежність потужності фотоелектричного модуля від напруги зображено на рисунку 26.

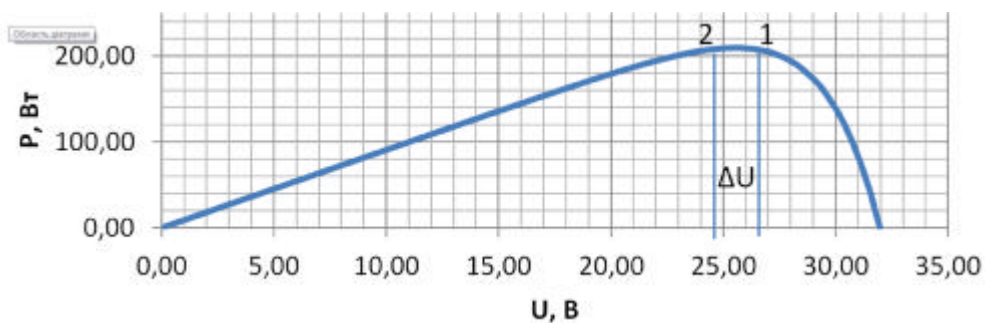


Рисунок 26 – Блок-схема алгоритму відслідковування точки максимальної потужності фотоелектричного модуля з використанням суперконденсатора

Відбір енергії від системи фотоелектричний модуль-суперконденсатор триває проміжок часу протягом якого напруга на суперконденсаторі зменшиться на величину  $\Delta U > k \cdot U(t)$ . Напруга зменшується від точки 1 до точки 2, де крива потужності слабо залежить від наруги (має поличку). Напруга  $\Delta U$  становить 5-6% від наруги робочої точки у даний момент часу ( $k = 0,05-0,06$ ). Після досягнення заданого параметру  $\Delta U$  зовнішній відбір енергії припиняється і алгоритм повторюється.

## 5.2 Симуляція керуючої програми відслідковування точки максимальної потужності фотоелектричного модуля

З метою перевірки ефективності роботи алгоритму керуючої програми відслідковування точки максимальної потужності було розроблене спеціалізоване програмне забезпечення Real-Time Simulation.

Спеціалізоване програмне забезпечення Real-Time Simulation складається із трьох основних програмних складових.

1. Інтерфейсу введення параметрів фотоелектричного модуля.
2. Вікна виведення діаграми миттєвого положення робочої точки фотоелектричного модуля.
3. Вікна виведення часових діаграм наруги, струму та потужност фотоелектричного модуля.

Інтерфейс спеціалізованого програмного забезпечення Real-Time Simulation зображено на рисунку 27.

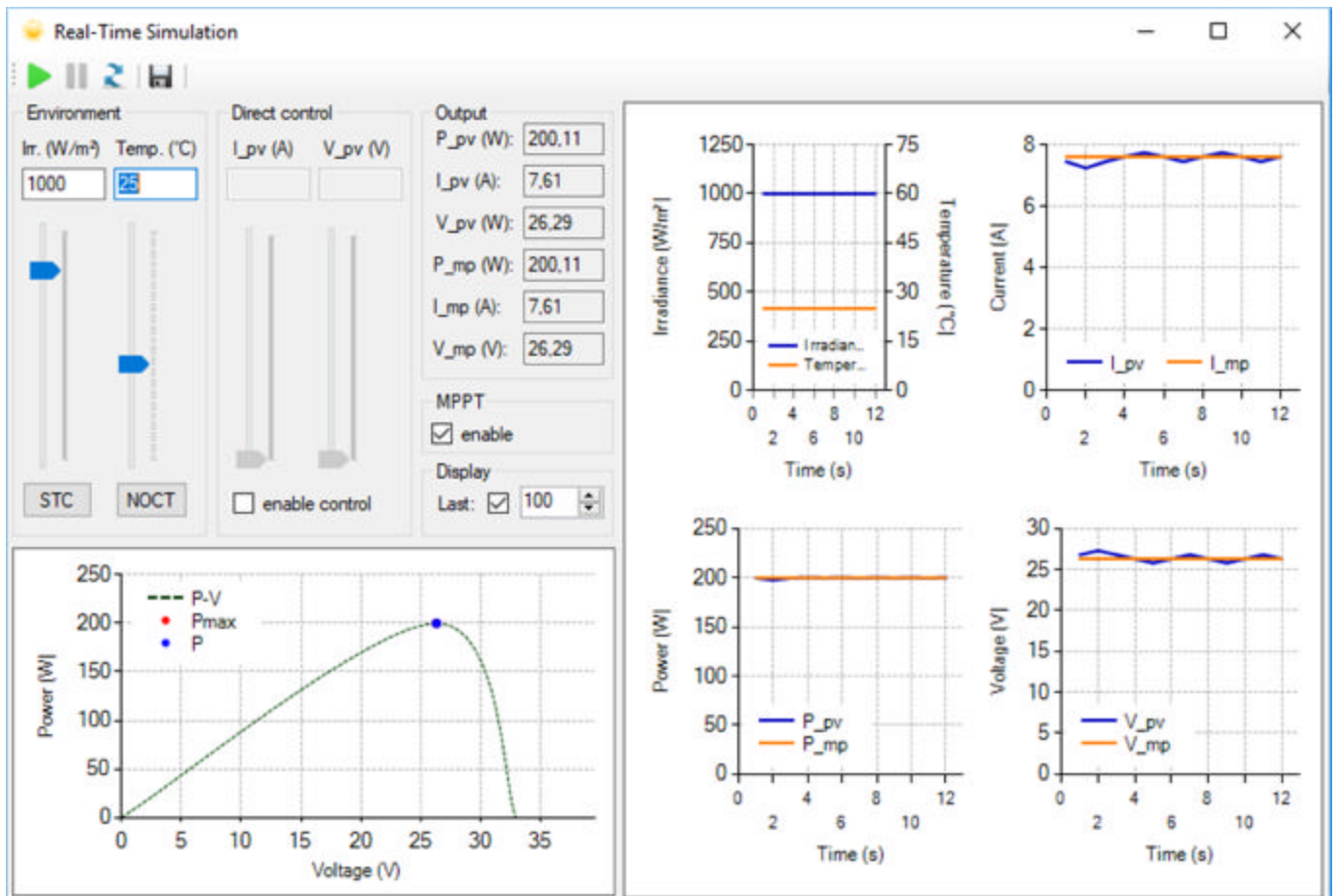


Рисунок 27 – Інтерфейс спеціалізованого програмного забезпечення Real-Time Simulation

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Вимоги до охорони праці при виготовленні автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів**

При виготовленні автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів необхідно дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з електроустаткуванням.

Безпека експлуатації електрообладнання, зокрема автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів, забезпечується комплексом заходів безпеки, застосуванням електрозахисних засобів і вірній організації експлуатації діючого електроустаткування.

Ці міри можна умовно поділити на дві групи:

- 1) міри, що забезпечують безпеку при нормальному режимі експлуатації обладнання;
- 2) міри, що забезпечують безпеку в аварійному режимі, при появі напруги на неструмоведучих частинах обладнання (корпусах, кожухах та ін.).

Найбільш небезпечна напруга на вході джерела живлення - 220 В. Тому для попередження виходу з ладу автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів і враження електричним струмом необхідно виконувати наступні вимоги техніки безпеки:

- 1) роботу проводити тільки зі справним пристроєм;
- 2) перевірити наявність заземлення;
- 3) перевірити цілісність ізоляції, справність роз'ємів;
- 4) перевірити у блоку живлення необхідну напругу;
- 5) перевірити працездатність терморегулятора.

При ремонтуванні мікропроцесорного вимірювача витрат газу, враховуючи шкідливість вихідних компонентів, що входять у склад припоїв, флюсів, щоб попередити забруднення атмосфери, виробничих приміщень, пилом, парами і газами та для досягнення сприятливих умов праці необхідно провести комплекс наступних заходів:

1. Ділянки, на яких проводяться операції пайки, відокремлюють в окремі приміщення. Якщо пайки проводяться на поточній лінії при чередуванні з іншими

технологічними операціями - виробничі приміщення в цьому випадку розглядаються як приміщення для пайки.

2. Стіни, віконні рами, повітроводи повинні бути гладкими і покриті масляною фарбою світлих тонів (панелі на рівні 1,5...2 м краще облицьовувати плиткою). Поли повинні бути волого непроникливі.

3. При ручній пайці та обжигу ізоляції, електропаяльник і електропристрій для обжигу повинні працювати від електромережі напругою не вище 42 В.

4. Прибирання обладнання проходить із застосуванням персональної електронно-обчислювальної машиноприбиральної системи.

5. Використані салфетки і ганчір'я після зміни повинні спалюватись.

6. Шафи для зберігання робочої одежі і особових речей, кожної неділі всередині і зовні омиваються гарячою водою з милом.

7. Експлуатація ділянок пайки, не обладнаних витяжною вентиляцією, забороняється.

8. Приміщення, в яких розміщуються ділянки пайки, обладнуються відокремленою приточно-витяжною вентиляцією.

9. Особи, які не досягли 18-річного віку, до постійної роботи з припоями, які вміщують свинець і кадмій, не допускаються.

10. Жінки, зайняті пайкою, під час вагітності і годування дітей груддю переводяться на роботу, яка не зв'язана з пайкою.

11. Всі, хто поступає на роботу, повинні бути проінструктовані по ТБ.

## **6.2 Екологічні вимоги при виготовленні та експлуатації автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів**

Основним джерелом забруднення атмосферного повітря є промислові підприємства. Кожен рік в атмосферу планети викидається 200 млн. т. окислу вуглецю, 151 млн. т. окислу сірки, вище 500 млн. т. окислів азоту, більш 500 млн. т. різноманітних вуглеводнів, більш 250 млн. т. дрібнодисперсних аерозолів (пилу).

Склад викидів хімічної промисловості дуже різноманітний: двоокис вуглецю, окис азоту, аміак, хлористі і фтористі з'єднання, пил неорганічних виробництв.

Збільшення задимленості атмосфери, та шкідливих викидів, веде до погіршення мікроклімату.

Для успішного вирішення проблеми охорони атмосферного повітря розроблені засоби комплексного контролю забруднення повітря (ЗП): комплексні лабораторії для аналізу ЗП, стаціонарні і рухливі лабораторії для контролю ЗП в містах і промислових центрах, автоматизовані станції контролю ЗП і автоматизовані системи керування інтенсивністю ЗП.

Охорона атмосферного повітря досягається очищенням викидів підприємств, виділенням санітарно-захисних зон і застосуванням безвідходних виробництв.

Очистка викидів від пилу може бути грубою, середньою і тонкою. Для обезпилення викидів застосовують пилевловлювальні пристрої, які можна розділити на дві групи - які вловлюють частки пилу в сухому стані і газопромивачі, в яких пил вловлюється після зволоження.

До основних типів апаратів для сухого очищення відносяться циклонні сепаратори, тканинні фільтри і електрофільтри.

Очистка викидів від газів досягається приміненням абсорбційних та адсорбційних методів.

Абсорбційні методи основані на поглинанні шкідливих домішок рідинами. Ці методи досить прості, надійні з високим ступенем очищення, однак зв'язані з приміненням громіздкої апаратури та важкістю утилізації отримуваних розчинів.

Адсорбційні методи очищення основані на поглинанні шкідливих домішок поверхнею твердих тіл (адсорбентів). Важливою особливістю адсорбції є те, що процес протікає без зміни хімічної природи речовин, які поглинаються і адсорбенту. Це дозволяє повертати поглинуті гази в виробництво та багато разів використовувати адсорбент.

На рівні з охороною повітря йде охорона водних ресурсів. Стічні води промислових підприємств вміщують різноманітні шкідливі речовини. В стічних водах приладобудівних підприємств солі різних металів (міді, нікелю, хрому, кадмію і т.д.), а в стічних водах гальванічних цехів - цианіди. Стічні води підприємств хімічної промисловості є найбільш небезпечними, так як вміщують складні органічні речовини. Для очищення стічних вод примінюються очисні

споруди. Для очищення примінюється механічний, біологічний, фізико-хімічний методи очищення.

При масовому виготовленні автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів на підприємстві буде відбуватися деяке забруднення навколишнього середовища, якщо йому не запобігти, не поставити очисні та захисні спорудження. На різних етапах виготовлення автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів є свої моменти, які впливають на навколишнє середовище, тобто забруднюють його.

При вирізанні плати автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів на навколишнє середовище діє шум, який виникає в результаті порізки. Після закінчення процесу різки плати автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів на її поверхні виноситься струмопровідний шар фоторезисту, за допомогою фотошаблонів проводиться його експозиція.

Після процесу травління на платі автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів формується топологія схеми, тобто струмопровідні траси. Для захисту топології від атмосферного впливу на поверхню плати наносять захисне лако-фарбне покриття. При здійсненні усіх вищеписаних заходів відбувається шкідливий вплив на навколишнє середовище, а саме: утворення шуму, пилу при різанні плат, виділення парів шкідливих речовин при травлінні та в процесі нанесення захисних покриттів на поверхню струмопровідних трас.

Сильний шкідливий вплив як на організм людини так і на навколишнє середовище здійснює пайка припоєм. Оскільки припій містить шкідливі речовини, потрібно використовувати на робочих місцях повітряні витяжки з фільтрами. Тому на кожному підприємстві є відділи, які займаються екологічними питаннями.



### **6.3 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції на робочому місці монтажника автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів**

Місцева витяжна вентиляція, що іменується також місцевими відсмоктувачами, або аспірацією, влаштовується для відведення і видалення шкідливих виділень в джерелі їх виділення.

Слід вказати основні вимоги, які необхідно враховувати при встановленні місцевих відсмоктувачів.

1. Місцевий відсмоктувач повинен найбільш повно охоплювати зону шкідливих виділень.

2. Всмоктуючий отвір повинен розташовуватися як можна ближче до джерел виділень.

3. Всмоктуючий отвір потрібно орієнтувати так, щоб вони знаходились в площині, перпендикулярні до основного напрямку руху шкідливих виділень.

4. Необхідно, щоб шкідливі виділення, що поступають у відсмоктувач, не проходили через зону дихання працюючого.

5. Слід забезпечити найбільш рівномірний розподіл швидкості руху повітря в площині всмоктуючого отвору.

Для пристрою місцевої витяжної вентиляції на робочому місці монтажника автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів потрібно застосувати витяжний ковпак з панеллю С.А. Чернобережського, встановленою у вхідному перерізі укриття.

На робочому столі монтажника автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів в зоні пайки виділяються наступні шкідливі речовини:

- свинець ( ГДК=0.01 мг/м<sup>3</sup> );
- каніфоль ( ГДК=8 мг/м<sup>3</sup> ).

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин вказані у відповідності з ГОСТ 12.1.005-88. Необхідний повітрообмін, м<sup>3</sup>/год, визначається виходячи з розбавлення шкідливої речовини до допустимих концентрацій розраховується по формулі:

$$L = \frac{1000 \cdot G}{q_2 - q_1}, \quad (27)$$

де  $G$  - інтенсивність виділення шкідливої речовини, г/год;

$q_1$  і  $q_2$  - концентрації шкідливої речовини відповідно в приточному і повітрі, що видаляється, мг/м<sup>3</sup>.

Інтенсивність випаровування в зоні пайки на робочому столі складає для свинцю  $G_{св}=0,02$  г/год, для каніфолі  $G_{кан}=6,4$  г/год. Визначаємо необхідний повітрообмін окремо для кожної з вказаних речовин. У приточному повітрі приймаємо, що концентрація свинцю  $q_{2св}=0$ , та каніфолі -  $q_{2кан}=0$ . У повітрі, що видаляється концентрація обох шкідливих речовин складає величину, що не перевищує ГДК для кожної речовини.

Необхідний повітрообмін для розбавлення парів свинцю:

$$L_{св} = \frac{1000 \cdot 0,02}{0,01} = 2000 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (28)$$

Необхідний повітрообмін для розбавлення парів каніфолі:

$$L_{кан} = \frac{1000 \cdot 6,4}{8} = 800 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (29)$$

Виходячи з проведених розрахунків із яких видно, що для забезпечення необхідних умов праці в зоні дії шкідливих речовин необхідно прийняти більш продуктивну вентиляційну систему, тому приймаємо значення  $L_{св} = 2000 \text{ м}^3 / \text{год}$ .

Однак, потрібно вказати, що реально необхідна швидкість повітрообміну складе меншу величину в зв'язку з тим, що видалення шкідливих речовин проводиться за допомогою місцевих відсмоктувачів, які більш ефективні в подібних випадках, ніж системи вентиляції всього приміщення.

Реально необхідна швидкість повітрообміну визначається із співвідношення:

$$L = \frac{1000 \cdot G}{q_0}, \quad (30)$$

$q_0$  - допустима концентрація шкідливих речовин в укритті.

Концентрацію шкідливих речовин розраховується лише для свинцю, оскільки речовини різнонаправленої дії, а він є більш небезпечним.

Концентрація  $q$  визначається:

$$q = q_0 \cdot k_{укр}, \quad (31)$$

де  $k_{укр}$  - коефіцієнт, що залежить від форми і співвідношення розмірів укриття, розташування в ньому джерел виділення шкідливих речовин і місць приєднання до нього витяжних повітропроводів.

$$\text{Вибираємо коефіцієнт } k_{укр} = \frac{0,25}{0,15} = 1,67.$$

Таким чином, концентрація свинцю в укритті складе:

$$q = 0,01 \cdot 1,67 = 0,0167 \text{ мг} / \text{м}^3. \quad (32)$$

Необхідна швидкість повітрообміну складе:

$$L = \frac{1000 \cdot 0,02}{0,0167} = 1197 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (33)$$

Приймаємо  $L = 2000 \text{ м}^3 / \text{год}$ .

Перевіримо концентрацію шкідливих речовин:

$$q = \frac{1000 \cdot G}{L} = \frac{1000 \cdot 0,02}{2000} = 0,01. \quad (34)$$

Отже, концентрація свинцю на робочому місці не перевищує допустиму.

Визначимо геометричні розміри всмоктуючої панелі. Площу перерізу всмоктуючої панелі визначимо з відношення:

$$F_{II} = \frac{L}{v \cdot 3600}, \quad (35)$$

де  $v$  - швидкість всмоктування у вхідному перерізі панелі.

Для витяжного ковпака з панеллю С.А. Чернобережського, який зображено на рисунку 28, швидкість всмоктування повітря складає  $v=0,7$  м/с. Таким чином, площа перерізу всмоктуючої панелі складе:

$$F_{II} = \frac{2000}{0,7 \cdot 3600} = 0,8 \text{ м}^2. \quad (36)$$

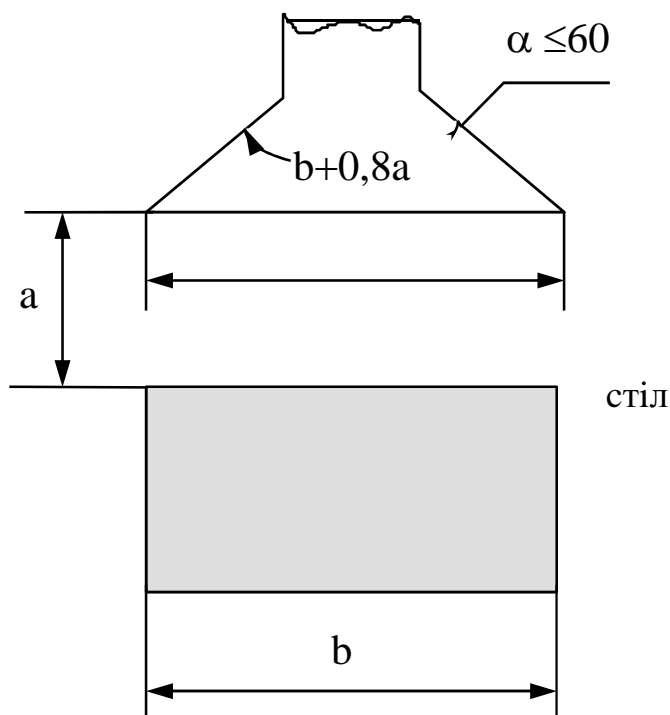


Рисунок 28 – Ескіз витяжного ковпака з панеллю С.А. Чернобережського

Для того, щоб забезпечити таку площу перерізу всмоктуючої панелі, лінійні розміри прямокутного перерізу становитимуть 0,845 x 0,95м. Нахил всмоктуючої панелі по відношенню до поверхні стола становить 40 - 45°.

## **6.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях на малому підприємстві по виробництву автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів**

Як свідчить аналіз надзвичайних ситуацій за останні 5–8 років, значна кількість різноманітних надзвичайних ситуацій виникає на об'єктовому рівні. До нього належать і невеликі (малі) підприємства, установи, організації, заклади (далі - підприємства) з чисельністю працівників 50 осіб і менше у сфері виробництва, логістики, торгівлі, освіти та науки, медицини, розважальної індустрії тощо.

Від ефективності розроблення та впровадження в життя заходів із запобігання та ліквідації надзвичайної ситуації в разі її виникнення залежатиме життя та здоров'я персоналу та відвідувачів цих підприємств і розміри заподіяної шкоди.

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, підготовка персоналу на підприємствах незалежно від форм власності до дій у надзвичайних ситуаціях здійснюється за спеціально розробленою схемою заходів захисту населення та територій.

Для великих і малих підприємств система заходів захисту від надзвичайних ситуацій включає:

- планування та здійснення необхідних заходів для захисту своїх працівників, об'єктів господарювання;
- розроблення планів локалізації та ліквідації аварій з подальшим погодженням з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;
- підтримання у готовності до застосування сил і засобів із запобігання виникненню та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- створення та підтримання матеріальних резервів для попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій;
- забезпечення своєчасного оповіщення своїх працівників про загрозу виникнення або при виникненні надзвичайної ситуації.

Наведені вище заходи мають загальний характер, вони не повністю враховують специфіку діяльності конкретного підприємства, чисельність працівників, обсяг і вид виробництва тощо.

Основною особливістю дій малих підприємств при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій є в першу чергу захист персоналу та відвідувачів.

Виходячи з цього, ст. 130 Кодексу цивільного захисту України передбачає, що на підприємствах з чисельністю персоналу 50 осіб і менше розробляються та затверджуються інструкції щодо дій при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій.

Крім того, у сфері промислового виробництва до малих підприємств можуть бути віднесені і такі, де чисельність працівників перевищує 50 осіб. Інструкції для таких підприємств розроблюються за рішенням відповідного територіального органу Держслужби України з надзвичайних ситуацій.

Розроблена інструкція не повинна суперечити положенням та вимогам Кодексу цивільного захисту України.

Інструкція розробляється та підписується посадовою особою підприємства з питань цивільного захисту, затверджується керівником підприємства та доводиться до всіх працівників під підпис.

Крім Інструкції, на малому підприємстві розробляється План евакуації при пожежі або загрозі вибуху. Особливо це важливо для тих об'єктів, на території яких може знаходитись значна кількість відвідувачів.

Деякі конкретні заходи, не відображені в нормативних документах підприємства, потребують внесення до посадових інструкцій працівників. Крім того, на малому підприємстві необхідно розробляти й доводити до всіх працівників Порядок цілодобового оповіщення керівництва та працівників у випадку загрози або виникнення надзвичайної ситуації.

Всі працівники підприємства повинні бути навчені діям, чітко знати свої обов'язки та неухильно їх виконувати. Це також стосується адміністрації малого підприємства, яка в екстремальній обстановці не може приймати помилкові рішення або віддавати необґрунтовані розпорядження.

Уникнути цього дозволить якісно розроблена Інструкція щодо дій персоналу малого підприємства при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій, наведена нижче.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблена та досліджена автоматизована система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів, що складається з фотоелектричних модулів, дизельгенератора, акумуляторних батарей, суперконденсаторних батарей, перетворювача постійного струму у постійний струм та інвертора.

На відміну від описаних вище відомих підходів, в кваліфікаційній роботі визначальними ідеями для збільшення ефективності автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів є:

- контроль відбору енергії від фотоелектричних модулів завдяки забезпечення їх генерації в точці максимальної потужності та позиціонування фотоелектричних модулів під кутом  $90^\circ$  до падаючого сонячного випромінювання;

- збільшення тривалості експлуатації акумуляторних батарей завдяки використанню багатостадійного процесу заряду, розробка системи активного балансування напруги акумуляторних батарей, що вирівнюватиме напругу окремих акумуляторних батарей постійно з самого початку процесу заряду, контроль розряду та температурного режиму роботи акумуляторних батарей;

- моделювання та розроблення методу компенсації пікових струмів навантаження за допомогою суперконденсаторних батарей, які характеризуються низькими активними опорами, великими зарядними і розрядними струмами, а також великою кількістю розрядно-зарядних циклів, що значно перевищує акумуляторних батарей;

- узгодження роботи джерел енергії та навантаження, мінімізація втрат при перетворенні та розподілу енергії;

- використання апарату математичного та імітаційного моделювання автоматизованої системи електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів.

Автоматизована система електроживлення мобільної установки переробки пластикових відходів працює за наступним принципом: вся перетворена фотоелектричними модулями сонячна енергія подається в систему

електропостачання для живлення навантажень змінного струму через інвертор номінальною змінною напругою 220 В.

У випадку, коли одержуваної від фотоелектричних модулів електричної енергії занадто багато для живлення навантажень, її надлишок буде перенаправлено на заряд акумуляторних батарей та суперконденсаторних батарей акумуляторних батарей та суперконденсаторних батарей, в основному, буде використовуватися для надійного забезпечення необхідної потужності у випадку недостатнього рівня інсоляції сонячного випромінювання.

Потік електроенергії акумуляторної системи регулюється за допомогою двонаправленого перетворювача постійного струму. Також передбачено можливість заряд акумуляторних батарей і живлення навантаження від дизельгенератора у випадку нестачі або відсутності сонячної та акумуляованої енергії.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Berbaoui, B. Performance investigation of a hybrid PV□diesel power system for remote areas // International Journal of Energy Research, Vol. 43, Issue 2, February 2019. - P. 1019-1031.
2. Oviroh, P.O.; Jen, T.-C. The Energy Cost Analysis of Hybrid Systems and Diesel Generators in Powering Selected Base Transceiver Station Locations in Nigeria // Energies, Vol. 11, Issue 3, March 2018. - P. 687-707.
3. Nayak, A.; Kasturi, K.; Nayak, M.R. Cycle-charging dispatch strategy based performance analysis for standalone PV system with DG & BESS // In Proceedings of the 2018 Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP), Bhubaneswar, India, 28–30 March 2018; P. 1–5.
4. Akbar Maleki A. Modeling and optimum design of an off-grid PV/WT/FC/diesel hybrid system considering different fuel prices // International Journal of Low-Carbon Technologies, Volume 13, Issue 2, June 2018, Pages 140–147.
5. Chih-Ta Tsai; Ting-Wei Shen; Yi-Ping Chen; Ping-Hsuan Hsu. Control Strategy of PV/Diesel/Battery Hybrid System for Island-based Microgrid // In Proceedings of the 2018 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C), Taichung, Taiwan, 6–8 December 2018; P. 121–124.
6. Tripathi P.; Momtaz Ansari M.; Khan M. J.; Yadav S. Modelling of Energy Efficient PV-Diesel-Battery Hybrid system // In Proceedings of the 2018 International Conference on Computational and Characterization Techniques in Engineering & Sciences (CCTES), Lucknow, India, 14-15 September 2018.
7. Khan A.; Khan R. Cost Optimization of Hybrid Microgrid using Solar PV, Fuel Cell and Diesel Generator in HOMER // // In Proceedings of the 2018 International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE), Lahore, Pakistan, 16-17 October 2018; P. 14-18.

8. Al-Bahadly. Portable Multi-Inputs Renewable Energy System for Small Scale Remote Application / Journal of Power and Energy Engineering, Vol. 6, Issue 2, February 2018. - P. 59-73.
9. M. Garside, <https://www.statista.com/statistics/282732/global-productionof-plastics-since-1950/> for “Global Plastic Production” (last accessed August 11, 2020).
10. National Oceanic and Atmospheric Administration, see <https://oceanservice.noaa.gov/hazards/marinedebris/plastics-in-the-ocean.html> for “A Guide to Plastic in the Ocean” (last accessed August 19, 2020).
11. United State Environmental Protection Agency, see [https://www.epa.gov/factsand-figures-about-materials-waste-and-recycling/ plastics-material-specific-datafor](https://www.epa.gov/factsand-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-datafor) “Plastics: Material-Specific Data, 2017” (last accessed August 19, 2020).
12. I. Vollmer, M. J. F. Jenks, M. C. P. Roelands, R. J. White, T. van Harmelen, P. de Wild, G. P. van Der Laan, F. Meirer, J. T. F. Keurentjes, and B. M. Weckhuysen, “Beyond mechanical recycling: Giving new life to plastic waste”, *Angew. Chem. Int. Ed.* 59, 15402–15423 (2020).
13. C. Jia, S. Xie, W. Zhang, N. N. Intan, J. Sampath, J. Pfaendtner, and H. Lin, “Deconstruction of high-density polyethylene into liquid hydrocarbon fuels and lubricants by hydrogenolysis over Ru catalyst”, *Chem Catal.* 1, 437–455 (2021).
14. H. Choi and J. S. Kwon, “Multiscale modeling and multiobjective control of wood fiber morphology in batch pulp digester”, *AIChE J.* 66, e16972 (2020).
15. S. H. Son, H. Choi, and J. S. Kwon, “Multiscale modeling and control of pulp digester under fiber-to-fiber heterogeneity”, *Comput. Chem. Eng.* 143, 107117 (2020).
16. R. Verma, K. S. Vinoda, M. Papireddy, and A. N. S. Gowda, “Toxic pollutants from plastic waste-a review”, *Procedia Environ. Sci.* 35, 701–708 (2016).
17. M. Rehan, R. Miandad, M. A. Barakat, I. M. I. Ismail, T. Almeelbi, J. Gardy, A. Hassanpour, M. Z. Khan, A. Demirbas, and A. S. Nizami, “Effect of zeolite catalysts on pyrolysis liquid oil”, *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 119, 162–175 (2017).

18. M. S. Qureshi, A. Oasmaa, H. Pihkola, I. Deviatkin, A. Tenhunen, J. Mannila, H. Minkkinen, M. Pohjakallio, and J. Laine-Ylijoki, "Pyrolysis of plastic waste: Opportunities and challenges", *J. Anal. Appl. Pyrolysis*148, 104804 (2020).
19. B. B. Uzoejinwa, X. He, S. Wang, A. E. Abomohra, Y. Hu, and Q. Wang, "Copyrolysis of biomass and waste plastics as a thermochemical conversion technology for high-grade biofuel production: Recent progress and future directions elsewhere worldwide", *Energy Convers. Manag.*163, 468–492 (2018).
20. R. Xiao, W. Yang, X. Cong, K. Dong, J. Xu, D. Wang, and X. Yang, "Thermogravimetric analysis and reaction kinetics of lignocellulosic biomass pyrolysis", *Energy* 201, 117537 (2020).
21. S. Colantonio, L. Cafiero, D. De Angelis, N. Ippolito, R. Tuffi, and S. V. Cipriotti, "Thermal and catalytic pyrolysis of a synthetic mixture representative of packaging plastics residue", *Front. Chem. Sci. Eng.*14, 288–303 (2020).
22. E. A. Williams and P. T. Williams, "Analysis of products derived from the fast pyrolysis of plastic waste,"*J. Anal. Appl. Pyrolysis*40, 347–363 (1997).
23. R. Miandad, M. Rehan, M. A. Barakat, A. S. Aburiazaiza, H. Khan, I. M. I. Ismail, J. Dhavamani, J. Gardy, A. Hassanpour, and A. Nizami, "Catalytic pyrolysis of plastic waste: Moving toward pyrolysis based biorefineries", *Front. Energy Res.*7, 27 (2019).
24. Мартинюк В.В. Системний аналіз та моделювання процесів електроживлення автоматизованої мобільної установки переробки пластикових пляшок у дизельне паливо / В.В. Мартинюк, Г.І. Радельчук, А.С. Каштальян, Я.В. Вержбицький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2020. – №1. – С. 111 – 116.
25. Пат. 21712 Україна, МПК С08J 11/00. Спосіб переробки полімерних відходів / К.М. Малецький. – u 200613590; заяв. 21.12.2006; опубл. 15.03.2007, Бюл. №3.
26. Пат. 37986 Україна, МПК С10L 1/08. Застосування вуглеводню додекану хімічної формули  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{CH}_3$  як замітника дизельного палива "полієвродизель" / К.М. Малецький. – u 200807713; заяв. 06.06.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. №23.

27. Пат. 89127 Україна, МПК C10L 1/08. Застосування вуглеводню додекану структурної формули  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{CH}_3$  як замітника дизель-ного палива / К.М. Малецький. – а 200807673; заяв. 05.06.2008; опубл. 25.12.2009, Бюл. №24.
28. Григораш О.В., Степура Ю.П., Сулейманов Р.А. и др. Возобновляемые источники электроэнергии. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 272 с.
29. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. – М.: Энергоатомиздат. – 2008. – 231 с.
30. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – М.: КНОРУС, 2010. – 232 с.
31. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. и др. Возобновляемые источники электроэнергии: термины, определения, достоинства и недостатки // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – №32. – С. 189 – 192.
32. Пат. 116473 Україна, МПК (2012) H02M 7/42. Спосіб збільшення енергії в опорі навантаження в електричному колі з постійною електрорушійною силою / В. Д. Косенков, В. В. Мартинюк. – и 201611701; заяв. 21.11.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. №10.