

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на
транспорті

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

_____ магістр

(освітній ступінь)

на тему: «Підвищення ефективності комбінованих автономних систем
електропостачання з відновлювальними джерелами енергії»

Виконав: студент __ курсу, гр. ЕПА-18м
галузь знань 14 – Електрична інженерія
спеціальність 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електромеханічні системи
автоматизації та електропривод»

_____ Кметюк О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____ Паянок О.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті
Освітній ступінь магістр
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

д.т.н., проф.

В. М. Кутін

“___” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кметюк Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії

керівник роботи Паянок Олександр Анатолійович, к.т.н., доц. каф. ЕМСАПТ

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “___” _____ 20__ року №___

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: номінальна потужність вітроенергетичної установки – 15 кВт, швидкість вітру – 10.5 м/с, швидкість вітру при пориві – 25 м/с, ККД електричний – 0.9, ККД механічний – 0.97, тип системи електропостачання – комбінована автономна, елементи системи – ВЕУ, ФЕС, ДЕС.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1 Загальна характеристика систем електропостачання на основі вде. 2 Обґрунтування та розробка структури комбінованої фото-вітроелектричної системи. розрахунок потужності системи електропостачання. 3 Техніко-економічне обґрунтування впровадження комбінованої системи електропостачання. 4 Вибір та розрахунок елементів комбінованої автономної системи електропостачання. 5 Вибір АКБ, інвертора та контролера заряду АКБ. 6 Розробка схеми електричної функціональної та структурної електротехнічного комплексу касеп. 7 Розробка схем електричних принципів модулів електротехнічного комплексу КАСЕП на основі відновлювальних джерел енергії. 8 Оптимізація структури та режимів роботи енергетичного обладнання. 9 Моделювання елементів системи КАСЕП в ППП Matlab Simulink. 9 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

1 Мета, задачі та об'єкт дослідження. 2 Загальна характеристика систем ЕП на основі ВДЕ. 3 Обґрунтування та розробка структури КАСЕП. 4 Розрахунок потужності системи КАСЕП. 5 ТЕО системи КАСЕП. 6 Розрахунок потужності, вибір двигуна ЕП ВЕУ 7 Вибір елементів КАСЕП. 8 Обґрунтування та вибір стрінгових інверторів. 9 Структурна схема побудови керованого випрямляча ВЕУ. 10 Схема електрична функціональна системи КАСЕП. 11 Схема електрична принципова системи КАСЕП. 12 Схема електрична принципова ФЕС. 13 Блок-схема

алгоритму оптимізації структури та режимів роботи КАСЕП. 14. Моделювання перехідних процесів ВЕУ. 15 Моделювання перехідних процесів ФЕС. 16. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. ЕПСАПТ Паянок О.А.		
Економічна частина	Мельничук Л.М. к.е.н., доц. каф. ЕПСАПТ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економічна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Рецензування МКР		
9	Захист МКР		

Студент

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кметюк О.С. «Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії». Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 117с. Бібл.: 29, Іл.: 21, Табл.: 19.

Обґрунтовано розробку структури КАСЕП. Розраховано потужності системи комбінованої системи автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії, визначено характеристики основних елементів системи КАСЕП. Розроблено схеми електричні структурні та принципові комбінованого автономного електротехнічного комплексу та блок-схему алгоритму оптимізації режимів його роботи. Методом комп'ютерного моделювання досліджено динамічні характеристики системи КАСЕП. Визначено основні положення щодо безпечної експлуатації ЕТК в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, ВЕУ, ФЕС, дизельна електростанція, інвертор, система моніторингу, моделювання, схема принципова.

АННОТАЦИЯ

Кметюк А.С. «Повышение эффективности комбинированных автономных систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии». Магистерская квалификационная работа. – Винница: ВНТУ, 2019. – 117с. Библ.: 29, Ил.: 21, Табл.: 19.

Обоснована разработка структуры КАСЭП. Рассчитано мощности системы Комбинированной системы автономного электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии, определили характеристики основных элементов системы КАСЭП. Разработаны схемы электрической структурные и принципам комбинированного автономного электротехнического комплекса и блок-схему алгоритма оптимизации режимов его работы. Методом компьютерного моделирования исследовано динамично характеристики системы КАСЭП. Определили основные положения безопасной эксплуатации ЭТК в условиях действия вредных источников окружающей среды.

Ключевые слова: электротехнический комплекс, ВЭУ, ФЭС, дизельная электростанция, инвертор, система мониторинга, моделирование, схема принципиальная.

ABSTRACT

Kmetyuk O.S. «Improved autonomous systems combined electricity from renewable energy sources». Master's qualification work. – Vinnytsia: VNTU, 2019 – 117 p. Byblos.: 29, Table 19, IL.:21.

KASEP structure development studies. Calculated power system combined system of autonomous power from renewable energy sources, identified characteristics of the main system elements KASEP. The schemes electrical and structural principles of the combined and independent electrical complex flowchart algorithm optimization of its work. The method of computer modeling studied the dynamic characteristics of KASEP. The basic provisions for the safe operation of ETK in terms of harmful environmental factors.

Keywords: Electrical Complex, wind turbines, FES, diesel power, inverter, monitoring system design, circuit schematic.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ВДЕ.....	9
1.1 Аналіз можливості застосування установок відновлюваної енергетики в автономних системах електроспоживання	9
1.2 Переваги та бар'єри застосування ВДЕ	14
1.3 Формування вимог, які пред'являються до комбінованих систем автономного електропостачання.....	16
2 ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРИ КОМБІНОВАНОЇ ФОТО-ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	17
2.1 Загальні положення про системи із використанням технологій відновлювальної енергетики.....	17
2.2 Обґрунтування та вибір структури системи КАСЕП.....	18
2.3 Визначення потенційних витрат електронергії автономним споживачем.....	20
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	23
3.1 Технічне обґрунтування вибору складових системи КСАЕП.....	23
3.2 Економічне обґрунтування вибору складових системи КСАЕП.....	25
4 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОМБІНОВАНОЇ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	33
4.1 Розрахунок потужності та параметрів генератора ВЕУ	33
4.2 Вибір типу генератора ВЕУ	35
4.3 Розрахунок параметрів фотогальванічної електростанції (ФЕС).....	37
4.4 Деталізація характеристик та вибір ДЕС системи КСАЕП.....	44
5 ВИБІР АКБ, ІНВЕРТОРА ТА КОНТРОЛЕРА ЗАРЯДУАКБ.....	47
5.1 Вибір проміжного накопичувача енергії	47
5.2 Вибір мережевого інвертора ВЕУ	49

	4
5.3 Вибір контролера заряду АКБ ВЕУ	50
5.4 Вибір стрінгових інверторів ФЕС 10 кВ.....	51
6 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА СТРУКТУРНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ КАСЕП	53
7 РОЗРОБКА СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИНЦИПОВИХ МОДУЛІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ КАСЕП НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	56
8 ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	61
9 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ КСАЕП В ППП МАТЛАБСІМУЛІНК.....	64
9 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
ВИСНОВКИ.....	89
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	90
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання.....	94
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	99

ВСТУП

Енергія – основа високого рівня життя розвинутої економіки і національної безпеки сучасних держав.

У всьому світі в галузі енергетики на сьогоднішній день існує тенденція широкого застосування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Особливо актуальним вважається використання їх для електрифікації сільського господарства, що, в першу чергу, обумовлюється особливостями попиту на електроенергію сільськогосподарськими споживачами і можливостями вироблення її генераторами, які використовують ПДЕ[1-3].

Що ж змушує більшість країн світу займатися проблемою використання ВДЕ на державному рівні? Таких причин багато, наприклад:

1. зменшення залежності від імпорту органічного палива, в основному нафти і газу;
2. необхідність зниження негативного впливу енергетики на навколишнє середовище;
3. невичерпність і доступність поновлюваних енергоресурсів;
4. можливість диверсифікації діяльності великих нафтових, газових і електроенергетичних компаній;
5. можливість застосування і розвитку наукоємних технологій [1-3];

Впровадженню відновлюваної енергетики на території країни перешкоджають значні бар'єри, серед яких виділяються: психологічний, економічний, технологічний і інформаційний бар'єри.

Одна з найважливіших проблем – забезпечення електропостачання віддалених сільських районів, що знаходяться за межами централізованого електропостачання. Крім того, в цих районах селяни живуть на великих відстанях один від одного через те, що зазвичай у кожного фермера є свій будинок на своїй землі. Будівництво ліній електропередачі в ці райони має високу вартість і це змушує деяких фермерів використовувати дизель-генератори, щоб забезпечити електропостачання житлового будинків, що

призводить до забруднення навколишнього середовища. Тому використання поновлюваних джерел енергії в цих районах є найкращим виходом [4].

Виключно важливі проблеми впливу паливно-енергетичного комплексу на навколишнє середовище. У міру збільшення виробництва енергії в світі гострота екологічних проблем буде зростати. Це змушує вже зараз думати про доцільність широкого використання екологічно чистих відновлюваних джерел енергії [5].

Актуальність теми. Енергетичні проблеми – одні з найважливіших світових проблем сучасності, вони зачіпають безпосередньо країни, що розвиваються. Недостатність виробництва електроенергії, її дорожнеча стримують не тільки створення промисловості і переробних галузей в сільському господарстві країни, а й соціальний розвиток. Останнім часом проблеми енергетики стали привертати увагу не тільки фахівців, але і представників інших галузей науки і техніки. Проблеми забезпечення енергією пов'язані з ростом питомого енергоспоживання на душу населення, обмеженими запасами найбільш якісного і зручного органічного палива – нафти і природного газу, нерівномірністю його територіального розподілу, погіршенням природно-географічних умов їх видобутку, глибокою диспропорцією в світовій системі видобутку, розподілу і споживання енергії .

Впровадження технологій відновлюваної енергетики при раціональному використанні може надати допомогу в енергозабезпеченні районів з недостатньою паливною базою і поганими транспортними умовами; вирішити проблему ефективного використання споживаних ресурсів і залучення в енергетичний баланс регіонів невикористовуваних джерел енергії та ресурсів; поліпшити екологічну обстановку в місцях виробництва електричної енергії, що буде сприяти прискореному економічному розвитку регіонів і поліпшення соціально-побутових умов життя населення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася відповідно до наукового напрямку кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

ВНТУ.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в розрахунку та виборі складових елементів комбінованої системи автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії з техніко-економічним обґрунтуванням впровадження в експлуатацію при значеннях потенціалу Вінниччини.

До **задач** магістерської кваліфікаційної роботи можна віднести:

- аналіз існуючих комбінованих систем автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії;
- техніко-економічний розрахунок впровадження комбінованої системи автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії;
- розрахунок та вибір оптимальних елементів комбінованої системи автономного електропостачання;
- розробка схеми електричної структурної електротехнічного комплексу комбінованої автономної системи електропостачання;
- розробка схем електричних принципів модулів електротехнічного комплексу комбінованої автономної системи електропостачання;
- розробка алгоритму оптимізацій структури та режимів роботи енергетичного обладнання системи КАСЕП;
- розробка комп'ютерної моделі комбінованої системи автономного електропостачання.

Об'єкт дослідження є процеси перетворення енергії в комбінованій автономній системі електропостачання з відновлювальними джерелами енергії.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити ефективність комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ).

Методи дослідження засновані на використанні методів теорії електричних машин, теорії управління, методів синтезу нелінійних систем управління, теорії та методів математичного моделювання, методів системних досліджень в енергетиці.

Наукова новизна одержаних результатів.

Розроблено схеми електричні структурні та принципові комбінованої автономної системи електропостачання з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ) та алгоритм її роботи, в яких на відміну від існуючих дозволяють оптимізувати режими роботи структурних одиниць комбінованої енергетичної системи з метою підвищення її ефективності.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає в наступному:

- здійснено вибір та розрахунок елементів комбінованої автономної системи електропостачання, а саме: тип генератора ВЕУ, елементи фотогальванічної електростанції, проміжного накопичувача енергії, контролера заряду та інверторів ВЕУ та ФЕС;

- розроблено алгоритм функціонування системи КАСЕП;

- розроблено схеми електричні структурні та принципові функціонування системи КАСЕП.

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2019).

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ВДЕ

1.1 Аналіз можливості застосування установок відновлюваної енергетики в автономних системах електроспоживання

Впровадження в децентралізованих регіонах нових технологій, заснованих на використанні природних відновлювальних ресурсів, може в значній мірі вирішити проблему енергозабезпечення децентралізованих зон, знизити витрати бюджету на завезення палива для дизельних електростанцій (ДЕС), підвищити надійність забезпечення населення електрикою і теплом.

З усіх відомих технологій відновлюваної енергетики найбільші перспективи практичного використання в системах електропостачання децентралізованих споживачів мають вітроенергетичні установки (ВЕУ) і фотоелектричні станції (ФЕС) (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ)

Географічні особливості розташування децентралізованих зон, слабо розвинена транспортна інфраструктура, відсутність великих промислових

підприємств, відносно невеликі встановлені потужності об'єктів електропостачання практично виключають можливість корисного використання відновлюваної енергії океану і геотермального тепла земної кори [2].

Можливості використання міні (мікро)-ГЕС (рисунок 1.2) сильно обмежені суворими кліматичними умовами, характерними для більшості децентралізованих районів електропостачання. Крім того, місце розміщення мікро-ГЕС строго прив'язане до первинного джерела гідравлічної енергії, яке далеко не завжди збігається з місцем розташування об'єкта електрифікації, а транспортування невеликих обсягів електроенергії на значні відстані в більшості випадків технічно і економічно недоцільна.

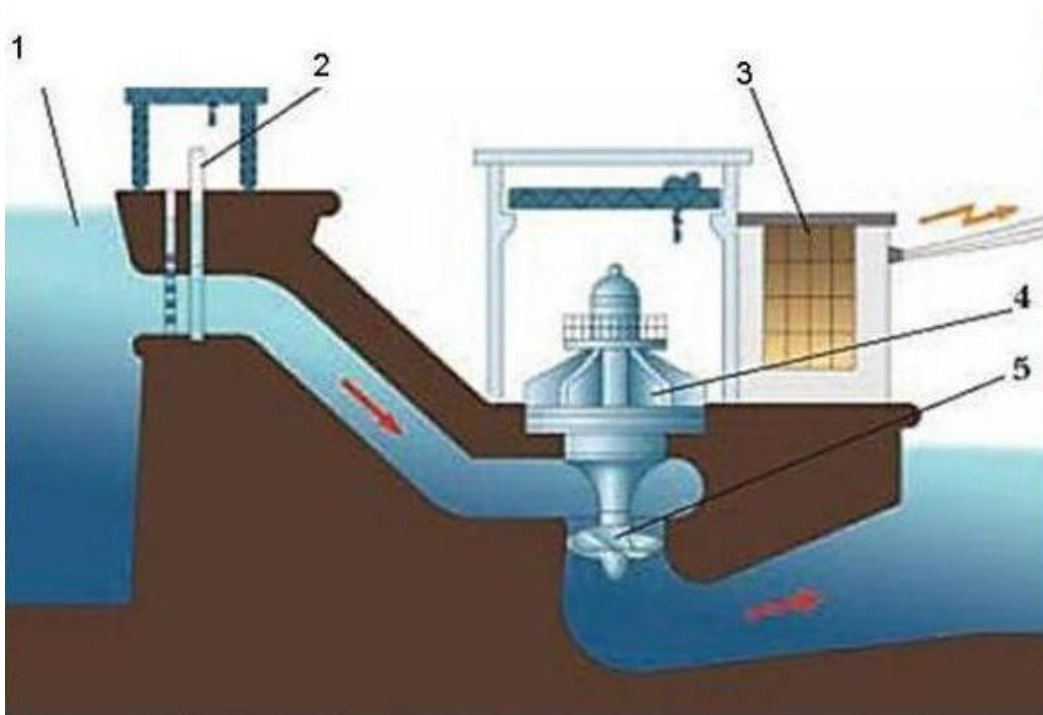


Рисунок 1.2 – Схема влаштування міні-ГЕС:

- 1 – водосховище, річка, водойма;
- 2 – затвір; 3 – трансформаторна підстанція;
- 4 – гідроенергетичний агрегат; 5 – гідравлічна турбіна

В якості альтернативного варіанту виробництва електроенергії в децентралізованих зонах можуть знайти практичне застосування і все більш

поширені в останні роки технології малої біоенергетики. Однак, технології виробництва електричної енергії з біомаси тісно прив'язані до процесів життєдіяльності населення, пов'язаних з можливістю отримання первинного енергоносія і є в більшості випадків індивідуальними.

Найбільш універсальними технологіями малої відновлюваної енергетики, які вдало поєднуються з представленими вище особливостями децентралізованих районів енергозабезпечення, є технології прямого перетворення енергії сонячного випромінювання і повітряного потоку в електроенергію. Основними перевагами ВЕУ і ФЕС є доступність і повсюдне поширення первинного поновлюваного енергоресурсу, можливість їх максимального наближення до об'єктів електропостачання, широкий діапазон потужностей, на основі яких серійно випускаються енергетичні установки [6-7].

Основною технічною проблемою, яка стримує практичне застосування ВЕУ і ФЕС в комбінованих системах автономного електропостачання (КСАЕП) децентралізованих споживачів, є велика мінливість та значна непостійність енергії первинного енергоносія. Для надійного забезпечення споживача електричною енергією потрібно гарантоване джерело живлення, в якості якого можуть використовуватися ДЕС і / або буферний накопичувач енергії (рисунок 1.3).

Таким чином, практичне впровадження технологій відновлюваної енергетики в райони децентралізованого електропостачання України доцільно проводити, використовуючи в якості базового гарантованого джерела електроживлення існуючі та ті, що знаходяться в експлуатації ДЕС. Це дозволить при мінімальних фінансових витратах отримати відчутний економічний і соціальний ефект. Існуючі дослідження показують, що можна значно підвищити ефективність комбінованої автономної енергетичної системи, побудованої на базі ДЕС, ВЕУ і ФЕС, введенням до її складу буферного накопичувача енергії (БНЕ) або іншими словами – використання акумуляторних батарей.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд ДЕС

Це пояснюється тим, що енергетичні характеристики автономної системи електропостачання, що використовує ВДЕ, багато в чому залежать від ступеня корисного використання енергії первинного поновлюваного енергоносія, а вихідні енергетичні характеристики ВЕУ і ФЕС безпосередньо залежать від величини їх навантаження.

Отже, для максимально корисного використання первинної енергії вітру і сонячного випромінювання в замкнутій енергетичній системі необхідним є спеціалізований пристрій керування, який має забезпечувати регулювання величини навантаження ВЕУ і ФЕС за певними законами, при цьому забезпечуючи запас енергії, що генерується в періоди її надлишків, і віддачу в періоди нестачі.

Щодо фотоелектричних станцій. Сьогодні все більш широке застосування в різних країнах знаходять фотоелектричні перетворювачі (ФЕП). Більше 90% ринку – це ФЕП на основі полі-і моно-кристалічного кремнію, модулі яких мають ККД 15-17%. В умовах середніх широт такі фотоелектричні установки можуть виробляти 120-200 кВт год / м² рік.

Фотоелектричні СЕС (див. рисунок 1.4) мають велику привабливість для інвесторів, оскільки вони модульного типу і тому не вимагають великих початкових капітальних вкладень. При пуску модуля СЕС в експлуатацію він негайно починає повертати інвестиції, тому витрати і повернення інвестицій можна планувати протягом всього періоду будівництва СЕС.



Рисунок 1.4 – Фотоелектрична станція

Перевагою фотоелектричних СЕС є низькі експлуатаційні витрати 0,07 цента/кВт.год, вони не вимагають води для роботи і можуть встановлюватися в гірській місцевості, на дахах і фасадах будівель, в пустелях і в країнах з вологим тропічним кліматом. Концентратори збільшують ефективність СЕ і призводять до зниження вартості дорогого напівпровідникового матеріалу на одиницю потужності, однак при цьому виникають додаткові витрати на виробництво концентраторів систем охолодження СЕ і систем стеження.

Напрямки подальшого розвитку передбачають зниження витрат матеріалів на опорні конструкції, дзеркальні відбивачі, системи охолодження і напівпровідникові СЕ і підвищення оптичного і електричного ККД СЕС.

У багатьох дослідницьких центрах ведуться роботи, спрямовані на підвищення ККД ФЕП за рахунок створення шарових (каскадних) структур, що забезпечують більш повне перетворення енергії сонячного випромінювання в усьому його спектрі, а також на зниження вартості напівпровідникових матеріалів і ФЕП в цілому за рахунок застосування тонкоплівкових структур і використання концентраторів сонячного випромінювання. Сучасні технології напівпровідникової електроніки і нанотехнології дозволять збільшити ККД МСЕ в найближчі роки до 30-35% і знизити вартість фотоелектричних СЕС з концентраторами і кремнієвими СЕ.

1.2 Переваги та бар'єри застосування ВДЕ

Перевагами використання ВДЕ є:

1. Забезпечення сталого автономного електропостачання. Існують нові сільськогосподарські землі. Приблизно половина цієї землі розташована поза межами централізованої мережі. Для того, щоб забезпечувати електропостачання для цих ферм або приватних господарств, що знаходяться поза мережею, потрібно використовувати автономні системи електроживлення;

2. Поліпшення екологічних показників систем електропостачання:

- генерування електроенергетики від ВДЕ призводить до зниження викидів парникових газів від енергетики, на викопному паливі;
- збереження запасів власних енергоресурсів для майбутніх поколінь;
- збільшення споживання сировини для неенергетичного використання палива.

Бар'єри використання ВДЕ є:

1. Економічні бар'єри. Висока вартість обладнання завжди є основною перешкодою розвитку ВДЕ. Однак слід зазначити, що ціна за 1 кВт.год електроенергії з поновлюваних джерел енергії буде зменшуватися за рахунок

освоєння нових технологій завдяки широкому виробництву і впровадженню таких систем.

2. Науково-технічні бар'єри. Відсутність за деякими видами ВДЕ готових систем енергопостачання, низький рівень стандартизації і сертифікації обладнання, нерозвиненість інфраструктури, відсутність обслуговуючого персоналу, недостатній обсяг науково-технічних і технологічних розробок, недостатній рівень технічних знань організацій, які приймають рішення.

3. Інформаційні бар'єри. Слабка поінформованість населення, керівників і громадськості про можливості ВДЕ. Відсутність широко поставленої пропаганди по радіо, телебаченню і в пресі можливостей і переваг ВДЕ. Відсутність відомостей про позитивні приклади використання. Відсутність кадрів інвесторів і техніків, знайомства з технологією ВДЕ[1-3].

1.3 Формування вимог, які пред'являються до комбінованих систем автономного електропостачання

Проведений вище порівняльний аналіз характеристик установок відновлювальної енергетики показав, що основними технічними проблемами автономних систем електропостачання, що використовують енергоустановки відновлюваної енергетики, є:

1. Мінливість в часі енергії первинного енергоносія і стохастичний характер навантаження споживача. Тобто потрібне гарантоване джерело живлення, яке забезпечує споживача електроенергією в періоди відсутності або недостатності первинного поновлюваного енергоресурсу.

2. Співвимірність потужностей генеруючих джерел і електричного навантаження знижує загальний рівень надійності електропостачання споживачів і негативно позначається на якості генерованої електроенергії. В такому разі необхідне гарантоване джерело живлення, яке забезпечує споживача якісною електроенергією в статичних і динамічних режимах зміни навантаження.

3. Яскраво виражена залежність виробленої потужності генеруючими установками відновлюваної енергетики від параметрів поновлюваного енергоресурсу (для вітроенергетичних установок кубічна залежність вихідної потужності від швидкості вітру) вимагає наявності в енергетичній системі спеціальних пристроїв, що обмежують вихідну потужність, або розсіюють вироблену електроенергію. В такому разі для КАСЕП необхідним є пристрій запасання або акумулювання енергії в періоди пікової потужності первинного енергоносія[7-8].

Висновок: В результаті наповнення розділу були розглянуті особливості застосування відновлюваних джерел електричної енергії, сучасні тенденції їх розвитку, а також вимоги, які пред'являються до комбінованих систем автономного електропостачання.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРИ КОМБІНОВАНОЇ ФОТО-ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Загальні положення про системи із використанням технологій відновлювальної енергетики

Системи з використанням технологій відновлюваної енергетики позбавлені недоліків дизельних електростанцій, проте мають свої особливості. Головна особливість полягає в тому, що сонячні фотоелектричні станції (СФЕС) та вітроелектричні установки (ВЕУ) використовують природні непостійні в часі джерела енергії, що, в свою чергу, позначається на надійності енергопостачання споживача [10].

Це питання вирішується, якщо основні технічні параметри споживання електроенергії визначаються відповідно до найгірших протягом розрахункового періоду року характеристик вітру та приходу сонячної радіації (СР). Однак, з огляду на нестабільність цих джерел енергії, надійність вироблення енергії одиночними СФЕС та ВЕУ всеодно залишиться досить низькою, а підвищення надійності електропостачання досягається за рахунок використання акумуляторних батарей (АБ) великої ємності, розрахованої на декілька днів забезпечення автономності електропостачання споживача за відсутності енергоджерела [7-10]. Ці заходи одночасно з підвищенням рівня надійності електропостачання ведуть до подорожчання автономної системи в цілому, що відбивається на можливій області застосування СФЕС та ВЕУ для автономного електропостачання.

Необхідно підкреслити, що в умовах стабільного рівня приходу СР або швидкості вітру переваги розглянутих систем набувають особливого значення, тобто необхідний в кожному конкретному випадку рівень надійності електропостачання досягається за рахунок менших матеріальних витрат в порівнянні з областями, для яких характерні великі сезонні перепади швидкостей вітру або надходження СР.

2.2 Обґрунтування та вибір структури системи КАСЕП

Основною технічною проблемою, що виникає при практичному використанні установок відновлювальної енергетики в складі енергетичних систем, є необхідність узгодження режимів виробництва і споживання енергії. Співрозмірність потужностей генеруючих джерел і споживачів в автономних системах електропостачання призводить до погіршення якості вихідної напруги в періоди піків електричного навантаження, неефективного використання природної відновлюваної енергії, знижує загальний рівень надійності електропостачання споживачів.

Більшість пропонованих на ринку автономних енергетичних систем, що використовують відновлювальні джерела енергії (ВДЕ), є технічно закінченими виробами, адаптованими під строго певний тип енергетичного обладнання, не допускають розширення їх функціональних можливостей та нарощування потужностей за рахунок підключення нових генеруючих установок. Така ситуація обумовлена головним чином через те, що параметри генерованої установками відновлюваної енергетики електроенергії істотно розрізняються за основними технічними показниками, таким як рід струму, частота і величина вихідної напруги.

Запропонована на рисунку 2.1 структурна блок-схема комбінованої системи автономного електропостачання є досить такою простою та має певні переваги від реалізації.

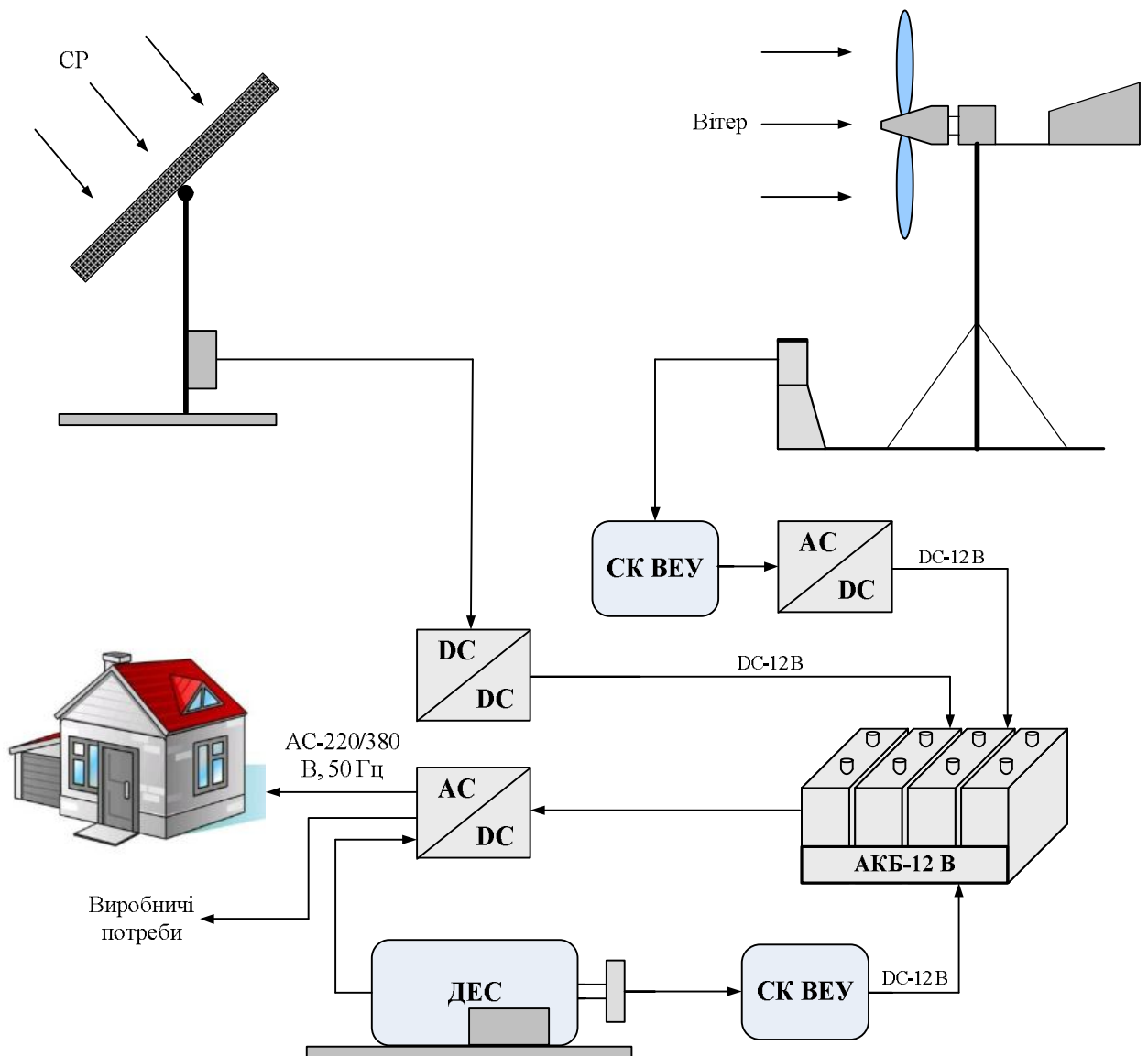


Рисунок 2.1 – Структурна блок-схема системи КАЕП

Комбінована система гарантованого автономного електропостачання включає в себе ВЕУ, фотоелектричні панелі сонячної установки СФЕС та ДЕС з синхронними генераторами з постійними магнітами, випрямні пристрої, об'єднані спільною вставкою по постійному струму, комбінований накопичувач енергії і загальний інверторний вихід для підключення навантаження. Топологія КАЕП може варіюватися з використанням засобів силової електроніки (узгоджувальних DC/DC перетворювачів) з метою мінімізації габаритів і кількості компонентних блоків, в залежності від необхідності нарощування або скорочення генеруючих потужностей.

Застосування вставки (шини) постійного струму дозволяє більш просто підсумовувати та розподіляти потоки енергії від генеруючих джерел і реалізовувати ефективні алгоритми управління цим процесом.

Крім того схема станції зі вставкою на постійному струмі дозволяє використовувати в своєму складі перспективні ДЕС інверторного типу, що забезпечують значну економію дорогого дизельного палива. У той же час, втрати потужності пов'язані з подвійним перетворенням електроенергії силовими конверторами і інверторами, враховуючи високий ККД силової електроніки, будуть незначні. Даний варіант побудови гібридних енергетичних комплексів може застосовуватися при малих і середніх потужностях 1 - 100 кВт споживання.

2.3 Визначення потенційних витрат електронергії автономним споживачем

Типове житло сільського жителя, що не має централізованого електропостачання, являє собою малоповерховий будинок з ділянкою землі, без звичних для нас сучасних зручностей. Це житло має властивості автономності, відносної стійкості, екологічною чистотою, що не відгороджує людину від природного оточення, але і не відповідає в належній мірі санітарно-гігієнічним вимогам.

До уваги в якості об'єкту електропостачання будемо приймати не просто звичайний приватний будинок, а мале фермерське господарство, яке спеціалізується на вирощуванні сільськогосподарських культур та тваринництві. Передбачається, що в такому приватному фермерському господарстві крім звичайного набору електрообладнання, яке має свій власний добовий графік споживання, є також спеціалізоване обладнання та машини для обслуговування потреб господарства.

Для визначення навантажень необхідно знати споживання електроенергії в господарстві протягом року. Обсяг споживання електроенергії влітку відрізняється від обсягу споживання взимку. Необхідну

потужність електропостачання розраховуємо на основі середніх навантажень і середніх годин використання (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 Витрати електроенергії малім фермерським господарством

№ п/п	Електрообладнання	Встановлена номінальна потужність, Вт
1.	Типове навантаження побутового споживання приватного будинку: - холодильник; - кухонне приладдя/пристрої; - телевізори; - пральна машина; - електроінструмент; - бойлер; - освітлення; - насос (водопостачання).	7000
2.	Електричне опалення в розрахунку на опалювальну площу до 50 м ² (в опалювальний сезон).	5500
3.	Майстерня по обслуговуванню транспортних та інших сільськогосподарських засобів та приладдя.	2500
4.	Токарний та столярний верстати, інше електрообладнання.	5500
5.	Млин (виготовлення кормів, круп, сумішей).	3500
6.	Електроспоживання та обслуговування приміщень по розведенню та утриманню сільськогосподарських тварин (корів, телят, свиней).	2800
7.	Виробництво молочної та м'ясної продукції (пастеризатори, преси, дегідратори, печі...)	4500
8.	Інше допоміжне обладнання.	2000
	Разом:	33300
	Коефіцієнт одночасності використання обладнання	0,72
	Загальна розрахункова потужність навантаження	23976

Треба відзначити, що обсяги виробництва електричної енергії установками відновлювальної енергетики (ВЕУ та ФЕС) у зимній період можуть бути суттєво меншими на відміну від літнього періоду. Деякі категорії вказаного в таблиці споживання є відсутніми у літній період, деякі –

відсутні у зимній. Тому загальна розрахована потужність в цілому задовольнятиме нормальним умовам використання системи КАСЕП.

Для подальших розрахунків приймаємо розрахункову загальну потужність комплексної системи автономного електропостачання рівну 25 кВт.

Враховуючи низький ККД сонячних панелей та кубічну залежність вихідної потужності вітроелектричної установки від швидкості вітру приймаємо співвідношення потужностей ВЕУ та ФЕС як 15 кВт та 10 кВт.

Дизельна електростанція відіграє роль основної допоміжної установки на випадок, коли виробленої ВЕУ та СФЕС і акумульованої потужності не буде вистачати електропостачання господарства.

Висновок: Найбільш перспективним варіантом сполучення різнотипних енергетичних установок в одній енергетичній системі є використання проміжної вставки постійного струму. Застосування такого підходу має великі перспективи: комбінований енергетичний комплекс будується по агрегатному принципом, легко масштабується і при необхідності перебудовується. Розраховано потенційні витрати електронергії на прикладі фермерського господарства.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Технічне обґрунтування вибору складових системи КАСЕП

Однією з головних особливостей розроблюваної електростанції є її здатність забезпечити гарантоване електропостачання автономного споживача і дати йому можливість користуватися домашніми побутовими приладами.

До електричних генераторів, що застосовуються в вітроенергетичних установках, пред'являються особливі вимоги, що враховують особливість їх роботи. Однією з найважливіших особливостей є те, що генератор приводиться в обертання вітроколесом, швидкісний режим якого залежить від швидкості вітру і є непостійним [13].

В умовах мінливої швидкості вітру необхідно забезпечення необхідних характеристик генератора в широкому діапазоні швидкостей обертання, що призводить до збільшення розмірів і маси електричної машини в порівнянні з генераторами, розрахованими на сталий режим роботи. Навантаження генератора теж змінюється в процесі роботи. Вона залежить від потужності і числа підключених споживачів.

Аналіз різних типів електричних машин, придатних для застосування в вітроенергетичних установках показує, що питання вибору типу і конструкції генератора не однозначний. Наприклад, при використанні синхронної електричної машини із збудженням від постійних магнітів перевагою є відсутність необхідності забезпечення живлення обмоток збудження, і, як наслідок, відсутність електричних втрат в обмотці збудження [11]. При використанні електромагнітного збудження з'являється можливість регулювання вихідної напруги по колу збудження, але з'являються електричні втрати на збудження. Це відбувається тому, що при низькій швидкості обертання струм в обмотці збудження повинен збільшити

магнітний потік для компенсації зниження швидкості обертання, при цьому дедалі більша частина генерується буде витрачатися на збудження замість того, щоб бути відданою в навантаження [8]. Додатковим недоліком такої конструкції є необхідність передачі електричної енергії на обертову обмотку збудження, що ускладнює конструкцію і знижує її надійність.

Таким чином, для застосування в вітроенергетичних установках малої потужності найбільш доцільно застосовувати синхронні електричні машини з збудженням від постійних магнітів, інакше названі «вентильні електричні машини». Такі машини бувають з радіальним і осьовим магнітним потоком, при цьому можливі конструкції без використання магнітом'яких матеріалів в осерді якоря, що дозволяє ще більше знизити втрати. Додатковою перевагою є зниження реактивного моменту генератора, що є важливим при застосуванні в таких електричних машин в вітроенергетичних установках, оскільки пульсації реактивного моменту зазвичай призводять до небажаної вібрації конструкції ВЕУ і виникнення шуму [2].

Ситуація із вибором фотоелектричних панелей для сонячної електростанції є суттєво простіша. Вибір робимо на користь полікристалічних панелей, які мають помірний показник ефективності, що знаходиться на рівні 18%.

Техніко-економічні характеристики сучасних ДЕС свідчать про те, що вони є досить надійними і економічними джерелами електропостачання споживачів.

Електричні схеми ДЕС добре опрацьовані, накопичений великий досвід їх експлуатації, ринок електротехнічного обладнання пропонує велику номенклатуру серійних станцій різних типорозмірів від різних виробників.

3.2 Економічне обґрунтування вибору складових системи КАСЕП

3.2.1 Визначення капітальних вкладень

Вартість кожного із елементів системи КАСЕП представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Кошторис капіталовкладень

Елементи електротехнічного комплексу	Ціна, грн.
Синхронний генератор ГС-15	28500
Конструкція ВЕУ, встановлення	18000
Мережевий інвертор GoodWe GW15K-DT (ВЕУ)	75148
Редуктор 1Ц2У 315К-25-12 ЦЦ У1(ВЕУ)	14280
Фотогальванічні панелі REC270PEBLACK (37 шт.)	118300
Металоконструкції для монтажу панелей, кріплення	20000
AGM аккумулятори EverExceed DP-12200 (8 шт. – 19,2 кВт)	112792
Контролер WWS200A-360	41440
Інвертор DiehlPlatinum 3000 H (ФЕС)	18262
Інвертор DiehlPlatinum 7200TL (ФЕС)	30400
Додаткові пристрої системи КСАЕП	12000
Периферійні пристрої, комутаційні апарати	5600
Кабель для ФЕС TUV Solar Cable 4 мм (100м.)	2800
Дизельна ЕС Hyundai DHY 12000SE-3 10 кВт	116759
Загальна вартість	614281
Транспортні витрати та монтажні витрати (13%)	79857
Витрати на будівельні роботи (10%)	61428
Капітальні витрати (інвестиції)	755566

Для визначення капітальних вкладень потрібно до загальної вартості обладнання додати також і вартість його доставки, монтаж цього обладнання та витрати на будівництво. А також потрібно розрахувати амортизаційні відрахування.

Вартість доставки обладнання розраховуються в залежності від відстані, маси вантажу та тарифу залізничного перевезення на відстань одного кілометра тони вантажу. Монтажні роботи розраховуються відповідно до нормативів вартості монтажних робіт. Спрощуючи розрахунок, вартість доставки та монтажних робіт, можна прийняти рівними 13% від загальної вартості обладнання:

$$C_{\text{ДМ}} = C_{\Sigma} \cdot 0,13 \text{ (грн.)}, \quad (3.2)$$

$$C_{\text{ДМ}} = 614281 \cdot 0,13 = 79857 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на будівельні роботи (влаштування фундаментів) розраховують виходячи із нормативів витрат на будівництво. Даний норматив для укрупнення розрахунку приймається рівним 10% від вартості обладнання:

$$C_{\text{Б}} = C_{\Sigma} \cdot 0,1 \text{ (грн.)}, \quad (3.3)$$

$$C_{\text{Б}} = 614281 \cdot 0,1 = 61428,1 \text{ (грн.)}.$$

Амортизаційні відрахування знаходяться із добутку норми амортизації на первісну вартість об'єкту основних фондів:

$$A_{\text{р}} = \frac{C_{\Sigma} \cdot H_{\text{а}}}{100\%}, \quad (3.4)$$

де $H_{\text{а}}$ – норма амортизації (при умові, що термін експлуатації ВЕУ приймемо за 20 років норма амортизації буде рівною 5%)

$$A_{\text{р}} = \frac{755566 \cdot 5\%}{100\%} = 37778 \text{ (грн.)}.$$

3.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Відповідно до правил улаштування електроустановок обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого а група допуску по електробезпеці не нижче третьої.

Розрахунок витрат на заробітну плату обслуговуючого персоналу виконується за наступною формулою:

$$C_3 = C_{30} + C_{3д}, \quad (3.5)$$

де C_{30} – основна заробітна плата по тарифу;

$C_{3д}$ – додаткова заробітна плата.

$$C_{30} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_C \cdot \beta, \quad (3.6)$$

де N – кількість робітників які обслуговують установки КАСЕП ($N = 1$ чол.);

T_1 – годинна тарифна ставка робітника першого розряду ($T_1 = 22$ грн.);

K – тарифний коефіцієнт (для робітника четвертого розряду: $K = 2,03$.

Із таблиці 3.2);

K_C – коефіцієнт співвідношень, що встановлений Генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_C = 1$);

β – відношення часу, затраченого робітником, на обслуговування установки відносно загального часу своєї роботи ($\beta = 1$);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу обслуговування системи КАСЕП:

$$\Phi_{\text{еф}} = \varepsilon \cdot Z_{\text{РД}} \cdot Z_{\text{РЗ}} \cdot t_{\text{РЗ}}, \quad (3.7)$$

де ε – відносна тривалість увімкнення ($\varepsilon = 0,5$);

$Z_{\text{РД}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{РД}} = 250$ днів/рік);

$Z_{\text{РЗ}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{РЗ}} = 1$);

$t_{\text{РЗ}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{РЗ}} = 1$).

Таблиця 8.5 – Тарифна сітка працівників погодинної оплати праці

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

Розраховуємо ефективний фонд часу обслуговування системи КАСЕП та основну заробітну плату по тарифу:

$$\Phi_{\text{эф}} = 0,5 \cdot 250 \cdot 1 \cdot 1 = 125 \text{ (год./рік)}.$$

$$C_{30} = 1 \cdot 22 \cdot 2,03 \cdot 125 \cdot 1 \cdot 1 = 5583 \text{ (грн.)}.$$

Додаткова заробітна плата (премія) становить 10% від розміру основної заробітної плати і відповідно становить:

$$C_{3д} = 5583 \cdot 0,1 = 558 \text{ (грн.)}.$$

В цілому загальні витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу системи КАСЕП становитимуть:

$$C_3 = 5583 + 558 = 6141 \text{ (грн.)}.$$

3.3 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування проводиться на місці його встановлення із відключенням і зупинкою ремонтним персоналом.

Грошові витрати для проведення ремонтних робіт містять в собі витрати на комплектуючі, запасні частини та інші елементи, що потребують заміни, а також витрати на оплату праці працівників, що проводять ремонтні роботи. Найбільш складним з точки зору ремонтних робіт є обслуговування структурних вузлів фотоелектричної станції (ФЕС), оскільки вона складається із самодостатніх фотоелектричних модулів (37 шт.), кожен з яких, в разі потреби, доведеться демонтувати через несправність.

Графік планових попереджувальних ремонтних робіт представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Графік планових ремонтних робіт

Найменування обладнання	Види ремонтних робіт по місяцях												Трудомісткість, люд-год.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Вітрогенератор				6				6				8	20
Контролери заряду та АКБ			5				5				8		18
Сонячні панелі			8				8				12		28
Кабельні мережі			4				4				6		14
Інвертори				6				6				10	22
ДЕС		4				4				6			14
	Загальна трудомісткість												116

Виконання даних ремонтних робіт, будемо вважати, проводитиметься електриком шостого розряду. Відповідно до того, що є відомими кількість годин виділених на проведення ремонтних робіт основна заробітна плата працівника знаходитиметься із наступної формули:

$$C_{\text{ЗОР}} = T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{ефр}} \text{ (грн.)}, \quad (3.8)$$

$$C_{\text{ЗОР}} = 22 \cdot 2,7 \cdot 116 = 6890 \text{ (грн.)}.$$

Величина додаткової заробітної плати ремонтного персоналу становить 20%, визначається високим рівнем кваліфікації працівника, який має в разі потреби ремонтувати декілька самодостатніх електромеханічних пристроїв (ВЕУ, ФЕС та ДЕС),:

$$C_{\text{ЗДР}} = C_{\text{ЗОР}} \cdot 0,2 \text{ (грн.)}, \quad (3.9)$$

$$C_{\text{ЗДР}} = 6890 \cdot 0,2 = 1378 \text{ (грн.)}.$$

Відповідно витрати на оплату праці ремонтного персоналу складатимуть:

$$C_{\text{ЗР}} = C_{\text{ЗОР}} + C_{\text{ЗДР}} \text{ (грн.)}, \quad (3.10)$$

$$C_{\text{ЗР}} = 6890 + 1378 = 8268 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на комплектуючі, запасні частини та інші елементи розраховуються відносно основної заробітної плати ремонтного персоналу, і становлять 15 % від її величини.

$$C_K = C_{\text{ЗОР}} \cdot 0,15 \text{ (грн.)}, \quad (3.10)$$

$$C_K = 6890 \cdot 0,15 = 1034 \text{ (грн.)}.$$

Величина загальних річних експлуатаційних витрат розраховується наступним чином:

$$C_B = A_P + C_3 + C_{\text{ЗР}} + C_K \text{ (грн.)}, \quad (3.11)$$

$$C_B = 37778 + 6141 + 8268 + 1034 = 53221 \text{ (грн.)}$$

3.4 Розрахунок терміну окупності системи КСАЕП

3.4.1 Виріток електричної енергії ВЕУ (15 кВт)

Розрахуємо кількість електроенергії, що виробить ВЕУ за один рік

$$W_{\text{річн}} = S_{\text{об}} \cdot C_P \cdot P_{\text{п.п.в.}}, \quad (3.12)$$

де C_P – розрахунковий коефіцієнт потужності вітроколеса з горизонтальною віссю обертання в робочій точці (приймаємо рівним $C_P = 0,476$);

$S_{\text{об}}$ – площа обертання лопатей, яку охоплює вітроколесо при обертанні (згідно існуючих розрахунків для вітроколеса $S_{\text{об}} = 78,5$).

$P_{\text{п.п.в.}}$ – природний потенціал вітру Вінницької області на висоті 15 метрів [35] ($P_{\text{п.п.в.}} = 1120 \text{ (кВт}\cdot\text{год/м}^2\text{)/рік}$).

$$W_{\text{річн.}} = 78,5 \cdot 1120 \cdot 0,476 = 41850 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}.$$

Згідно Закону України "Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії" № 514 НКРЕКП ввела у дію нові "зелені" тарифи на електроенергію для приватних господарств, залежно від дати вводу в

експлуатацію. Відповідно до «Зеленого» тарифу для вітрових електростанцій вартість 1 кВт·год виробленої електричної енергії складає 3,08 гривні (відповідно до Закону №514 – 11,6 євроцентів/кВт·год з 01 липня 2015 року до 01 січня 2020 року). Тобто за рік сума складе:

$$C_{\text{Pвeу}} = 3,08 \cdot W_{\text{річн.}} \quad (3.13)$$

$$C_{\text{Pвeу}} = 3,08 \cdot 41850 = 128898(\text{грн.}).$$

3.4.1 Виріток електричної енергії ФЕС (10 кВт)

Результати розрахунків по виробітку сонячної енергії зведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Фінансові показники ФЕС (10 кВт) по місяцям

Місяць	Виріток, (кВт год)	Власне спож-я (кВт год)	Об'єм продажу в мережу (кВт год)	Дохід від продажу, грн.
Січень	335	50	285	1362,3
Лютий	470	50	420	2007,6
Березень	935	50	885	4230,3
Квітень	1150	50	1100	5258
Травень	1340	50	1290	6166,2
Червень	1290	50	1240	5927,2
Липень	1397	50	1347	6438,7
Серпень	1310	50	1260	6022,8
Вересень	998	50	948	4531,4
Жовтень	776	50	726	3470,3
Листопад	408	50	358	1711,2
Грудень	280	50	230	1099,4
За рік:	10689	600	10089	48225
Податок				9404
Прибуток від продажу				38822

Основні вхідні дані, прийняті для розрахунку:

Потужність ФЕС (PV-модулів) – 10 кВт.

Власне споживання – 50 кВт год/міс.

Вартість електроенергії (споживаної) – 1,68 грн./ кВт год.

Величина «Зеленого» тарифу (відповідно до Закону №514 – 01.01.2017 р. до 01.01.2020 року) – 0,18€/кВт год. (4,78 грн./кВт год).

Ставка оподаткування – 19,5 %.

Таким чином, в результаті проведеного розрахунку, було отримано величину прибутку від реалізації сонячної енергії, який складає:

$$\Pi_{\text{РФЕС}} = 38822(\text{грн.}).$$

3.4.2 Термін окупності системи КАСЕП

Термін окупності розраховуємо за виразом:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\Sigma} + C_{\text{ДМ}} + C_{\text{Б}}}{\Pi_{\text{Рвев}} + \Pi_{\text{Рфес}} - C_{\text{В}}} \quad (3.14)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{614281 + 79857 + 61428}{128898 + 38822 - 53221} = \frac{755566}{114499} = 6,59 \text{ (роки).}$$

Висновок: Підводячи підсумок можна сказати, що досліджувана система КАСЕП в комплексі із врахуванням виконанням усіх робіт по її встановленню при величині природного потенціалу вітру та потенціалу сонячної енергії окупить себе за 6,59 роки.

ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОМБІНОВАНОЇ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

4.1 Розрахунок потужності та параметрів генератора ВЕУ

Для початку розрахуємо площу обмаху вітроколеса:

$$S_{\text{об}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (4.1)$$

$$S_{\text{об}} = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 78,5 \text{ (м}^2\text{)}$$

Потужність вітрового потоку, що проходить через площу обмаху вітроколеса при швидкості вітру 10.5 (м/с):

$$P_{\text{ПОТОКУ}} = \frac{\rho \cdot V^3 \cdot S_{\text{об}}}{2} = 78,5 \text{ (м}^2\text{)} \quad (4.2)$$

$$P_{\text{ПОТОКУ}} = \frac{1,23 \cdot 10,5^3 \cdot 78,5}{2} = 55887,2 \text{ (Вт)}.$$

Звідси знаходимо потужність вітроколеса при відомому значенні коефіцієнта потужності:

$$P_{\text{В.К.}} = P_{\text{ПОТОКУ}} \cdot C_P, \quad (4.3)$$

$$P_{\text{В.К.}} = 45887,2 \cdot 0,476 = 21842 \text{ (Вт)}$$

Момент, що створює вітроколесо:

$$M_{\text{В.К.}} = \frac{P_{\text{В.К.}}}{\omega_{\text{НОМ.В.К}}}, \quad (4.4)$$

де

$$\omega_{\text{НОМ.В.К.}} = \frac{2 \cdot V \cdot Z_R}{D}, \quad (4.5)$$

$$\omega_{\text{НОМ.В.К.}} = \frac{2 \cdot 10,5 \cdot 4}{10} = 8,4 \text{ (рад/с)}.$$

$$M_{\text{В.К.}} = \frac{21842}{8,4} = 2600 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Отже крутний момент створений вітроколесом не перевищує номінальний крутний момент редуктора.

Фазна напруга:

$$U_{\phi} = \frac{U}{\sqrt{3}} = 230 \text{ (В)}. \quad (4.6)$$

Фазний струм:

$$I_{\phi} = I_L = 27 \text{ (А)} \quad (4.7)$$

Повна потужність:

$$S_{\text{с.г.}} = \frac{P}{\cos\varphi}, \quad (4.8)$$

$$S_{\text{с.г.}} = \frac{15000}{0,8} = 18750 \text{ (ВА)}$$

Кутова швидкість:

$$\omega_{\text{с.г.}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{2}, \quad (4.9)$$

де p – кількість пар полюсів синхронного генератора ($p = 2$);

f – частота мережі ($f = 50$ Гц),

$$\omega_{\text{с.г.}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ (рад/с)}.$$

Момент генератора:

$$M_{\text{с.г.}} = \frac{P_{\text{с.г.}}}{\omega_{\text{с.г.}}}, \quad (4.10)$$

$$M_{\text{с.г.}} = \frac{15000}{157,08} = 95,5 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Момент, що передається генератору від вітроколеса через редуктор:

$$M_{\text{ред}} = \frac{M_{\text{в.к.}}}{i_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{ред}}}, \quad (4.11)$$

$$M_{\text{ред.}} = \frac{2600}{25 \cdot 0,97} = 107,2 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Отже моменту, що створюється буде достатньо для роботи генератора при номінальній частоті обертання.

Тоді потужність на виході ВЕУ:

$$P_{\text{ВЕУ}} = P_{\text{в.к.}} \cdot \eta_{\text{ел}} \cdot \eta_{\text{ред}}, \quad (4.12)$$

$$P_{\text{ВЕУ}} = 21842 \cdot 0,9 \cdot 0,97 = 19068 \text{ (Вт)}.$$

Отже розрахована вітроенергетична установка здатна генерувати задану потужність в розрахунку на прийняті параметри вітроколеса.

4.2 Вибір типу генератора ВЕУ

Для використання на ВЕУ можливі наступні типи генераторів [10]:

- асинхронні генератори з коротко замкнутим ротором;
- синхронні генератори з електромагнітним збудженням;
- асинхронізований синхронний генератор;
- асинхронні генератори з фазним ротором;
- синхронні генератори (СГ) на постійних магнітах.

Асинхронні генератори є значно дешевшими, мають відносно просту конструкцію, відповідно є надійнішими. Але вони потребують обов'язкової наявності в системі електропостачання джерела реактивної потужності, в якості якого можуть виступати конденсаторні батареї. АГ з фазним ротором мають ковзаючий контакт, що збільшує масу та зменшує надійність.

Серед синхронних генераторів існують проблеми складності в будові та системі керування, вони мають вищу ціну в порівнянні із АГ. Проте синхронні генератори на постійних магнітах не мають ковзаючих контактів, вони простіші, відповідно надійніші та зручніші у використанні. Крім того, вони довго зберігають стабільні робочі характеристики протягом не менше ніж 10-ти років. Тому зупинимось на виборі синхронних генераторів на постійних магнітах.

В якості генератора вибираємо синхронний генератор ГС-15 [12] Характеристики синхронного генератора приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Дані синхронного генератора ГС-15

Номінальна потужність, кВт	15
Схема з'єднання	Зірка
Напруга, В	400
Частота, Гц	50
Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	0.85
Номінальний струм, А	27
ККД, %	91
Частота обертання, об/хв	1500
Режим роботи по ГОСТ 183-74	S1 (довготривалий)
Тип збудження	безщіткове, самозбудження

В якості редуктора для синхронного генератора вибираємо пристрій типу 1Ц2У 315К-25-12 ЦЦ У1.. Дані редуктора приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Дані редуктора 1Ц2У 315К-25-12 ЦЦ У1

Характеристики редуктора	1Ц2У 315К
Передаточне число	25
Номінальний крутний момент, Н·м	7200
ККД	0.97

4.3 Розрахунок параметрів фотогальванічної електростанції (ФЕС)

Використання сонячної енергії для енергоживлення набуває все більшої популярності. Може здатися, що такі системи досить прості, тому що вони складаються з невеликої кількості компонентів: акумулятор, фотоелектричні модулі, інвертор, контролер заряду.

Однак, щоб всі ці елементи працювали злагоджено, як єдине ціле, необхідно вибрати їх правильно один до одного і коректно підключити.

Основним параметром, що характеризує систему на основі сонячної ФЕС, і в залежності від якого встановлюються інші параметри, є її потужність $P_{\text{ФЕСУ}}$, яка визначається за такою формулою:

$$P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ном.ФЕС}} \cdot f_{\text{ФЕС}} \cdot \left(\frac{G_{\text{T}}}{G_{\text{Н.У.}}} \right) \cdot [1 + \alpha_p \cdot (T_{\text{C}} - T_{\text{Н.У.}})] \quad (4.13)$$

де $P_{\text{ном.ФЕС}}$ – номінальна потужність ФЕС, Вт;

$f_{\text{ФЕС}}$ – коефіцієнт зниження потужності ФЕС, який враховує втрати електроенергії без використання АБ;

G_{T} – сонячна радіація, яка надходить на фотоелектричні модулі, Вт/м²;

$G_{\text{Н.У.}}$ – пікова сонячна радіація, яка надходить на фотоелектричні модулі при нормальних умовах (1000 Вт/м²);

α_p – температурний коефіцієнт потужності, °С⁻¹;

T_{C} – температура поверхні ФЕС, °С ;

$T_{н.у.}$ – температура при нормальних умовах (25°C).

Показник сонячної радіації, яка надходить на фотоелектричні модулі, визначається таким чином:

$$G_T = (G_B + G_d \cdot A_i) \cdot R_B + G_d \cdot (1 - A_i) \cdot \left[\frac{1 + \cos\beta}{2} \right] \cdot \left[1 + f_0 \cdot \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right) \right] + \bar{G} \cdot \rho \left[\frac{1 + \cos\beta}{2} \right], \quad (4.14)$$

де G_B – пряма сонячна радіація, Вт/м²;

G_d – дифузна сонячна радіація, Вт/м²;

R_B – відношення косинуса кута падіння променя на похилій поверхні до косинусу кута падіння на горизонтальній поверхні;

A_i – індекс анізотропії ($A_i = G_b / G_0$).

G_0 – середня сонячна радіація поза атмосфери землі, Вт/м²;

β – нахил поверхні;

f_0 – коефіцієнт ($f_0 = \sqrt{G_b / G}$);

G – сумарна сонячна радіація ($G = G_b + G_d$), Вт/м².

Приведемо розрахунок коефіцієнту зниження вироблення електроенергії СФЕС при генерації електроенергії за нормальних умов (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Розрахунок коефіцієнту зниження вироблення електроенергії СФЕС

Параметри	Значення	Діапазон
Фотоелектричний модуль	0,95	0,80-1,05
ККД інвертора	0,92	0,88-0,97
Схемні втрати	0,98	0,97-0,995
Комутаційні коробки	0,995	0,99-0,997
Втрати в кабелях постійного струму	0,98	0,97-0,99
Втрати в кабелях змінного струму	0,99	0,98-0,993
Забруднення поверхні	0,95	0,3-0,995
Придатність системи	0,98	0,00-0,995
Затемнення	1,00	0,00-1,00
Термін старіння	1,00	0,7-1,00
Повний коефіцієнт втрат	0,77	

Виробіток електроенергії від СФЕС виражається таким чином:

$$E_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС}} \cdot t_{\text{сон.}}, \quad (4.15)$$

де $t_{\text{сон.}}$ – середньодобові сонячні години (год/добу), які визначаються:

$$t_{\text{сон.}} = \frac{\text{кількість годин сонячного світла за рік}}{\text{кількість днів за рік (365 днів / рік)}}. \quad (4.16)$$

При використанні АБ в системі необхідно враховувати втрати в зарядному пристрої та АБ. Таким чином номінальна потужність СФЕС визначається виразом:

$$P_{\text{ном.ФЕС}} = \frac{E_{\text{СФЕС}}}{K_{\text{СФЕС}} \cdot t_{\text{пик.осв.}} \cdot (1 + \alpha_p \cdot (T_C - T_{\text{HY}}))} \cdot t_{\text{сон.}}, \quad (4.17)$$

де $t_{\text{пик.осв.}}$ – розрахункові середньодобові освітленості в пікових годинах при стандартній сонячній радіації $G_{\text{н.у.}} = 1000 \text{ Вт/м}^2$, визначається виразом:

$$t_{\text{пик.осв.}} = \left(\frac{G_T}{G_{\text{н.у.}}} \right) \cdot t_{\text{сон.}}, \quad (4.18)$$

$K_{\text{СФЕС}}$ – загальний коефіцієнт, який враховує всі втрати при передачі енергії від СФЕС до споживача.

Споживання електричної енергії має бути рівним виробітку електроенергії від СФЕС. Таким чином, номінальна потужність СФЕС визначається таким чином:

$$\begin{cases} P_{\text{ном.ФЕС}} = \frac{H}{K_{\text{СФЕС}} \cdot t_{\text{пик.осв.}}}, \\ H = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i \end{cases}, \quad (4.19)$$

де $P_{\text{ном.ФЕС}}$ – номінальна потужність СФЕС (паспортна потужність при стандартних умовах $T=25\text{C}$, $CP=1000 \text{ Вт/м}^2$), Вт;

H – добове споживання електроенергії споживачем, Вт год/добу;

P_i – номінальна потужність окремої категорії споживання;

t_i – добовий режим експлуатації категорії споживання, год/добу.

При виборі сонячних панелей для енергоживлення будинків або фермерських господарств необхідно відштовхуватись від низки технічних параметрів цих пристроїв:

- вид експлуатованих фотоелементів;
- вихідна напруга;

Одним з найважливіших показників системи електропостачання любого типу є його потужність, тобто кількість виробляємої енергії. У випадку із сонячними панелями потужність сильно залежить від геометрії поверхні, а саме – від розмірів її площі (див. рисунок 4.1).

Структура поверхні кристалічних фотоелементів неоднакова. Полікристали орієнтовані в просторі по-різному, монокристали - однаково. Це впливає на особливості їх роботи в похмуру погоду. Перші виробляють невелику кількість енергії, другі - набагато менше. Цей факт буде корисний при виборі панелей в районах з великою середньорічною кількістю хмарних днів.

Якщо клімат місцевості в основному занадто хмарний, доцільно використовувати не кристалічні, а аморфні фотоелементи. Кріпляться вони на проблемні за структурою поверхні або на дах із полікарбонату (за допомогою спеціального клею). Аморфні елементи прекрасно уловлюють розсіяне сонячне світло, тому найбільш популярні в північній місцевості.

Останнім часом серед аморфних фотоелементів з'явився новий клас продукції – сонячні мікроморфні батареї. Ці пристрої фіксують наразі з звичайним (видимим очима) сонячним світлом ще і промені інфрачервоного спектру. Завдяки цій особливості вони не надто залежать від кута нахилу і сторони світу поверхні, на якій їх змонтують. Крім того, на їх виробництво витрачається меншу кількість кремнію, що знижує собівартість продукції. Це в подальшому призведе ще до більшої їх популярності завдяки низькій вартості.

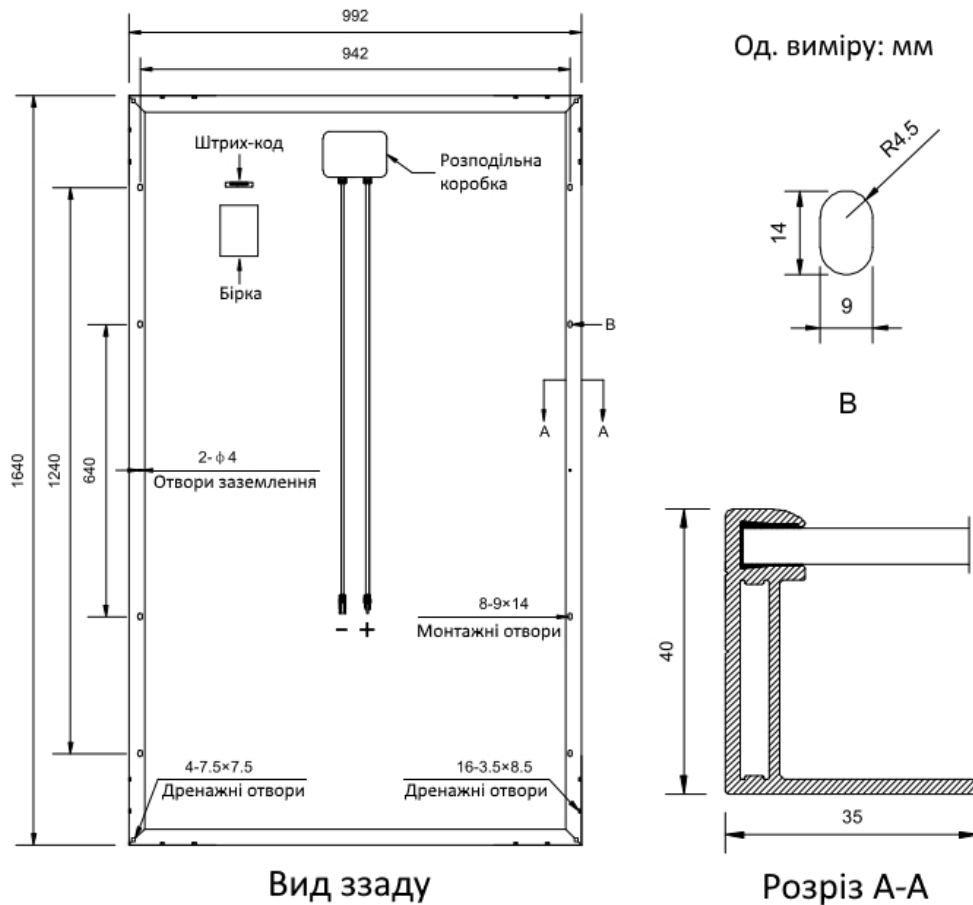


Рисунок 4.1 – Геометрія поверхні сонячних батарей ФЕС

Так, краще використовувати 1 панель з великою поверхнею, ніж кілька малих. Навіть якщо за сумою їх площі однакові, зносостійкість в першому випадку набагато вища, тому що кілька дрібних панелей потрібно з'єднати між собою, а це менш надійний варіант.

В основному вихідна напруга становить стандартно 12 В, але часто можна зустріти моделі потужністю 24 В. У більш потужних елементів є вигідні відмінності за фізичними параметрами - менші робочі струми, що забезпечує менший діаметр кабелів. Це позитивно впливає на надійність системи, тому що провідники будуть нагріватися в меншій мірі, а тому, і прослужать помітно довше.

Незважаючи на це, панелі з напругою 12 В є більш поширеними. Це пояснюється тим, що така напруга найбільш відповідає вхідній напрузі

інвертора і повністю підійде для невеликих систем енергопостачання приватних будинків. З'єднання елементів здійснюється в 2 етапи:

1. Спочатку деталі з'єднуються послідовно з утворенням рядів (їх ще називають «стрінги»). Це дозволяє отримати необхідну напругу системи.

2. Потім ці ряди з'єднують паралельно, щоб отримати оптимальне значення потужності струму.

ФЕС системи КСАЕП призначена для виробництва електроенергії шляхом безпосереднього перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію за допомогою фотогальванічних напівпровідникових полікристалічних модулів (панелей). Встановлення панелей передбачається виконувати на монтажних столах у напрямку на Південь. Кут нахилу відповідає 30° .

Технічні характеристики ФЕС приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики ФЕС

№ п/п	Найменування технічної складової	Кількість
1	Загальна кількість фотогальванічних панелей потужністю 270 Вт (шт.)	35
2	Кількість інверторів DiehlPlatinum 3000 Н	1
3	Кількість інверторів DiehlPlatinum 7200TL	1
4	Номінальна потужність електростанції (кВт)	10

Загальна кількість фотогальванічних панелей досліджуваної ФЕС складає 35 шт. одиничною потужністю 270 Вт виробництва компанії PeakEnergy.

Електрична потужність постійної напруги отримана з фотогальванічних панелей збирається по радіальній мережі до 1000 В в стрінгових інверторах.

Основною технологічною ланкою виробництва електроенергії є фотогальванічні панелі, які перетворюють електромагнітну енергію сонячної радіації безпосередньо в електричний струм постійної напруги.

Параметри панелей наведені для нормальних умов при інтенсивності сонячної радіації 1000 Вт/м² та температурі панелі 25С.

Специфіка підключення передбачає послідовне з'єднання панелей по 12 шт. в блоки. Електричні параметри блоків з панелей потужністю 270 Вт: $P_M = 3,24$ кВт, $U_{мп} = 374,4$ В, $I_{мп} = 8,67$ А. Схему організації кабельних зв'язків у блоках фотогальванічних панелей наведено на кресленні в додатку Б.

Характеристики фотогальванічних панелей, застосовуваних в даній роботі, наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Основні параметри фотогальванічних панелей типу REC270PEBLACK (компанія PeakEnergy)

№ п/п	Найменування показника	REC270PE BLACK
1	Максимальна потужність, P_M	270 Вт
2	Струм короткого замикання, I_K	9,29 А
3	Напруга холостого ходу, U_{xx}	38,6 В
4	Напруга в режимі видачі максимальної потужності, $U_{мп}$	31,2 В
5	Номінальний струм, $I_{мп}$	8,67 А
6	Габаритні розміри (Д, Ш, Т), мм	1665x991x38
7	Вага	19кг
8	Відносне значення ефективності	16,4 %

Перетворення потужності, що генерується фотогальванічними панелями з постійної напруги на змінну відбувається у стрінгових інверторах. В роботі передбачено встановлення 1-го стрінгового інвертора

типу Platinum 3000Нта 1-го стрінгового інвертора типу Platinum 7200 ТЛвиробництва компанії Diehl.

4.4 Деталізація характеристик та вибір ДЕС системи КСАЕП

Робота дизель-електростанції (ДЕС) в складі системи КСАЕП в умовах мінливості навантаження, швидкості вітру та характеристик освітленості пов'язана з високою нерівномірністю завантаження дизельного агрегату, що позначається на його ефективності – паливній складовій вартості 1 кВт-год електроенергії.

Ефективний режим роботи ДЕС забезпечується тільки при завантаженні станції від 70 до 100%, в іншому випадку зі зменшенням коефіцієнта завантаження ДЕС відбувається різке зниження ефективності її роботи. При цьому завантаження ДЕС від 35 до 70% може бути умовно прийнятним з підвищеною питомою витратою палива. Менше завантаження ДЕС є неприпустимим, оскільки супроводжується різким стрибком питомого споживання палива (рисунок 4.2).

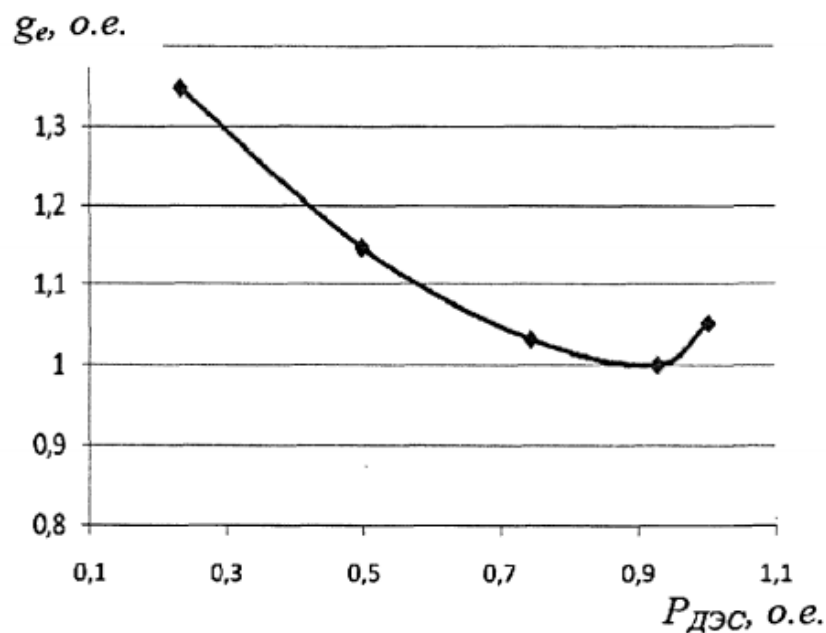


Рисунок 4.2 – Питома витрата палива ДЕС інверторного типу зі змінною частотою обертання валу генератора

З рисунка 8.1 видно, що робота ДЕС зі змінною частотою обертання валу генератора з подальшим перетворенням електроенергії в інверторі дозволяє підвищити ефективність роботи ДЕС в режимах неповного завантаження в порівнянні з типовою ДЕС, яка працює на постійних оборотах двигуна.

Таким чином, застосування ДЕС з генераторами на постійних магнітах, які працюють зі змінною частотою обертання валу генератора (двигуна) і подальшим перетворенням електроенергії до потрібної постійної частоти в інверторі, є найбільш виправданим в складі КСАЕП з ВЕУ та ФЕС.

Враховуючи вище сказане вибираємо в якості ДЕС системи КСАЕП станцію Hyundai DHY 12000SE-3 (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – ДЕС типу HyundaiDHY 12000SE-3

Характеристики ДЕС Hyundai DHY 12000SE-3:

- Напруга: універсальна(220/380В).
- Двигун: Hyundai.
- Максимальна потужність: 11 кВт.
- Тип запуску: електростарт.
- Матеріал обмотки альтернатора: мідь.

- Корпус: шумозахищений.
- Час безперервної роботи: 20.8 год.

Переваги вибраного пристрою:

- універсальність (робота від 1-ї або 3-х фаз): унікальна система перемикання фаз дозволяє використовувати генератор як в однофазному (230V), так і в трифазному (380V) режимі без втрати потужності;
- підвищений рівень безпеки: електричні дроти та кабелі надійно ізолювані. Заземлення корпусу апарата захищає від ураження електричним струмом. Система аварійного відключення убезпечить генератор від перегріву при роботі на максимальних навантаженнях;
- економічна витрата палива: дизельний двигун має досить низьку витрату палива - 1 л / год, забезпечуючи 10 кВт електроенергії;
- довгий ресурс компонентів: генератор зібраний на спеціалізованому конвеєрі з дотриманням світових стандартів якості. Корпус має антикорозійне покриття. Довговічність силового агрегату забезпечує система повітряного охолодження.

ВИБІР АКБ, ІНВЕРТОРІВ ТА КОНТРОЛЕРА ЗАРЯДУ АКБ

5.1 Вибір проміжного накопичувача енергії

З огляду на нестабільний, змінний характер вітру, миттєве вироблення електроенергії ВЕУ також схильне до значних коливань. Для цього на базі ВЕУ та ФЕС створюються автономні електротехнічні комплекси з використанням автономних електроагрегатів, що працюють на вуглеводневому паливі, а також проміжних (буферних) накопичувачів енергії.

Зазвичай в ролі накопичувачів енергії виступають хімічні джерела струму (ХДС) – акумуляторні батареї (АКБ) в яких хімічна енергія активних речовин безпосередньо перетворюється в електричну енергію. Кількість енергії, що запасується в АКБ, визначається добутком номінальної напруги на ємність батареї, при цьому ємність і напруга однієї АКБ (одного елемента) обмежені.

Для вибору необхідного типу буферного джерела постійного струму проведено порівняльний аналіз найбільш поширених типів ХДС, результати якого представлені в таблиці 5.1 [4].

Згідно з наведеними в таблиці 5.1 даними видно, що літій-іонні акумулятори мають найкращі питомі характеристики і при цьому мають найбільшу робочу напругу елемента в порівнянні з іншими ХДС. При цьому у них досить низький саморозряд, а також найвищий коефіцієнт віддачі по ємності (близький до 1). Використання літій-іонних акумуляторів може значно знизити масогабаритні показники системи буферного накопичення енергії в складі КСАЕП.

Таблиці 5.1 – Характеристики вибору АКБ

Характеристики	Перезаряджувані ХДС			
	Свинцево-кислотні (СКБ)	Нікель-кадмієві (NiCd)	Нікель-металогідридні (NiMH)	Літій-іонні (Li-ion)
Робоча напруга елемента, В	2,0	1,2-1,25	1,2-1,25	3,6
Типова ємність, А год	0,7-20	0,03-20	0,05-13,5	0,4-6
Діапазон робочих температур, С	-20... +50	-40...+60	-20...+40	-20...+60
Енергетична щільність, Вт/кг	30-50	45-80	60-120	100-160
Питома енергія: - вагова, Вт год/кг; - об'ємна, Вт год/дм ³	25-50 55-100	30-60 100-170	40-80 150-240	100-180 25-400
Струм нав-ня від С: - піковий; - оптимальний	5С 0,2С	20С 1С	5С До 0,5С	>2С До 1С
Кількість циклів заряд/розряд до зменшення ємності до 80%	200-1000	До 1500	300-500	300-1000
Форма кривої розряду	Похила	Пласка	Пласка	Пласка
Час швидкого заряду, год	8-16	1	2-4	2-4
Чутливість до перезаряду	низька	середня	висока	висока
Саморозряд при 20 С в місяць, %	5	15-20	30	10
Особливості експлуатації	Значне зниження ємності при збільшенні струму розряду та низькій температурі	Струми розряду до 3-8С. можливий швидкий заряд	Струми розряду до 3-8С. можливий швидкий заряд	Необхідний захист від перезаряду та великих зарядних струмів

В якості батарей виберемо акумуляторні батареї EverExceed DP-12200.

Герметична необслуговувана акумуляторна батарея EverExceed DP-12200 серії Deep Cycle (серія акумуляторів для глибоких розрядів) з електричної ємністю 222 Ач виконана за сучасною технологією AGM нового

покоління – особлива чистота (99,9%) та інноваційний склад активних матеріалів пластин акумулятора, що дозволило поліпшити основні показники роботи акумулятора, в першу чергу циклічний ресурс роботи акумулятора збільшено до 700 циклів розряду/заряду з глибиною до 100%, а також покращилися разрядно/зарядні характеристики акумуляторних батарей.

Хараткреистики EverExceedDP-12200:

- ємність акумуляторної батареї – 2,4 кВт;
- кількість циклів – 700;
- термін служби – 12 років;
- ККД батареї – 99%;
- номінальна ємність – 222 Агод;
- розміри – 305 x 168 x 215 мм;
- внутрішній опір – 4 МОм;
- вага – 27,5 кг;
- робоча температура – 0 – 45 С.

Для забезпечення акумуляціїнеобхідної кількості електроенергії у розмірі 20 кВт вибираємо 8 акумуляторних батарей по 2,4 кВт кожна. Загальна отримана потужність запасеної енергії складатиме 19,2 кВт.

5.2 Вибір мережевого інвертора ВЕУ

В якості інвертора [17] виберемо двонаправлений інвертор від GoodWe типу GW15K-DT, його характеристики:

- номінальна потужність змінного струму: 15 кВт (при коефіцієнті потужності 1);
- максимальний струм на виході – 27 А;
- напруга змінного струму на виході –400 В;
- частота змінного струму на виході –50 Гц;
- коефіцієнт потужності – 0 - 1 (випередження та відставання)
- ККД –98,0 (%);
- розміри ШxВxГ: 516x650x203;

– вага: 40кг.

Інвертор даного типу є універсальним пристроєм та підходить для більшості систем, незалежно від типу використовуваних установок отримання електричної енергії.

5.3 Вибір контролера заряду АКБ ВЕУ

Контролер здійснює контроль та керування процесами заряду акумуляторів від вітроенергетичної установки, захисними функціями та ін. Він перетворює змінний струм, який виробляється генератором в постійний для заряду акумуляторних батарей.

Вибираємо гібридний контролер заряду WWS200A-360 від AVAS ENERGY. Характеристики гібридного контролера:

- номінальна потужність ВЕУ – 20 кВт;
- номінальна потужність сонячних панелей – 10 кВт;
- номінальна напруга батареї – 360 В;
- максимальна вхідна потужність вітрових турбін – 30 кВт;
- максимальна напруга – 420 В;
- максимальний струм ВЕУ – 180 А;
- максимальний струм сонячних панелей – 20 А.

5.4 Вибір стрінгових інверторів ФЕС 10 кВ

Перетворення потужності, що генерується фотогальванічними панелями з постійної напруги на змінну відбувається у стрінгових інверторах. В роботі передбачено встановлення 1-го стрінгового інвертора типу Platinum 3000H та 1-го стрінгового інвертора типу Platinum 7200 TL виробництва компанії Diehl. Основні характеристики вище згаданих інверторів приведені в таблицях 5.2 та 5.3 відповідно.

Таблиця 5.2 – Основні характеристики інвертора Platinum 3000 H

Вхідні параметри інвертора (DC)	Значення параметра
Максимальна потужність при постійному струмі, кВт	3,0
Максимальне значення напруги при постійному струмі, В	600
Максимальний струм на кожний MPPT, А	13,5
Максимальний вхідний струм, А	20,2
Діапазон MPPT на 100% потужності, В	від 230 до 480
Максимальна кількість входів	3
Кількість MPPT трекерів	1
Вихідні параметри інвертора (AC)	
Номінальна активна потужність, кВт	2,9
Максимальна повна потужність, кВА	2,9
Максимальна активна потужність ($\cos\varphi=1$), кВт	2,9
Номінальна напруга, В	230 (+/-20%)
Номінальна частота, Гц	50 (+/-10%)
Номінальний струм, А	13
Кількість фаз/кількість виходів	1/3
Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	0,9
Загальні параметри інвертора	
Діапазон робочих температур, °C	від -25 до+65
Відносна вологість, %	від 4 до99%
Клас захисту оболонки	IP65
Висота установки, м	від 0 до2000
Габаритні розміри (ШхДхВ), мм	610 x 353 x 154
Вага, кг	19

Таблиця 5.3 – Основні характеристики інвертора Platinum 7200 TL

Вхідні параметри інвертора (DC)	Значення параметра
Максимальна потужність при постійному струмі, кВт	7,2
Максимальне значення напруги при постійному струмі, В	880
Максимальний струм на кожний МРРТ, А	21
Діапазон МРРТ на 100% потужності, В	від 351 до 710
Максимальний вхідний струм, А	26
Максимальна кількість входів	3
Кількість МРРТ трекерів	1
Вихідні параметри інвертора (AC)	
Номінальна активна потужність, кВт	6,9
Максимальна повна потужність, кВА	6,9
Номінальна напруга, В	230 (+/-20%)
Номінальна частота, Гц	50 (+/-20%)
Номінальний струм, А	30
Кількість фаз/кількість виходів	1/1
Коефіцієнт потужності, cosφ	0,7
Загальні параметри інвертора	
Діапазон робочих температур, °С	від -20до+60
Відносна вологість, %	від 0 до 95%
Клас захисту оболонки	IP66
Висота установки, м	від 0 до2000
Габаритні розміри (ШхДхВ), мм	720 x 320 x 250
Вага, кг	29

Висновок: Результатом виконання даного розділу є вибір вибір АКБ, інверторів та контролера заряду АКБ досліджуваної системи КСАЕП на основі відновлювальних джерел енергії.

6 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА СТРУКТУРНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ КАСЕП

Для перетворення електроенергії з одного виду в інший, а також для підсумовування потужностей джерел на шині постійного струму використовується керований трифазний перетворювач і трифазний інвертор 220 / 380В 50Гц.

В якості базової схеми для побудови керованого випрямляча прийнятий варіант, приведений на рисунку 6.1.

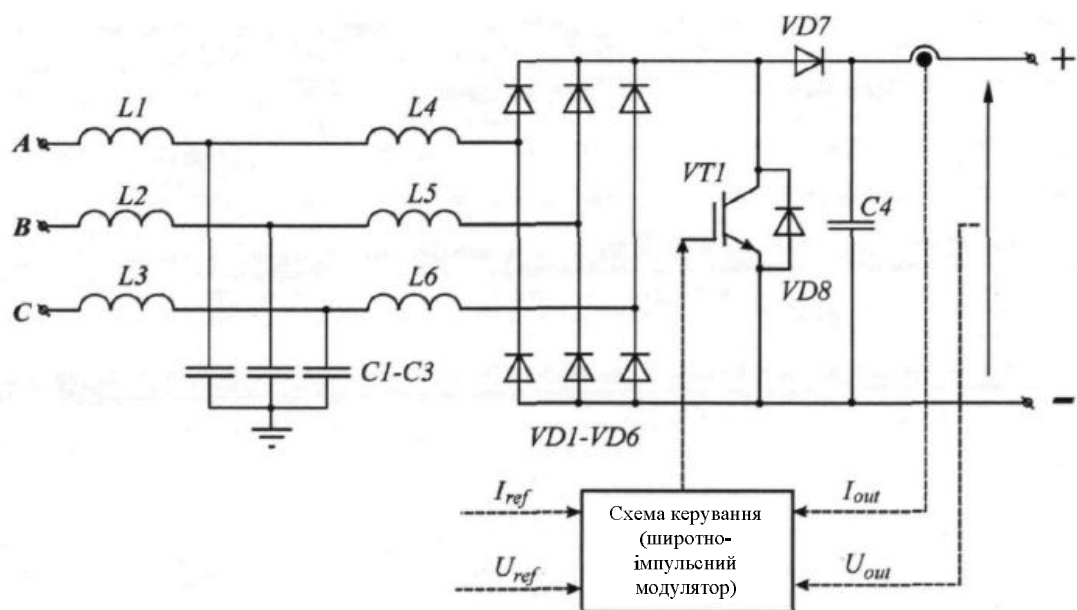


Рисунок 6.1 – Структурна схема побудови керованого випрямляча

Пристрій містить вхідний пасивний LC фільтр п'ятої гармоніки (L1-L3, C1-C3), некерований трифазний випрямляч (VD1-VD6 - напівпровідниковий модуль VS-110MT120KPBF Vishay), підвищуючий імпульсний перетворювач (VT1, L4-L6, VD7, VD8, C4), схему керування. Комутуючий елемент підвищуючого перетворювача побудований на основі напівпровідникового IGBT модуля CM100E3U-12H компанії Mitsubishi Electric і працює на частоті перемикачів 16 кГц.

В якості можливих варіантів структури системи КСАЕП можуть бути різні варіанти сполучення ДЕС, вітроенергетичних установок (ВЕУ) і фотоелектричних установок (ФЕУ) при роботі на загального споживача, які

можуть значно відрізнятися як за складом використовуваного електрообладнання, так і по техніко-економічним характеристикам.

Схема електрична функціональна електротехнічного комплексу системи КСАЕП приведений на рисунку 6.2.

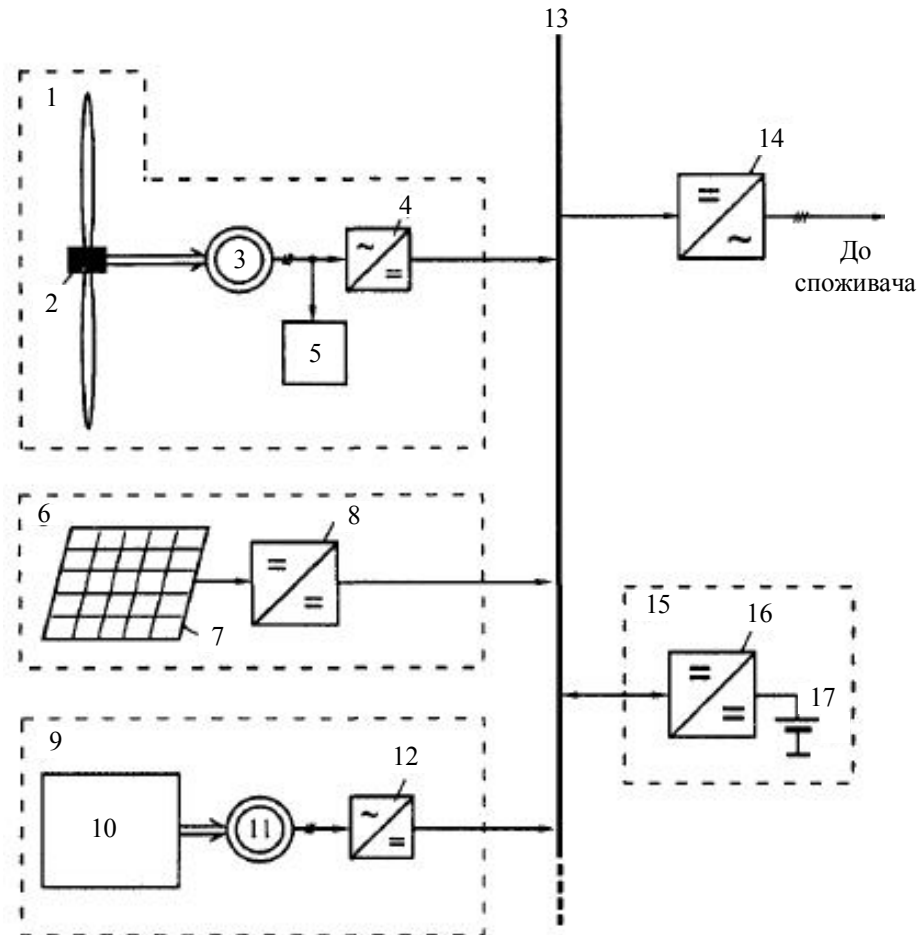


Рисунок 6.2 – Схема електрична функціональна системи КСАЕП

На рисунку 6.2 приведені такі позначення КСАЕП: 1 – ВЕУ; 2 – вітрова турбіна; 3, 11 – синхронний генератор; 4, 12 – керований випрямляч; 5 – блок баластних навантажень; 6 – фотоелектрична установка; 7 – сонячна панель; 8 – конвертор напруги; 9 – дизельна електростанція (ДЕС) ; 10 – дизельний двигун; 13 – шина постійного струму; 14 – інвертор напруги; 15 – буферний накопичувач електроенергії; 16 – двонаправлений імпульсний перетворювач; 17 – блок акумуляторних батарей.

В запропонованій структурній схемі не потрібно узгоджувати режими роботи ВЕУ, ФЕС та ДЕС між собою, що дозволяє керувати цими агрегатами виходячи з необхідних критеріїв оптимальності. Система легко масштабується. Досить просто вирішуються завдання електромагнітної сумісності. В даній схемі побудови електростанції споживачі живляться від загального автономного інвертора, чим забезпечується висока якість електричної енергії. Значно спрощуються схеми перетворювачів для підключення ФЕС і накопичувача енергії, до складу системи через керований випрямляч можуть бути підключені ВЕУ зі змінною частотою обертання.

7 РОЗРОБКА СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИНЦИПОВИХ МОДУЛІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ КАСЕП НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Грунтуючись на попередньо приведеній структурній схемі, в процесі роботи над універсальним контролером була розроблена схема електрична принципова, докладно описана далі. Основною технічною функцією комплексної системи автономного електропостачання є узгодження режимів виробництва і споживання енергії в ізольованій енергетичній системі, що містить установки відновлюваної енергетики.

Для виконання основної функції – забезпечення балансу потужностей в системі, необхідно контролювати значення основних електричних параметрів: струмів і напруг усіх силових агрегатів і навантажень, підключених до системи електропостачання, а також параметрів самого накопичувача. Для цього на збірних шинах споживача і шині постійного струму встановлюються всі необхідні датчики, вихідні сигнали з яких надходять в блок датчиків, де вони нормуються, обробляються і подаються в систему управління (СК).

Необхідною елементом КАСЕП є блок базових функцій, що включає в себе блок сенсорів, блок заряду-розряду, безпосередньо накопичувач енергії і систему керування.

Система керування реалізує простий алгоритм управління режимами роботи автономної електростанції, основними функціями якого є забезпечення балансу потужностей в ізольованій енергетичній системі та раціональних режимів заряду/розряду акумуляторних батарей.

Дана стратегія керування може бути реалізована при побудові КАСЕП на базі мікроконтролера, в програму якого жорстко вшиті технічні характеристики використовуваних АБ.

Принципова електрична схема системи КСАЕП приведена на рисунку 7.1.

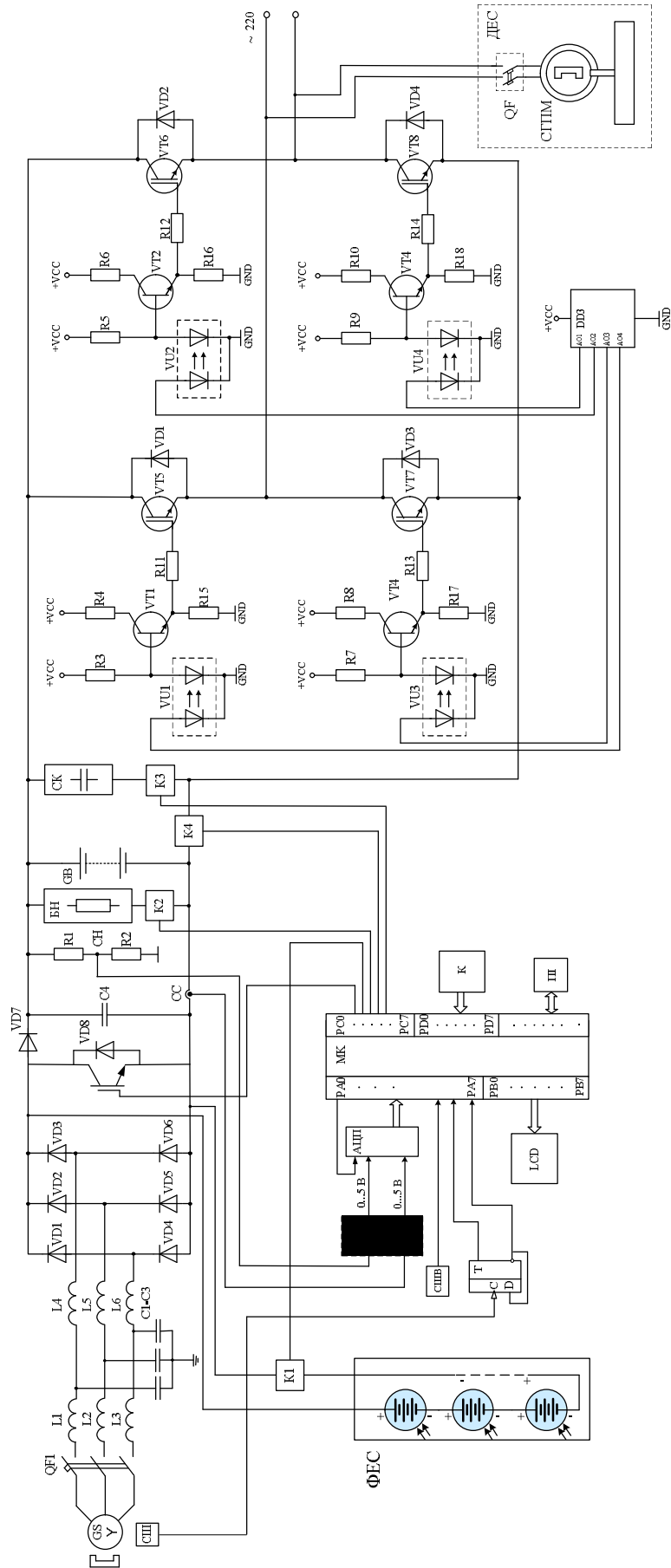


Рисунок 7.1 – Схема електрична принципова системи КСАЕП

На рисунку 7.1 приведені такі позначення: GS – синхронний генератор з постійними магнітами; СШ – сенсор швидкості; СШВ – сенсор швидкості вітру; МК – мікроконтролер; DC/DC – перетворювач постійного струму; БН – баластні навантаження; GB – акумуляторна батарея; СК – суперконденсатор; К1-К4 – ключі-контактори; ДЕС – дизель-електрична станція; QF – автоматичний вимикач.

У запропонованій схемі КАСЕП основними джерелами електроенергії служать ВЕУ та ФЕС. Необхідна кількість ВЕУ, ФЕС та ДЕС визначається необхідним ступенем надійності електропостачання споживачів із врахуванням одиничних номінальних потужностей установок і станцій.

Для формування керуючих сигналів система керування використовує три види вхідних змінних:

- змінні контролю поточних параметрів режиму;
- зовнішні змінні;
- внутрішні змінні.

Змінні контролю поточних параметрів використовуються для управління перетіканнями потужності в енергетичній системі та формування сигналів зворотного зв'язку.

Зовнішні змінні необхідні для визначення раціональних робочих режимів генеруючих установок поновлюваної енергетики з точки зору максимального використання первинних енергоносіїв.

Внутрішні змінні застосовують для встановлення основних енергетичних співвідношень, використовуваних в системі енергетичних установок. Внутрішні змінні визначаються за даними технічної специфікації використовуваного силового обладнання і заносяться в пам'ять контролера у вигляді відповідних таблиць на етапі конфігурації системи управління.

Для практичної реалізації запропонованої стратегії управління режимами комбінованих автономних енергетичних комплексів необхідна розробка спеціалізованого технічного пристрою, побудованого на базі буферної системи накопичення енергії.

Алгоритм роботи комбінованої системи автономного енергопостачання реалізується в такий спосіб:

1. ВЕУ і ФЕС заряджають АКБ через їх зарядні пристрої до рівня напруги 57,80 В, при якому процес зарядки АКБ зупиняється. А при зниженні напруги в АКБ до 57 В знову процес зарядки АКБ включається.

2. Коли напруга в АКБ знижується до рівня 44 В через тривалий період роботи навантаження і відсутності зарядки АКБ від ВЕУ та ФЕС, контроль системи через ББЖ автоматично включає ДЕС для того, щоб забезпечити електропостачання навантаження і заряджати АКБ. А при напрузі АКБ 55 В контролер заряду відключає ДЕС.

3. Під час зарядки АКБ ДЕС по байпасній лінії, через ББЖ здійснює живлення навантаження.

4. ББЖ перетворює постійну напругу АКБ в змінну напругу 220 В, 50 Гц.

5. Контролер ВЕУ та ФЕС мають захист від перевантаження, перекосу фаз, перенапруги, короткого замикання, від підвищеної температури, є світлова індикація.

6. При тривалому періоді роботи навантажень, вчасній відсутності сонячної радіації та слабких швидкостей вітру можна використовувати спосіб ручного запуску ДЕС, який використовується для уникнення швидкої розрядки АКБ.

Однолінійна принципова електрична схема фотоелектричної станції комбінованої системи автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії приведена на рисунку 7.2. На схемі не показані АКБ та можливість запасання виробленої електричної енергії в акумуляторних батареях. На схемі показаний варіант підключення ФЕС безпосередньо через стрінгові інвертори із можливістю безпосереднього споживання електричної енергії або продаж її в мережу згідно «зеленого» тарифу.

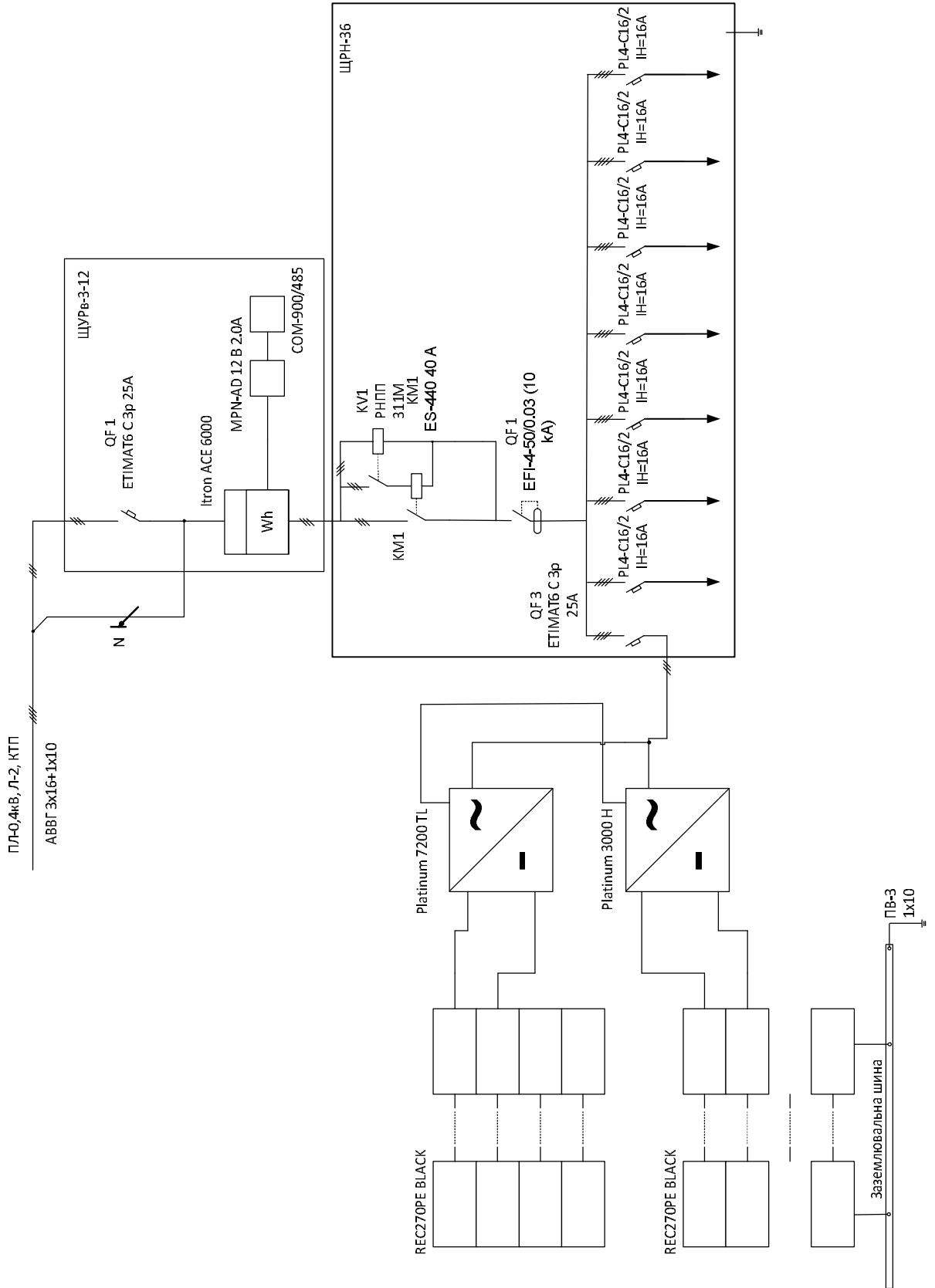


Рисунок 7.2 – Однолінійна принципова електрична схема ФЕС КАСЕП

8 ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

ВЕУ і СФЕУ є основними джерелами енергії, а ДЕС є резервним джерелом енергії, що підвищує надійність всієї автономної системи в умовах відсутності достатньої сонячної радіації або вітру, а також здійснює зарядку АБ.

Існує кілька підходів, що використовуються для досягнення оптимальної конфігурації комбінованих електростанцій. Серед них відомий науково-технічний підхід, який визначається ймовірністю дефіциту електропостачання. Метод складається з наступних процедур розрахунку (рис. 2.5):

Загальний виробіток електроенергії $E_{\text{комб.ЕС}}$ визначається наступним виразом:

$$E_{\text{комб.ЕС}}(t) = E_{\text{ФЕС}}(t) + E_{\text{ВЕУ}}(t) \quad (8.1)$$

При роботі КАСЕП можна розглянути три випадки:

1. якщо загальний виробіток електроенергії $P_{\text{комб.ес}}$ більше, ніж загальне споживання $P_{\text{нав}}$, то надлишок електроенергії зберігається в АБ;
2. якщо загальний виробіток електроенергії $P_{\text{комб.ес}}$ менше, ніж загальне споживання, то дефіцит покривається АБ;
3. якщо загальний виробіток електроенергії $P_{\text{комб.ес}}$ дорівнює загальному споживанню, то ємність АБ не зміниться.

У першому випадку буде досягнута максимальна ємність АБ, а контролер заряду відключить АБ від КАСЕП. Невикористовувана електроенергія визначається електроенергією, що виробляється, а не використовується в системі за крок часу.

Найбільш проста робота комплексу і особливо системи управління ДЕС забезпечується при здійсненні електропостачання навантаження або від ДЕС, або від ВЕУ, паралельна робота генеруючих агрегатів можлива тільки під час процесу перемикання з одного джерела на інше.

У разі, якщо АКБ заряджені повністю, а необхідна поточна потужність споживання P_n є меншою потужності, що розвивається вітроагрегатом ВЕУ та ФЕС, то за рахунок підключення баластного навантаження (БН) через контактор К1, надлишки електроенергії утилізуються. При розряді АКБ нижче 20% від номінальної ємності С АКБ відбувається запуск ДЕС. У момент перемикання між ВЕУ, ФЕС та ДЕС, до шин постійного струму завжди підключений блок суперконденсаторів (СК), які виконують роль резервного джерела постійного струму для забезпечення зниження кидків струму на АКБ і зменшення навантаження на ДЕС. Пріоритетним джерелом підзарядки СК є ВЕУ та ФЕС. СК також можуть використовуватися для зниження кидків струму в момент підключення споживачів з високими пусковими значеннями струмів. Заряд АКБ здійснюється тільки за рахунок енергії, яка виробляється ВЕУ та ФЕС. Перемикання з ДЕС на ВЕУ та ФЕС відбувається в двох випадках: перший, коли АКБ повністю заряджені незалежно від поточної генерованої потужності ВЕУ та ФЕС; другий – випадок, коли АКБ заряджені на 70% від номінальної ємності, а генерована потужність ВЕУ та ФЕС перевищує середню споживану потужність навантаження.

9 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ КАСЕП В ПІПІ MATLABSIMULINK

Використання методів імітаційного моделювання на етапі проектування складних систем управління дозволяє не тільки істотно скоротити витрати на дослідження, розробку і випробування, а й істотно зменшити час розробки виробу [25].

Метою імітаційного моделювання є дослідження процесів, які відбуваються на виході ВЕУ та ФЕС.

В даному розділі виконаємо окреме моделювання вітроелектричної установки з керованими перетворювачами та сонячної панелі, яка використовується у ФЕС комбінованої системи автономного електропостачання.

Загальна модель ВЕУ (рисунок 9.1) містить в собі підсистеми синхронного генератора, випрямляча по схемі Ларіонова та інвертора. Відповідно перехідні характеристики напруги на виході генератора, випрямленої напруги випрямляча та інвертованої напруги приведені на рисунках 9.2 – 9.4 відповідно.

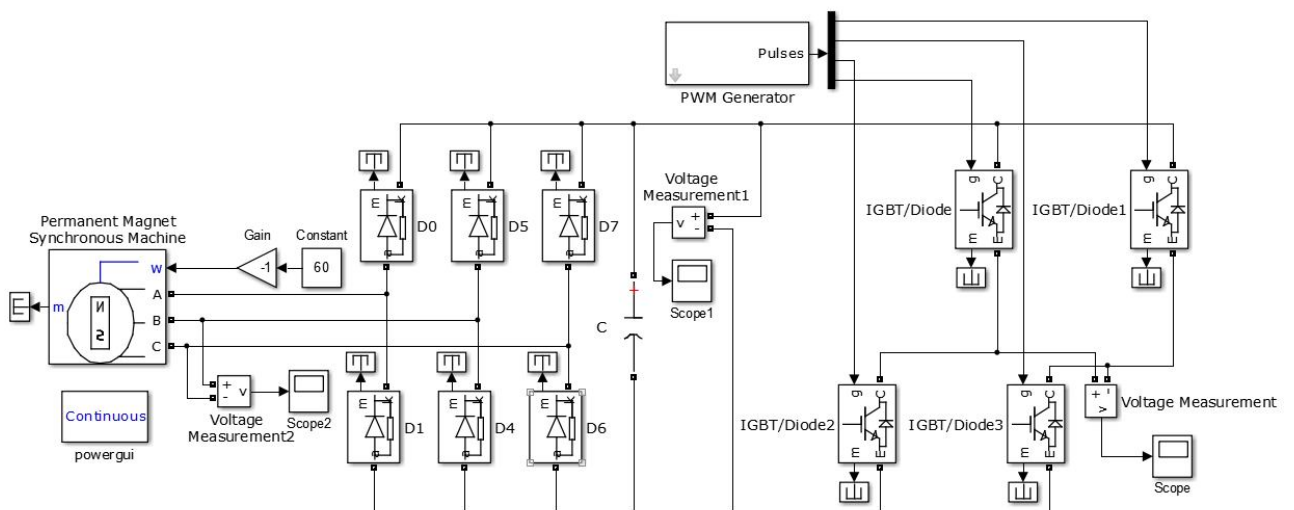


Рисунок 9.1 – Модель вітроенергетичної установки

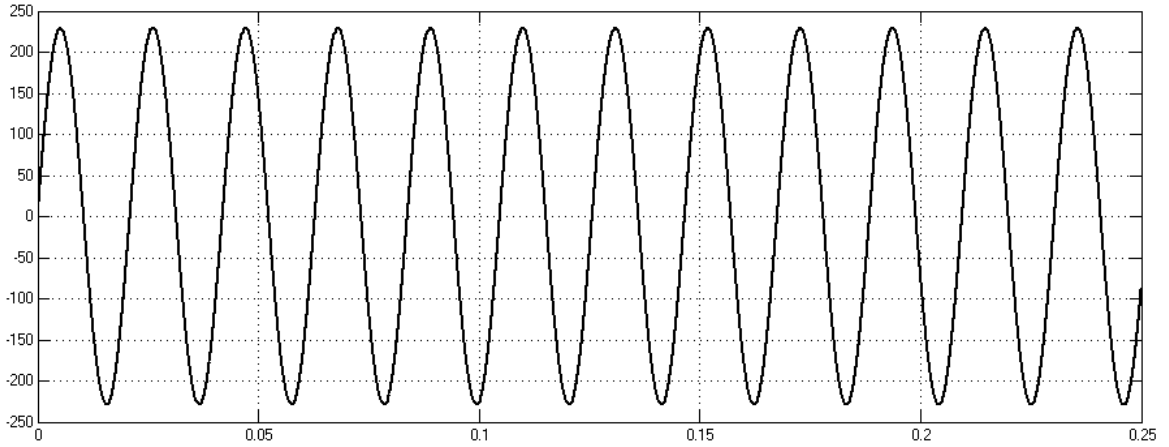


Рисунок 9.2 – Напряга на виході синхронного генератора

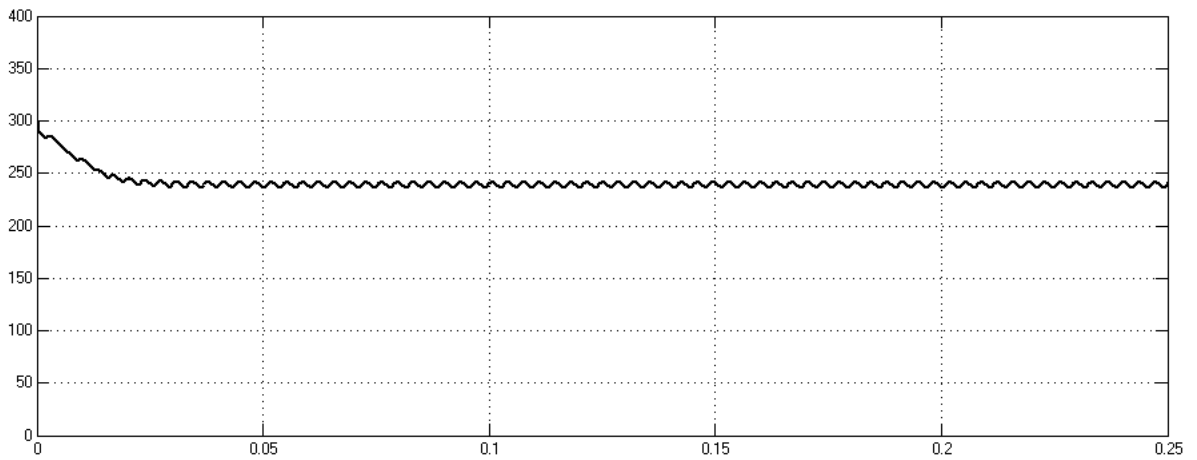


Рисунок 9.3 – Крива напруги на виході випрямляча

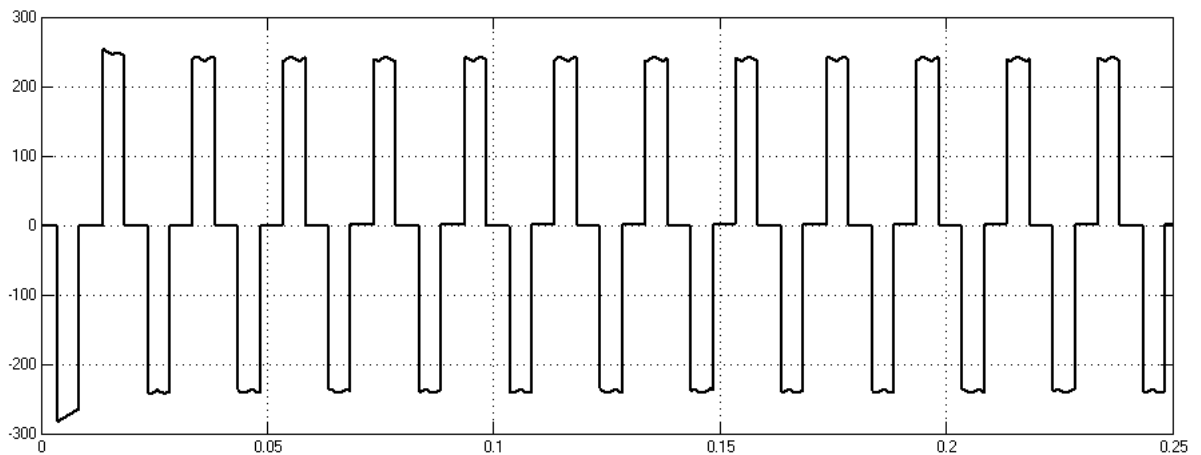


Рисунок 9.4 – Напряга на виході інвертора

На рисунку 9.5 наведено результат моделювання роботи генератора при частоті обертання валу 180 об/хв на холостому ході. Верхній графік

демонструє ЕРС в фазних обмотках генератора, а нижній графік – напругу на вході і виході випрямляча.

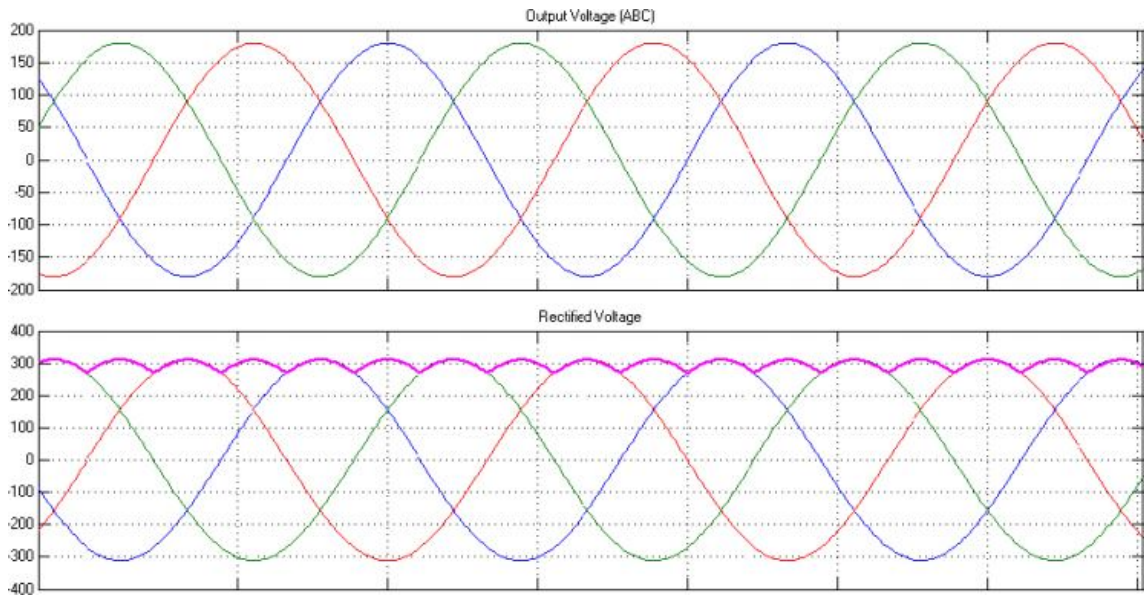


Рисунок 9.5 – Напруги на фазних обмотках і виході випрямляча

На рисунку 9.6 наведено результат моделювання роботи генератора при частоті обертання валу 180 об / хв і роботі на навантаження в 10А. Верхній графік показує електричну потужність генератора, а нижній графік – пульсації електромагнітного моменту.

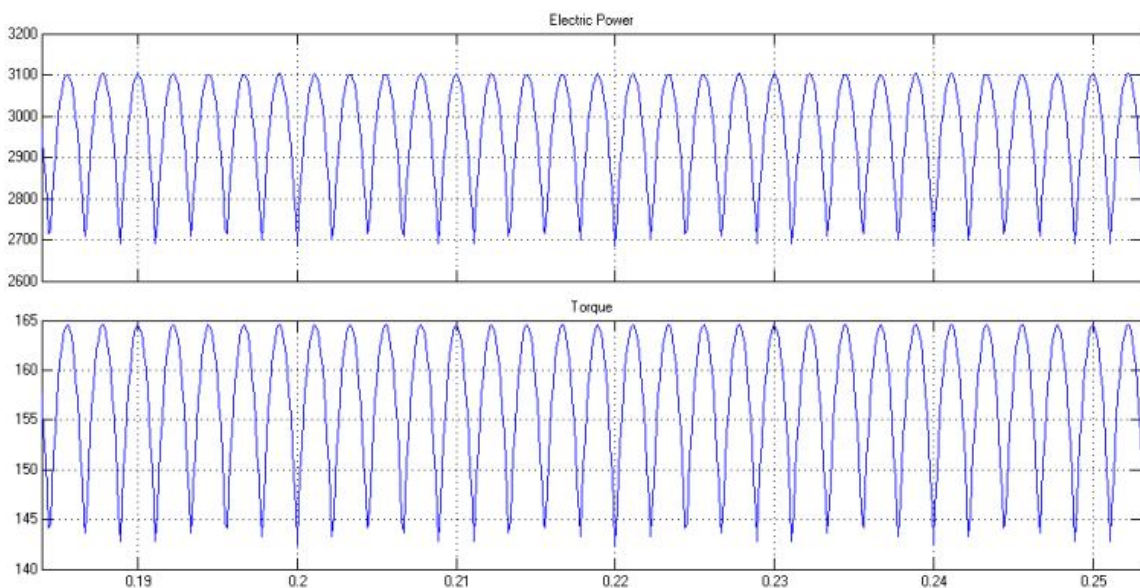


Рисунок 9.6 – Результат моделювання роботи генератора з трифазним випрямним мостом на навантаження

Моделювання сонячної панелі проводиться з використанням елементів програми MATLAB Simulink. Комп'ютерна модель виконана для кремнієвої полікристалічної фотогальванічної панелі типу REC270PEBLACK (компанія PeakEnergy), яка використовується для побудова ФЕС системи КСАЕП. На рисунку 9.7 приведена модель сонячної панелі.

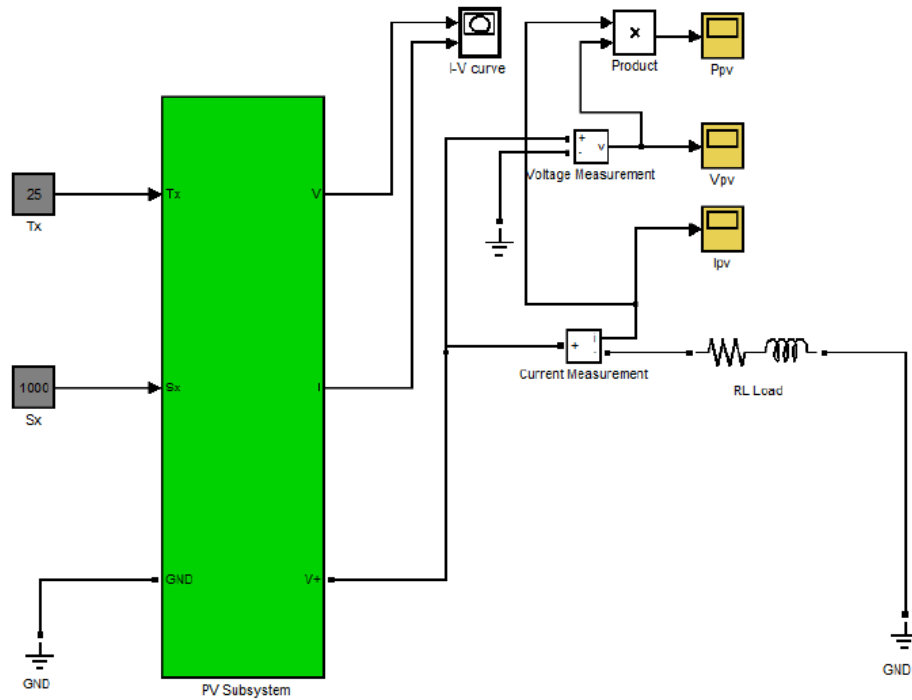


Рисунок 9.7 – Модель сонячної панелі REC270PE

Вихідна вольт-амперна характеристика панелі приведена на рис. 9.8.

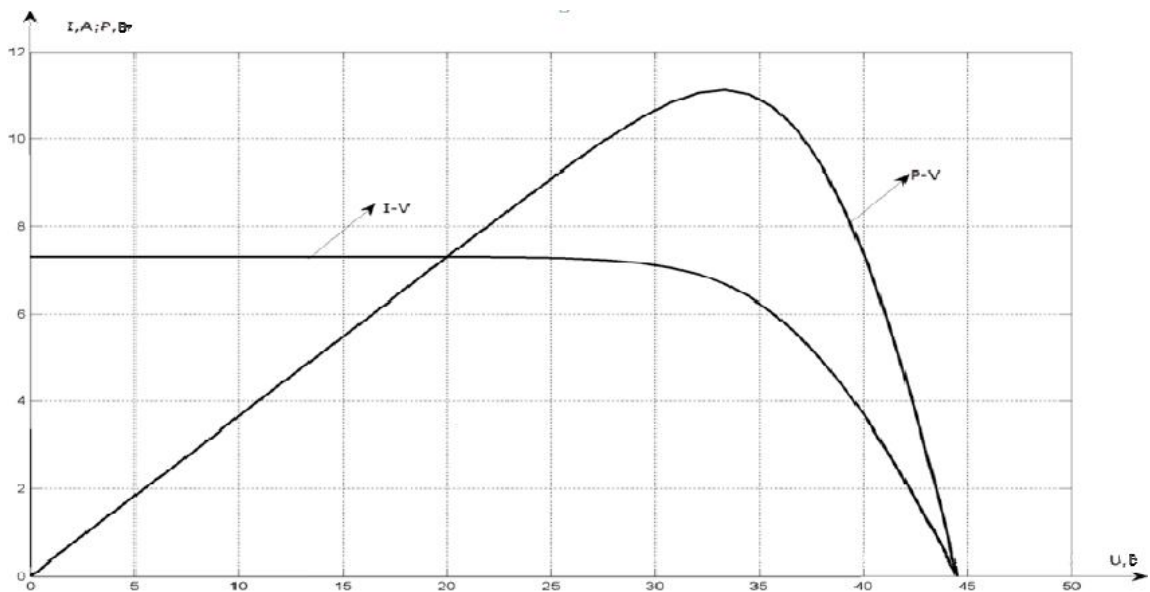


Рисунок 9.8 – Характеристики сонячної панелі

На рисунку 9.8 показані розрахункові характеристики струму та потужності сонячної панелі REC270PEBLACK (компанія PeakEnergy) для рівня освітленості сонячного елемента рівної $E = 1000 \text{ Вт / м}^2$. З рисунку видно, що найбільша ефективність сонячної панелі виникає при фіксованому положенні робочої точки при максимальній потужності.

Загальна вольт-амперна характеристика ФЕС 10 кВт має подібний характер, оскільки включає в себе 35 однотипних сонячних панелей, з'єднаних між собою.

Висновок: В результаті комп'ютерного моделювання були запропоновані моделі вітроелектричної установки та сонячної панелі ФЕС комбінованої системи електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії.

10 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Магістерська робота присвячена дослідженню електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки. Згідно ГОСТ 12.003-74, на операторів, які обслуговують обладнання персональних комп'ютерів, впливають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- нестача природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційне перевантаження).

10.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

10.1.1 Вимоги до організації робочого місця оператора комп'ютера

Організація робочого місця оператора повинна відповідати ергономічним вимогам ГОСТ 12.2.032 "ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования", характеру та особливостям трудової діяльності.

Площа, виділена для одного робочого місця повинна складати не менше 6 кв. м, а об'єм – не менше 20 куб м.

Робочі місця з відеотерміналами відносно світлових прорізів повинні розміщуватися так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

При розміщенні робочих місць з комп'ютерами необхідно дотримуватись таких вимог:

- робочі місця з комп'ютерами розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями відеотерміналів має бути не меншою за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного відеотермінала та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

Вимоги цього пункту щодо відстані між бічними поверхнями відеотерміналів та відстані між тильною поверхнею одного відеотерміналу та екраном іншого враховуються також при розміщенні робочих місць з комп'ютерами в суміжних приміщеннях, з урахуванням конструктивних особливостей стін та перегородок.

Організація робочого місця користувача ЕОМ повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам відповідно до ГОСТ 12.2.032-78 "ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования", з урахуванням характеру та особливостей трудової діяльності.

Конструкція робочого місця користувача відеотерміналу (при роботі сидячи) має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками: ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг; стегна – в горизонтальній площині; передпліччя – вертикально; лікті – під кутом 70-90 град. до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20 град, відносно горизонтальної площини, нахил голови – 15-20 град, відносно вертикальної площини.

Якщо користування комп'ютерами є основним видом діяльності, то вказане обладнання розміщується на основному робочому столі, як правило, з лівого боку. Якщо користування комп'ютерами є періодичним, то устаткування, як правило, розміщується на приставному столі, переважно з лівого боку від основного робочого столу. Кут між поздовжніми осями основного та приставного столів має бути 90-140 град. Якщо використання комп'ютерів є періодичним, то дозволяється обладнувати в приміщенні, що відповідає вимогам даних Правил, окремі робочі місця колективного користування з комп'ютерами.

Висота робочої поверхні столу для відеотерміналу має бути в межах 680-800 мм, а ширина – забезпечувати можливість, виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм.

Робочий стіл для відеотерміналу повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм. Робочий стіл для відеотерміналу, як правило, має бути обладнаним підставкою для ніг шириною не менше 300 мм та глибиною не менше 400 мм, з можливістю регулювання по висоті в межах 150 мм та кута нахилу опорної поверхні - в межах 20 град.

Застосування підставки для ніг тими, у кого ноги не дістають до підлоги, коли робоче сидіння знаходиться на висоті, потрібній для забезпечення оптимальної робочої пози, є обов'язковим. Робоче сидіння (сидіння, стілець, крісло) оператора комп'ютера повинно мати такі основні елементи: сидіння, спинку та стаціонарні або знімні підлокітники. У конструкцію сидіння можуть бути введені додаткові елементи, що не є обов'язковими: підголовник та підставка для ніг. Робоче сидіння оператора комп'ютера повинно бути підйомно-поворотним, таким, що регулюється за висотою, кутом нахилу сидіння та спинки, за відстанню спинки до переднього краю сидіння, висотою підлокітників.

Регулювання кожного параметра має бути незалежним, плавним або ступінчатим, мати надійну фіксацію. Хід ступінчатого регулювання елементів сидіння має становити для лінійних розмірів 15-20 мм; для кутових – 2-5 град. Зусилля під час регулювання не повинні перевищувати 20 Н. Ширина та глибина сидіння повинні бути не меншими за 400 мм. Висота поверхні сидіння має регулюватися в межах 400-500 мм, а кут нахилу поверхні – від 15 град, вперед до 5 град, назад. Поверхня сидіння має бути плоскою, передній край – заокругленим. Висота спинки сидіння має становити 300 мм, ширина – не менше 380 мм, радіус кривизни в горизонтальній площині – 400 мм. Кут нахилу спинки повинен регулюватися в межах 0-30 град, відносно вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння повинна регулюватись у межах 260-400 мм.

10.1.2 Вимоги електробезпеки до приміщень з комп'ютерами

Під час проектування систем електропостачання, монтажу силового електрообладнання та електричного освітлення будівель та приміщень з комп'ютерами необхідно дотримуватись вимог ПВЕ, ПТЕ, ПБЕ ЕЕС, ССБТ «Електробезопасность. Защитное заземление, зануление», ГОСТ 12.1.019 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования к номенклатуре видов защиты», Правил пожежної безпеки в Україні, а також розділів ДБН, що стосуються штучного освітлення та електротехнічних пристроїв, та вимог нормативно-технічної і експлуатаційної документації заводів виробників комп'ютерів. Комп'ютери та устаткування для обслуговування, ремонту та їх налагодження, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники, тощо) електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПВЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання

та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію. Під час ремонту ліній електромережі шляхом зварювання, паяння та з використанням відкритого вогню необхідно дотримуватися Правил пожежної безпеки в Україні. Лінія електромережі для живлення комп'ютерів, їх периферійних пристроїв та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється.

Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам ПВЕ. У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних комп'ютерів, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Комп'ютери та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути

такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення комп'ютерів та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження слід виконувати за магістральною схемою, по 3 - 6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 36 В за своєю конструкцією повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127В та 220В. Штепсельні з'єднання та електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 36 В, мають бути пофарбовані в колір, який візуально значно відрізняється від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог ПВЕ та Правил пожежної безпеки в Україні. Електромережу штепсельних розеток для живлення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 комп'ютерів, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції. Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізолюваними провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

10.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

10.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення - це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови - поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота оператора силової установки відноситься до легкої фізичної роботи категорія Ia, бо людина-оператор практично весь свій робочий день проводить сидячи. Параметри мікроклімату в кабіні крану наведено в таблиці.

Таблиця 10.1 - Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Ia	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Ia	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається:

- в холодну пору року - використання калорифера;
- в літню пору - застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву, провітрювання кабіни.

10.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі ' робочої зони в кабіні оператора установки

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглецю оксид (CO)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

Провітрювання приміщень;

Цілісність конструкції кабіни та вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення кабіни під час роботи установки;

Встановлення пиловловлюючих засобів.

10.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення - один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні.

При періодичному нагляді за ходом виробничого процесу на станції освітленість повинна складати не менше 50 лк. Оскільки в приміщенні знаходяться вимірювальні прилади та система управління, то освітленість повинна складати 300 лк. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи.

Приміщення забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу але вечері постає проблема в штучному освітленні.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці в кабіні. Кабіна відноситься до IV розряду зорової праці, тобто розряду середньої точності. Наведено норми при штучному та комбінованому освітленні в таблиці 10.3.

Таблиця 10.3 - Норми освітлення робочих поверхонь у виробничих приміщеннях.

Характеристики зорової роботи		Малої точності
Мінімальний розмір об'єкту розпізнавання, мм		Від 1 до 5
Розряд зорової роботи		V
Підрозряд зорової роботи		б
Контраст об'єкта розпізнавання з фоном		Середній
Освітленість Штучне освітлення	Загальне Комбіноване	150 200

В приміщенні кабіни оператора, особливо в зимовий період, коли світлий день досить короткий, природнього освітлення може бути недостатньо, тому використовується місцеве штучне освітлення (таблиця 10.4). Штучне освітлення здійснюється лампами розжарювання, що живляться від трансформатора власних потреб (12В).

Таблиця 10.4 - Вибір освітлюваного пристрою

Тип світильника	Лампа розжарювання
Світло розподілення	Несиметричне
Потужність ламп, Вт	До 200

Згідно [10]: характер зорової роботи - середня точність; розряд - IV; бокове значення коефіцієнта природної освітленості, %: суміщене 0,9.

$$e_N = e_n \cdot m_N,$$

m_N - коефіцієнт світлового клімату, $m_N = 0,9$ при орієнтації вікон на північний схід.

$$e_N = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8 \text{ \%}.$$

Для забезпечення нормативного значення e_N передбачено:

- використання додаткового штучного освітлення, а саме ламп розжарювання;

- необхідна кількість природного світла (великі вікна);

- для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним виділенням пилу, диму та кіптяви - не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком

Х.2.4 Виробничий шум

Рівень звуку вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{U}{U_0} \right),$$

де L - рівень шуму, дБ;

P - звуковий тиск, Па;

U_0 - коливальна швидкість, $5 \cdot 10^{-8}$ м/с;

P_0 - нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 10.5 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

10.2.5 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Вільна зручна поза, можливість зміни пози (сидячи, стоячи) за бажанням працівника. Знаходження в позі стоячи до 40% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 250

Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: до 50

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 4

По вертикалі: до 2

Інтелектуальні навантаження: Відсутня необхідність прийняття рішення

Зміст роботи: Сприймання сигналів, але без потреби в корекції дій, Обробка та виконання завдання, Робота за індивідуальним планом

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) до 25

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи до 75

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження до 5

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) до 2

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) до 16

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника

Ступінь ризику для власного життя – Виключений

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – Виключений

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово більше 10

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) більше 100

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) менше 75

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 6–7

Змінність роботи Однозмінна робота (без нічної зміни)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані, достатньої тривалості 7% і більше часу зміни.

10.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки в умовах дії загрозливих чинників НС

Всі електричні станції мають свої слабкі ланки до і є досить вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних

ситуаціях. Гібридна вітроелектрична установка є особливо уразлива через велику територію та безліч елементів можливого впливу чинників НС. Електропостачання багатьох об'єктів є стратегічним елементом, тому і важливим є питання забезпечення високої стійкості роботи вітроенергетичної установки.

Вплив радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища тощо. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання є електронне обладнання систем управління вітроенергетичної установки. Серед елементів є напівпровідники, блок живлення, блок керування та силові елементи, транзистори, діоди. Через впливи на ізоляцію в трансформаторах можливі замикання обмоток, а відповідно і вигорання обмоток чи загорання трансформаторів.

Після опромінення системи в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробую і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Особливо велику загрозу для систем управління вітроенергетичної установки має вплив електромагнітного імпульсу, який може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також внести серйозні порушення в роботу цифрових і контрольних пристроїв. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Дія електромагнітного імпульсу також може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання. Ці наслідки в подальшому призводять до пожеж на підприємстві та вибухів. Саме тому є

необхідність запобіганню дії цього фактору на електричне та електронне обладнання вітроенергетичної установки.

10.3.1 Дослідження безпеки роботи електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи електротехнічного комплексу вітроенергетичної установки в цих умовах приймається таке максимальне значення дози опромінення елементної бази, при якому в елементній базі можуть виникнути зміни, але РЕС ще буде працювати з необхідною якістю.

Максимально допустимі значення потужності дози елементів електротехнічного комплексу наведені в таблиці 10.6.

Таблиця 10.6 - Максимально допустимі значення потужностей дози.

№	Блок	Елементи комплексу гібридної вітроелектричної установки	$P_{гр,i}$ (Р/год)	$P_{гр}$ (Р/год)
1	БЖ	Транзистори КТ3102В	10^5	10^4
		Діоди загального призначення S1M	10^5	
2	БП	Конденсатори SMD1206 1nf, 16V	10^6	
		Резистори SMD1206 0,125 - 10кОм	10^6	
3	БКП	Мікросхеми PIC16F877	10^4	
		Діелектрики GTP15	10^4	

1. За мінімальним значенням $p_{гр}$ (див. табл. 5.1) межа стійкості $p_{гр}$ роботи комплексу складає $p_{гр} = 10^4$ (Р/год).

2. Для оцінки безпеки роботи електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ($p_{гр}$) за наступною формулою:

$$P_{гр} = K \times p_{гр} \times K_{нос}, \quad (10.1)$$

де K – коефіцієнт надійності, $K = 0,9..0,95$;

$p_{гр}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін найменш стійкого елемента;

$K_{пос}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{пос} = 7$),

$$P_{гр} = 0,9 \times 10^4 \times 7 = 6,3 \times 10^4 \text{ (Р/год)},$$

1. З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що безпека в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації не перевищуватиме $P_{гр} = 6,3 \times 10^4$ (Р/год).

2. Розрахуємо допустимо максимальний час перебування електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки на території в умовах дії іонізуючих випромінювань та ЕМІ:

$$D_m = \frac{2P_{гр} (\sqrt{t_K^2} - \sqrt{t_{II}^2})}{1}, \quad (10.2)$$

де $\sqrt{t_{II}^2}$, дорівнює 1;

D_m – дорівнює 10^3 ;

$t_{доп} = 12,6 \times 10^3$ (год).

Отже електротехнічний комплекс гібридної вітроелектричної установки буде працювати безпечно в умовах дії іонізуючих випромінювань.

10.3.2 Дослідження стійкості роботи електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки в умовах дії електромагнітного імпульсу

В якості показника безпеки елементів комплексу до дії електромагнітного імпульсу використовують коефіцієнт безпеки [20]:

$$K_{\sigma} = 20 \lg \frac{U_{\delta}}{U_{B(r)}} \geq 40 \text{ дБ}, \quad (10.3)$$

де U_{δ} - допустиме коливання напруги живлення;

$U_{B(\Gamma)}$ - напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних системах.

Спочатку визначається допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\delta} = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N, \quad (10.4)$$

де N - допустимі коливання (приймається $N = 5\%$)

Шляхом підстановки числових даних в (7.3) отримується:

$$U_{\delta} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6(B).$$

Визначається максимально очікувана напруга в горизонтальних лініях[20]:

$$U_B = \frac{U_{\delta}}{10^{\frac{K}{20}}} \quad (10.5)$$

Після підстановки числових даних:

$$U_B = \frac{12,6}{10^{\frac{40}{20}}} = 0,126(B).$$

З формули визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля[20]:

$$U_B = E_{\Gamma} \cdot l_B. \quad (10.6)$$

Отже, E_{Γ} визначається:

$$E_{\Gamma} = \frac{U_B}{l_B}. \quad (10.7)$$

Після підстановки числових даних в формулу (6.6):

$$E_r = \frac{0,126}{5} = 0,0252 (B/m).$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається з формули [20]:

$$E_r = 10^{-3} \cdot E_B. \quad (10.8)$$

Тоді E_B буде:

$$E_B = 0,0252 \cdot 1000 = 25,2 (B/m).$$

10.4 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки в умовах надзвичайних ситуацій

Для підвищення безпеки роботи необхідно використовувати екранування РЕА. Для цього визначимо перехідне гасіння енергії електричного поля сталевим екраном.

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (10.9)$$

де f - найбільш характерна частота, ($f = 15$ кГц).

Для двоканального електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки :

$$t_1 = \frac{40 - 38,72}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,0025 \text{ (см);}$$

Обираємо товщину стінки на порядок вище, для того щоб забезпечити необхідний захист обладнання. Прийmemo $t=0,1$ см.

$$A = 5,2 * 0,102 * \sqrt{15000} = 65 \text{ (дБ)}$$

Отже нам потрібно взяти сталевий екран товщиною 1 мм, який забезпечує згасання енергії електричного поля 65 дБ.

Висновки. Також в результаті проведених розрахунків визначено, що безпека роботи електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки забезпечується при рівні радіації до $6,3 \times 10^4$ (Р/год). До дії ЕМІ двоканальний електротехнічний комплекс гібридної вітроелектричної установки необхідно застосовувати екранування РЕА і це суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу. В результаті застосування екранів підсилювач буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 25,2 В/м. Ще одним варіантом підвищення безпеки роботи електротехнічного комплексу гібридної вітроелектричної установки до дії випромінювання є зменшення струмопровідних провідників шляхом вдосконалення схемоустаткування пристрою.

ВИСНОВКИ

Результати виконаної роботи показали, що розробка комбінованих систем автономного електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії є актуальним завданням щодо вирішення проблеми підвищення продуктивності і зниження витрат на генерування енергії.

В результаті виконання роботи було отримано такі загальні результати:

- проведено аналіз системи електропостачання на базі вітроелектричних установок, сонячних електростанцій та дизельних електростанцій; сформовано вимоги, які пред'являються до комбінованих систем автономного електропостачання;

- обґрунтовано розробку структури КАСЕП. Розраховано потужності системи комбінованої системи автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії, визначено характеристики основних елементів системи КАСЕП;

- виконано розрахунок ефективності капіталовкладень для впровадження комбінованої системи електропостачання із відновлюваними джерелами енергії; досліджувана система КАСЕП в комплексі окупить себе за 6,59 роки;

- здійснено вибір та розрахунок елементів комбінованої автономної системи електропостачання, а саме: тип генератора ВЕУ, елементи фотогальванічної електростанції, проміжного накопичувача енергії, контролера заряду та інверторів ВЕУ та ФЕС;

- розроблено схеми електричні структурні та принципові комбінованого автономного електротехнічного комплексу та блок-схему алгоритму оптимізації режимів його роботи;

- методом комп'ютерного моделювання досліджено динамічні характеристики системи КАСЕП;

- визначено основні положення щодо безпечної експлуатації ЕТК в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стребков Д. С, Сокольский А.К., Ахмед Т. А. Джайлани. Комбинированные электростанции для автономных сельскохозяйственных потребителей в Египте // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ 2009. № 3. С. 42-44.
2. Симакин В.В., Смирнов А.В., Тихонов А.В., Тюхов И.И. Современные системы автономного электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии // Энергетик. 2013. № 3. С. 22-26.
3. Симакин В.В., Смирнов А.В., Тихонов А.В., Тюхов И.И. Оптимизация комбинированной системы автономного электроснабжения сельхозтоваропроизводителей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. № 3 . С. 23-25.
4. О.Б. Мокін, С.А. Мартиненко. Дослідження електротехнічного комплексу гібридної вітроенергетичної установки. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 117 с.
5. Симакин В.В., Тюхов И.И., Тихонов А.В. Система автоматического измерения вольт-амперных характеристик и мониторинга фотоэлектрических преобразователей и модулей И Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments - 2009. Восьмая международная научно-практическая конференция: сборник трудов конференции. Российский университет дружбы народов. М., 2009. С. 307-309.
6. Попель О. С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2008. № 6. С. 95-106.
7. Гибридные системы буферного накопления электроэнергии для автономных энергоустановок возобновляемой энергетики [Текст]: отчет о НИР. II этап Моделирование автономного энергетического комплекса с буферными системами накопления электроэнергии (промежуточ.) / Нац.исслед. Томский политехнический университет; рук. Обухов С.Г.; исполн. Плотников И.А. [и др.]. - Т., 2011. - 183 с, 4 прил.- ГК №16.516.11.6033.

8. Расчет окупаемости сетевой солнечной станции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://alteco.in.ua/economics/raschet-teo/raschet-okupaemosti-ustanovki-solnechnoj-stancii-30-kvt>

9. Е.М. Фатеев. Ветро двигатели и ветроустановки. Учебное пособие. – Москва: Сельхозгиз, 1957. – 544 с.

10. Сонячна батарея JA Solar JAP6-270 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ecoenerhiia.ua/sonjachni-batarei/sonjachna-batareja-ja-solar-jap6-270-poly.html>.

11. А.И. Яковлев, М.А. Затучная. Рабочие и регулировочные характеристики ветротурбинпропеллерного типа. – Харьков: ХАИ, 1999. – Вып. 8. — С. 39 – 43.

12. Ахмед Т. А. Джайлани. Повышение надежности электроснабжения автономных сельских потребителей на основе использования возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология, 2010. № 2(82). С.35-38.

13. В.В. Шевченко, Я.Р. Кулиш. Анализ возможности использования разных типов генераторов для ветроэнергетических установок с учетом диапазона мощности // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2013. – № 65 (1038). – С. 107-117.

14. Гибридные системы буферного накопления электроэнергии для автономных энергоустановок возобновляемой энергетики [Текст]: отчет о НИР. III этап Экспериментальные исследования экспериментального образца гибридной системы буферного накопления электроэнергии для автономных энергоустановок возобновляемой энергетики (промежуточ.) / Нац. исслед. Томский политехнический университет; рук. Обухов С.Г.; исполн. Плотников И.А. [и др.]. - Т., 2012. - 187 с, 6 прил. ГК № 16.516.11.6033.

15. Белей, В.Ф. Современная ветроэнергетика: тенденции развития, проблемы и некоторые пути их решения / В.Ф. Белей, А.Ю. Никишин // Электрика. 2006. — № 8. — С. 19-22.

16. Зубова Н. В. Основные принципы управления ветроэнергетической установкой / С. Н. Удалов, Н. В. Зубова // Научный вестник НГТУ.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, №3(48), 2012 г. – с.153–161.

17. Кирпичникова И. М., Мартьянов А. С. О преобразовании энергии в ветроэнергетических установках малой мощности // Наука ЮУрГУ: материалы 61-й научной конференции. Секция технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. — 2009. — № 2. — С. 304.

18. Мартьянов А. С. Система автономного электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии // Фундаментальные и прикладные проблемы науки. Том 10. – Материалы VIII Международного симпозиума. – М.:РАН. — 2013. — С. 21.

19. Симакин В.В., Тюхов И.И., Тихонов А.В. Возможности моделирования комбинированных систем автономного электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: материалы XI международной научно-практической конференции. Углич, 2010. С. 574-580..

20. Синхронні генератори [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru-tehnika.pro/p41026149-sinhronnyj-generator-kvt.html>

21. Редуктори [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://reduktora.com.ua/katalog/reduktory-tsilindricheskie-1ts2u/reduktor-1ts2u-315k>

22. Интеллектуальные автономные системы электроснабжения на базе гибридных ветро-дизельных установок [Текст]: отчет о НИР. III этап, (промежуточ.) / Нац. исслед. Томский политехнический университет; рук. Лукутин Б.В.; исполн. Обухов С.Г. / [и др.]. - Т., 2011. - 165 с. - ГК №П627.

23. Вельский А.А. Повышение эффективности ветроэлектрических установок / А.А. Вельский, Б.Н. Абрамович // XXII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС-2010) «Будущее машиностроения России», М., 2010, С. 114.

24. Григораш, О.В. Нетрадиционные источники электроэнергии в составесистем гарантированного электроснабжения / О.В. Григораш, Н.И. Богатырев,Н.Н. Курзин // Промышленная энергетика. - 2004. - №1, С. 59-62.
25. Кривцов, В.С. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы /В.С. Кривцов, А.М. Олейников // Харьков, 2003. - 400 с.
26. Кривцов, В.С. Неисчерпаемая энергия. \ Кн. 2. Ветроэнергетика /В.С. Кривцов, А.М. Олейников // Харьков, 2004. - 519 с.
27. Николаев, В.Г. Методология ресурсного и технико-экономическогообоснования использования ветроэнергетических установок: автореф. дис. докт. тех. наук: 05.14.08 / Николаев Владимир Геннадьевич. - М., 2011. - 33 с.
28. Сурков, М.А. Повышение энергоэффективности автономных ветродизельных электротехнических комплексов: автореф. дис. ... канд. тех. наук:05.09.03 / Сурков Михаил Александрович. - Томск, 2011. - 21 с.
29. Четошникова, Л.М. Нетрадиционные возобновляемые источникиэнергии // Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. - 69 с. Учебное пособие. - 72 с.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ПОГОДЖЕНО

Заступник дек. ФЕЕЕМ з НМР

к.т.н., доцент

_____ О. Б. Бурикін

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕМСАПТ

д.т.н., проф.

_____ В. М. Кутін

« ____ » _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНИХ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

08-16.МКР.005.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

_____ О.А. Паянок

« ____ » _____ 2019 р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-18м

_____ Кметюк О.С.

« ____ » _____ 2019 р.

Вінниця ВНТУ 2019

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Комбінована система автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії».

Скорочене найменування розробки – «Комбінована система автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Комбінована автономна система електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії є автономним джерелом електроенергії для забезпечення потреб споживача. Електропривод ВЕУ та ФЕС забезпечують необхідні режими роботи системи електропостачання споживача відповідно до заданих алгоритмів функціонування.

4 Вимоги до розробки

Комбінована автономна система електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії повинна забезпечувати споживача електроенергією а також запасати її в акумуляторних батареях для живлення споживача в умовах не здатності генератора установки та ФЕС генерувати потужність. Топологія КСАЕП повина мати можливість варіювання з використанням засобів силової електроніки (узгоджувальних DC/DC перетворювачів) з метою мінімізації габаритів і кількості компонентних блоків, в залежності від необхідності нарощування або скорочення генеруючих потужностей.

5 Комплектація розробки

Структура комбінованої автономної системи електропостачання включає в себе: ВК – вітроколесо; СГПМ – синхронний генератор з постійними магнітами; ВЕУ – вітроелектрична установка; В – випрямляч; DC/DC – перетворювач постійного струму; ФЕС – фотоелектрична станція; АКБ – акумуляторна батарея; ДГ – дизель-генератор; ДЕС – дизель-електрична станція; QF – автоматичний вимикач; СГПМ – синхронний генератор із постійними магнітами.

6 Технічні характеристики

Потужність синхронного генератора, кВт	15
Кількість генераторів, шт.	1
Кількість сонячних батарей ФЕС	35
Потужність сонячних батарей, кВт	10
Ємність акумуляторних батарей, кВт·год	19,2
Кількість акумуляторних батарей	2
Максимальна потужність контролера заряду АКБ, кВт	30
Кількість контролерів заряду АКБ	1
Максимальна потужність інвертора, кВт	25
Кількість інверторів	3

7 Джерела розробки

1. Стребков Д. С., Сокольский А.К., Ахмед Т. А. Джайлани. Комбинированные электростанции для автономных сельскохозяйственных потребителей в Египте // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ 2009. № 3. С. 42-44.

2. Симакин В.В., Смирнов А.В., Тихонов А.В., Тюхов И.И. Современные системы автономного электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии // Энергетик. 2013. № 3. С. 22-26.

3. Симакин В.В., Смирнов А.В., Тихонов А.В., Тюхов И.И. Оптимизация комбинированной системы автономного электроснабжения

сельхозтоваропроизводителей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. № 3 . С. 23-25.

4. О.Б. Мокін, С.А. Мартиненко. Дослідження електротехнічного комплексу гібридної вітроенергетичної установки. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 117 с.

5. Симакин В.В., Тюхов И.И., Тихонов А.В. Система автоматического измерения вольт-амперных характеристик и мониторинга фотоэлектрических преобразователей и модулей И Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments - 2009. Восьмая международная научно-практическая конференция: сборник трудов конференции. Российский университет дружбы народов. М., 2009. С. 307-309.

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Елементна база

Синхронний генератор з постійними магнітами, вітроелектрична установка, випрямляч, перетворювач постійного струму, фотоелектрична станція, баластні навантаження, акумуляторна батарея, суперконденсатор, контактори, дизель-генератор, дизель-електрична станція, автоматичні вимикачі, синхронний генератор із постійними магнітами виробництва України, країн близького зарубіжжя та світу.

10 Конструктивне виконання

Складові установки виготовляються окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пиловологозахищеному виконанні.

10 Показники технологічності

Синхронний генератор з постійними магнітами, вітроелектрична установка, випрямляч, перетворювач постійного струму, фотоелектрична станція, баластні навантаження, акумуляторна батарея, контролер, АКБ та інвертор, сенсори, модуль передачі даних та мікроконтролер виконуються на сучасній елементній базі, їх монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування та ремонт

До оперативного обслуговування електроустановками допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

13 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
Ілюстративні матеріали

Мета, задачі та об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є процеси перетворення енергії в комбінованій автономній системі електропостачання з відновлювальними джерелами енергії.

Предметом є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити ефективність комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в розрахунку та виборі складових елементів комбінованої системи автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії з техніко-економічним обґрунтуванням впровадження в експлуатацію при значеннях потенціалу Вінниччини.

До **задач** магістерської кваліфікаційної роботи можна віднести:

- аналіз існуючих комбінованих систем автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії;
- техніко-економічний розрахунок впровадження комбінованої системи автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії;
- розрахунок та вибір оптимальних елементів комбінованої системи автономного електропостачання;
- розробка схеми електричної функціональної електротехнічного комплексу комбінованої автономної системи електропостачання;
- розробка схем електричних принципових модулів електротехнічного комплексу комбінованої автономної системи електропостачання та алгоритму оптимізації режимів роботи КАСЕП.
- розробка комп'ютерної моделі комбінованої системи автономного електропостачання.

Загальна характеристика систем ЕП на основі ВДЕ



Рисунок 1 – Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ)



Рисунок 3 – Фотоелектрична станція



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд ДЕС

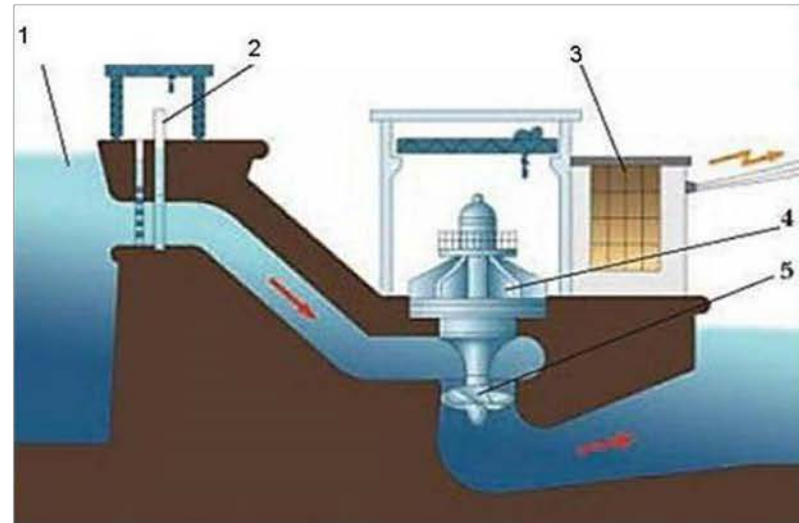


Рисунок 4 – Схема влаштування міні-ГЕС

ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРИ КАСЕП.

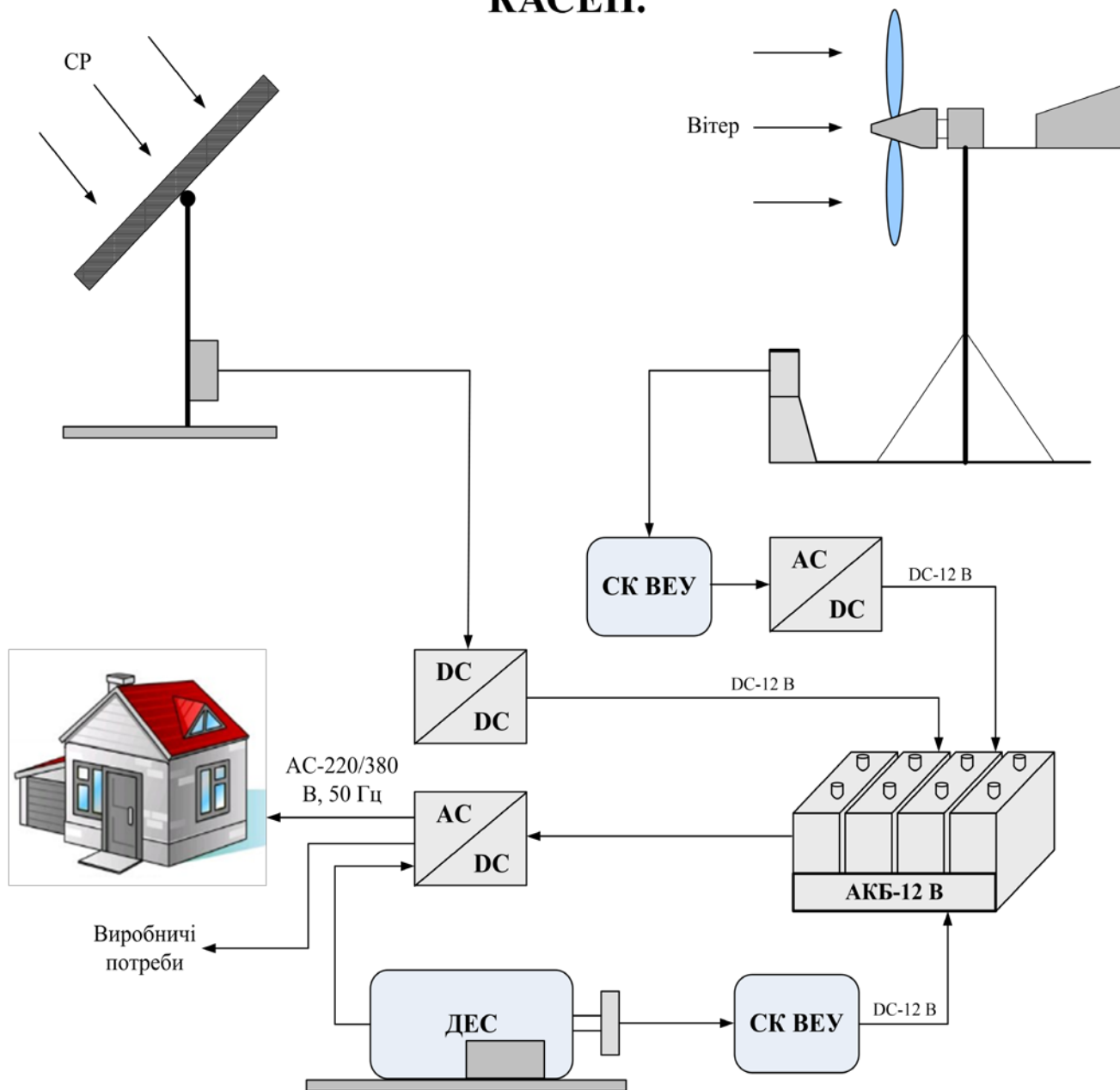


Рисунок 5 – Структурна блок-схема системи КАСЕП

РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ КАСЕП.

Таблиця 1 – Витрати електроенергії малим фермерським господарством

№ п/п	Електрообладнання	Встановлена номінальна потужність, Вт
1.	Типове навантаження побутового споживання приватного будинку: - холодильник; - кухонне приладдя/пристрої; - телевізори; - пральна машина; - електроінструмент; - бойлер; - освітлення; - насос (водопостачання).	7000
2.	Електричне опалення в розрахунку на опалювальну площу 50 м ² (в опалювальний сезон).	5500
3.	Майстерня по обслуговуванню транспортних та інших сільськогосподарських засобів та приладдя.	2500
4.	Токарний та столярний верстати, інше електрообладнання.	5500
5.	Млин (виготовлення кормів, круп, сумішей).	3500
6.	Електроспоживання та обслуговування приміщень по розведенню та утриманню сільськогосподарських тварин (корів, телят, свиней).	2800
7.	Виробництво молочної та м'ясної продукції (пастеризатори, преси, дегідратори, печі...)	4500
8.	Інше допоміжне обладнання.	2000
	Разом:	33300
	Коефіцієнт одночасності використання обладнання	0,72
	Загальна розрахункова потужність навантаження	23976

ТЕО СИСТЕМИ КАСЕП

Таблиця 3 – Кошторис капіталовкладень

Елементи електротехнічного комплексу	Ціна, грн.
Синхронний генератор ГС-15	28500
Конструкція ВЕУ, встановлення	18000
Мережевий інвертор GoodWe GW15K-DT (ВЕУ)	75148
Редуктор 1Ц2У315К-25-12 ЦЦУ1(ВЕУ)	14280
Фотогальванічні панелі REC270PEBLACK(37 шт.)	118300
Металоконструкції для монтажу панелей, кріплення	20000
AGM аккумулятори EverExceed DP-12200 (8 шт. – 19,2 кВт)	112792
Контролер WWS200A-360	41440
Інвертор DiehlPlatinum 3000 H (ФЕС)	18262
Інвертор DiehlPlatinum 7200 TL (ФЕС)	30400
Додаткові пристрої системи КСАЕП	12000
Периферійні пристрої, комутаційні апарати	5600
Кабель для ФЕС TUV Solar Cable 4 мм (100м.)	2800
Дизельна ЕС Hyundai DHY 12000SE-3 10 кВт	116759
Загальна вартість	614281
Транспортні витрати та монтажні витрати (13%)	79857
Витрати на будівельні роботи (10%)	61428
Капітальні витрати (інвестиції)	755566

Розрахунок потужності, вибір двигуна ЕП ВЕУ

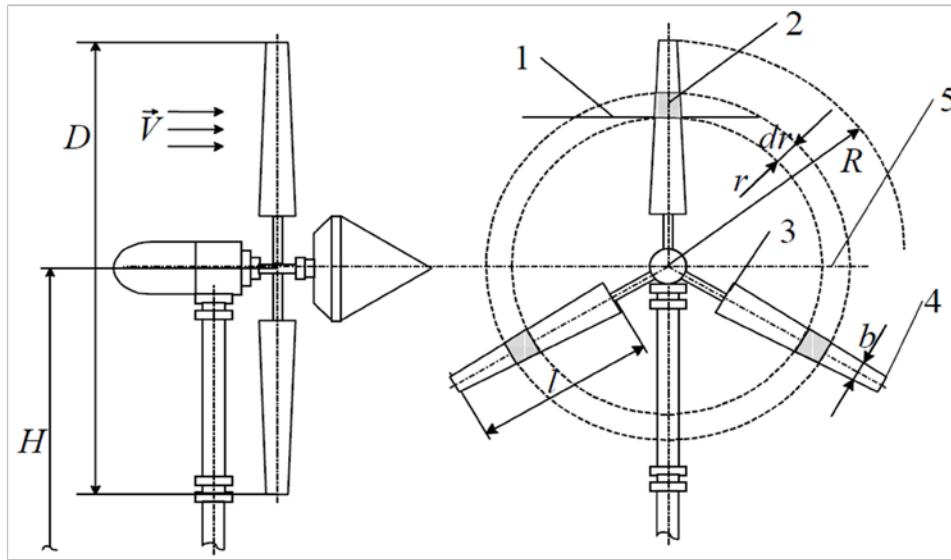


Рисунок 6 – Вітроколесо пропелерного типу:
 1 – проміжний переріз; 2 – елементарна лопать;
 3 – корінний переріз; 4 – периферійний переріз;
 5 – елементарний кільцевий струмінь

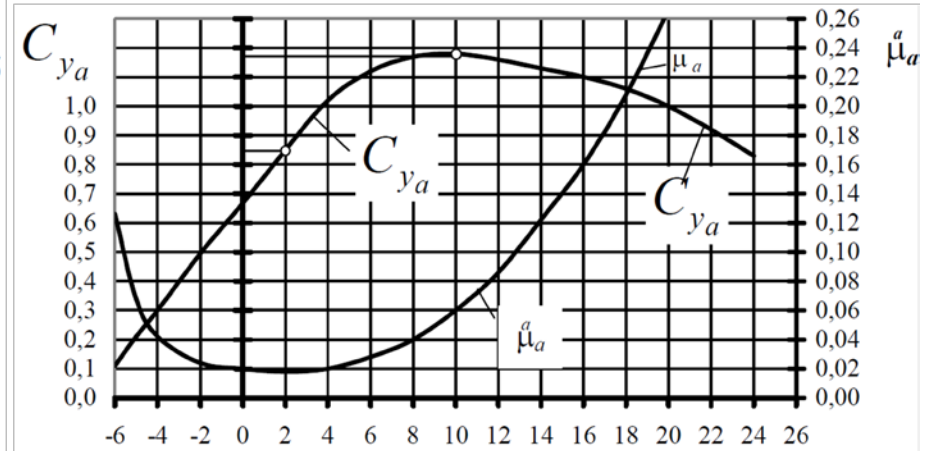
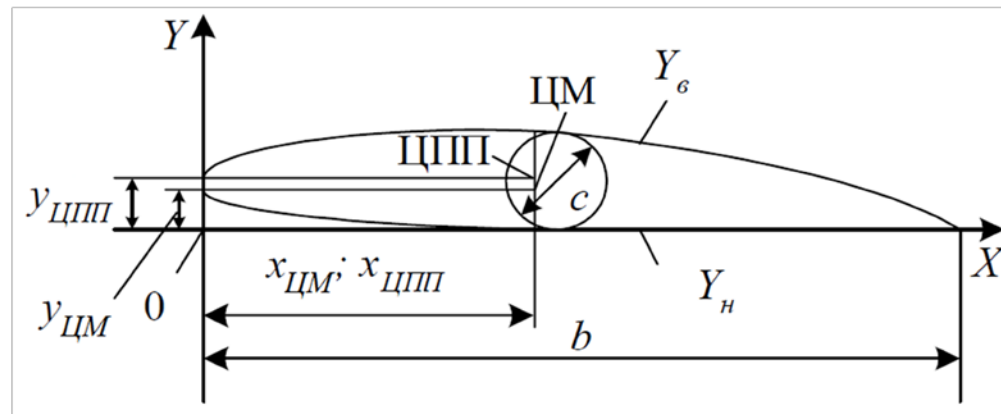


Рисунок 7 – Аеродинамічні характеристики профілю типу «Есперо»



ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ КСАЕП (ВЕУ, ФЕС)

Вибір елементів КСАЕП (ВЕУ, ФЕС)

Дані синхронного генератора ГС-15

Номинальна потужність, кВт	15
Схема з'єднання	Зірка
Напруга, В	400
Частота, Гц	50
Коефіцієнт потужності, cosφ	0.8
Номинальний струм, А	27
ККД, %	90
Частота обертання, об/хв	1500
Режим роботи по ГОСТ 183-74	S1 (довготривалій)
Тип збудження	безщіткове, самозбудження

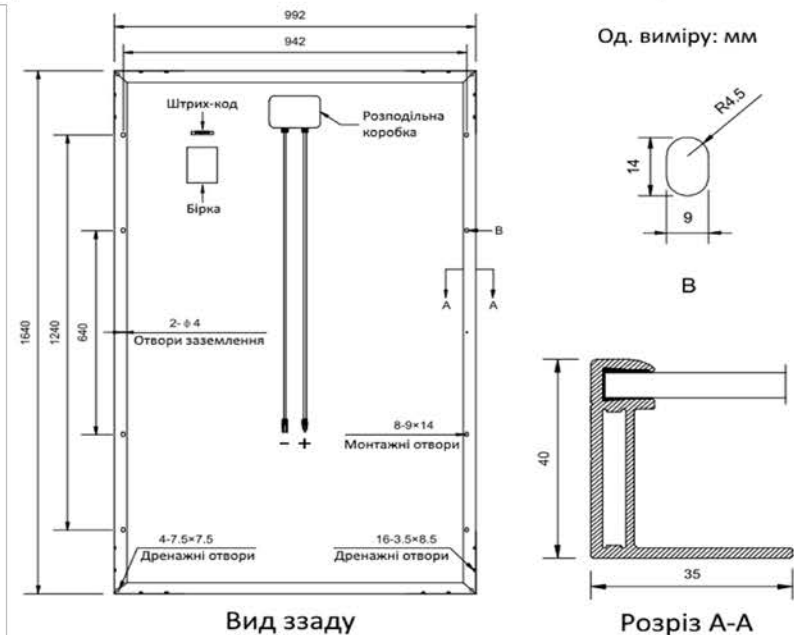
Технічні характеристики ФЕС

№ п/п	Найменування технічної складової	Кількість
1	Загальна кількість фотогальванічних панелей потужністю 270 Вт (шт.)	35
2	Кількість інверторів Diehl Platinum 3000 H	1
3	Кількість інверторів Diehl Platinum 7200TL	1
4	Номинальна потужність електростанції (кВт)	10

Рисунок 8 – Геометрія поверхні сонячних батарей ФЕС

Основні параметри фотогальванічних панелей типу REC270PE BLACK

№ п/п	Найменування показника	REC270PE BLACK
1	Максимальна потужність, P_m	270 Вт
2	Струм короткого замикання, I_k	9,29 А
3	Напруга холостого ходу, U_{xx}	38,6 В
4	Напруга в режимі видачі максимальної потужності, $U_{мп}$	31,2 В
5	Номинальний струм, $I_{мп}$	8,67 А
6	Габаритні розміри (Д, Ш, Т), мм	1665x991x38
7	Вага	19кг
8	Відносне значення ефективності	16,4 %

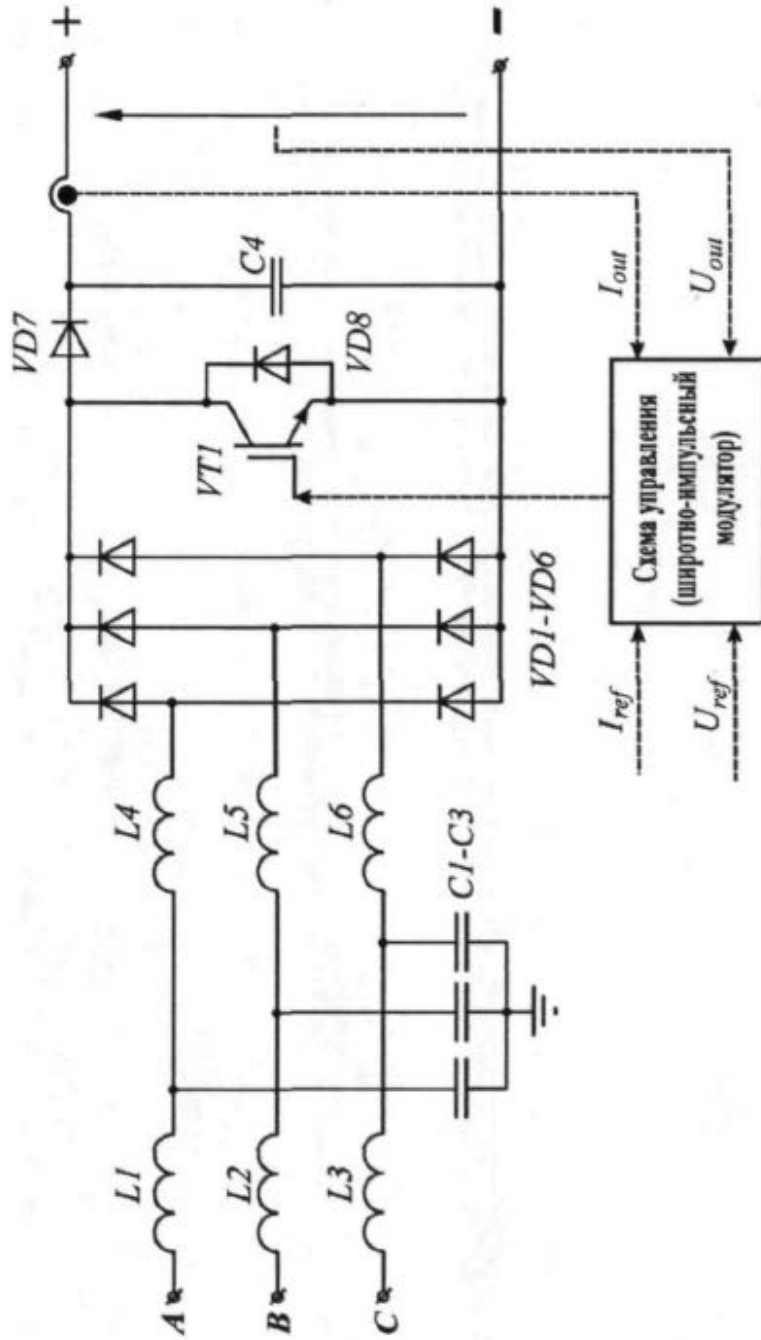


ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СТРІНГОВИХ ІНВЕРТОРІВ

Таблиці 2 – Основні характеристики інвертора Platinum 3000 Н та Platinum 7200 TL

Вхідні параметри інвертора (DC)	Значення параметра
Максимальна потужність при постійному струмі, кВт	3,0
Максимальне значення напруги при постійному струмі, В	600
Максимальний струм на кожний МРРТ, А	13,5
Максимальний вхідний струм, А	20,2
Діапазон МРРТ на 100% потужності, В	від 230 до 480
Максимальна кількість входів	3
Кількість МРРТ трекерів	1
Вихідні параметри інвертора (AC)	
Номинальна активна потужність, кВт	2,9
Максимальна повна потужність, кВА	2,9
Максимальна активна потужність (cosφ=1), кВт	2,9
Номинальна напруга, В	230 (+/-20%)
Номинальна частота, Гц	50 (+/-10%)
Номинальний струм, А	13
Кількість фаз/кількість виходів	1/3
Коефіцієнт потужності, cosφ	0,9
Загальні параметри інвертора	
Діапазон робочих температур, °С	від -25 до +65
Відносна вологість, %	від 4 до 99%
Клас захисту оболонки	IP65
Висота установки, м	від 0 до 2000
Габаритні розміри (ШхДхВ), мм	610 x 353 x 154
Вага, кг	19

Вхідні параметри інвертора (DC)	Значення параметра
Максимальна потужність при постійному струмі, кВт	7,2
Максимальне значення напруги при постійному струмі, В	880
Максимальний струм на кожний МРРТ, А	21
Діапазон МРРТ на 100% потужності, В	від 351 до 710
Максимальний вхідний струм, А	26
Максимальна кількість входів	3
Кількість МРРТ трекерів	1
Вихідні параметри інвертора (AC)	
Номинальна активна потужність, кВт	6,9
Максимальна повна потужність, кВА	6,9
Номинальна напруга, В	230 (+/-20%)
Номинальна частота, Гц	50 (+/-20%)
Номинальний струм, А	30
Кількість фаз/кількість виходів	1/1
Коефіцієнт потужності, cosφ	0,7
Загальні параметри інвертора	
Діапазон робочих температур, °С	від -20 до +60
Відносна вологість, %	від 0 до 95%
Клас захисту оболонки	IP66
Висота установки, м	від 0 до 2000
Габаритні розміри (ШхДхВ), мм	720 x 320 x 250
Вага, кг	29



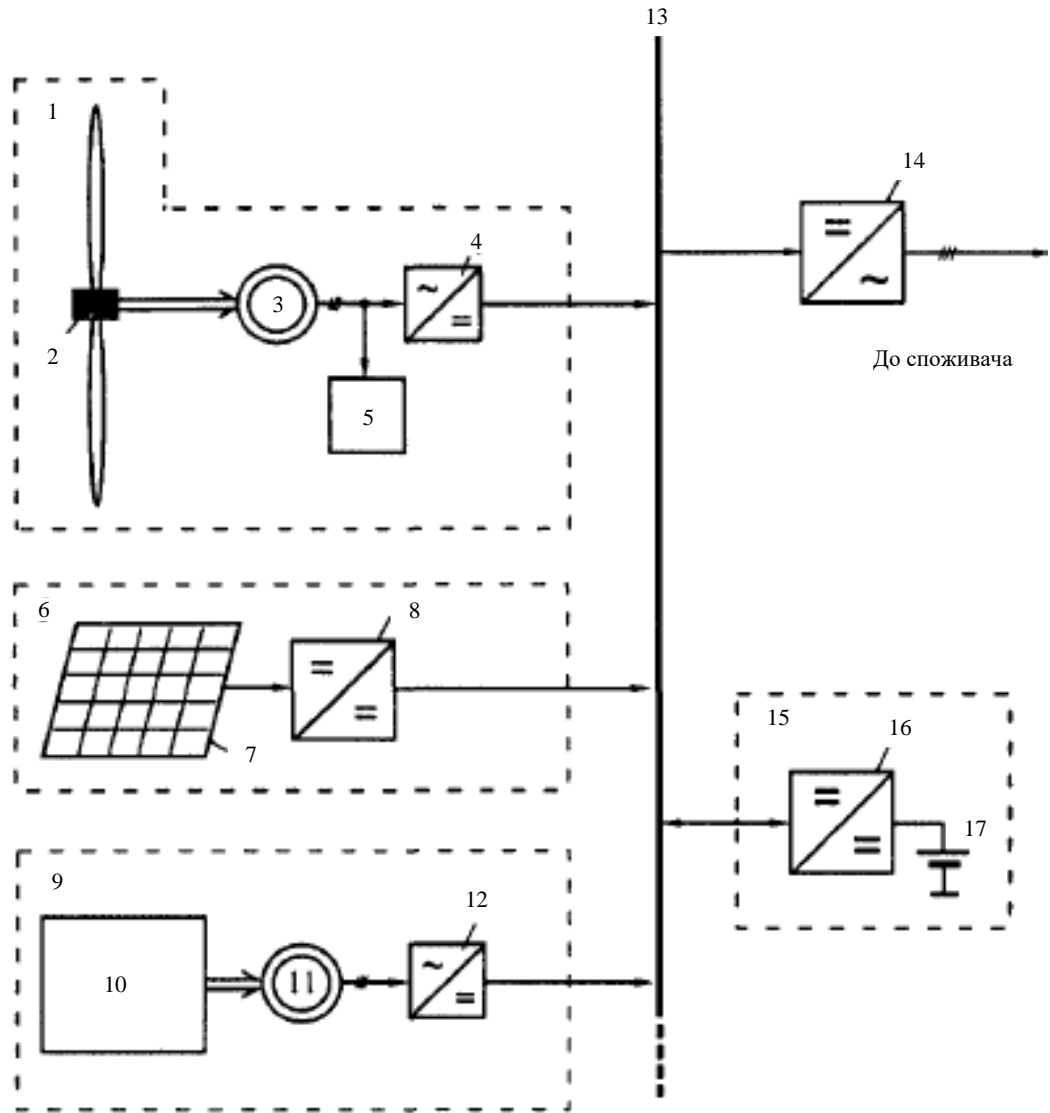
На зам. інв.	Інв. №	Підпис та дата

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розробив		Кметюк О.С.		
Перевірив		Паянок О.А.		
Т. контр.				
Н.контр.		Паянок О.А.		
Затв.		Кутін В.М.		

08-16.МКР.005.00.000 Е1

Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії.
Схема електрична структурна побудови керованого випрямляча ВЕУ.

Літера	Маса	Масштаб
у		
Аркуш 1	Аркушів	
ВНТУ, гр. ЕПА-18м		



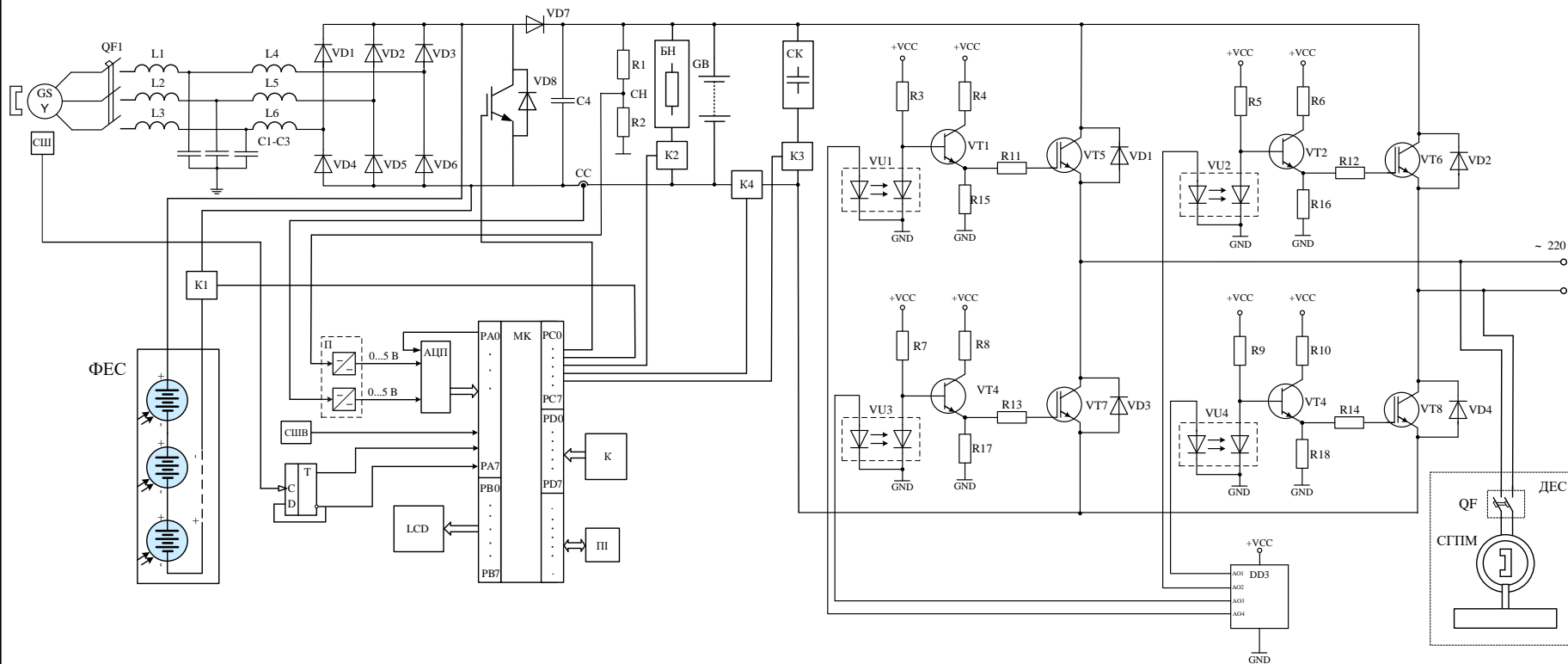
Підпис та дата	Підпис та дата
	Інв. №
На зам. інв.	
Підпис та дата	
Інв. №	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розробив		Кметюк О.С.		
Перевірив		Паянок О.А.		
Т. контр.				
Н.контр.		Паянок О.А.		
Затв.		Кутін В.М.		

08-16.МКР.005.00.000 Е2

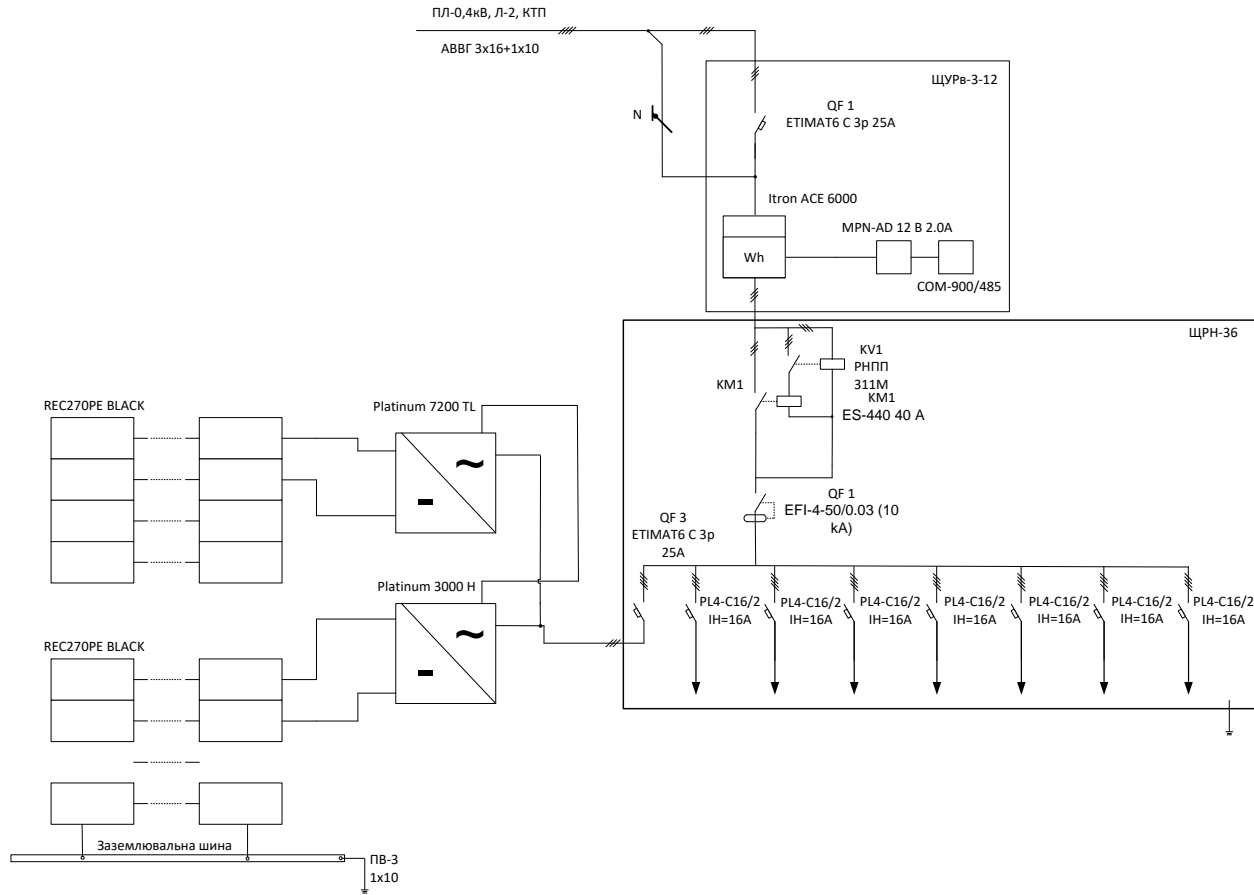
Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії.
Схема електрична функціональна системи КАСЭП.

Літера	Маса	Масштаб
у		
Аркуш 1	Аркушів	
ВНТУ, гр. ЕПА-18м		



Інв. №	Підп. і дата
пол.і.	
Інв. №	Інв. №
дубл.	дубл.
Інв. №	Інв. №
Інв. №	Інв. №
Інв. №	Інв. №
Інв. №	Інв. №
Інв. №	Інв. №
Інв. №	Інв. №

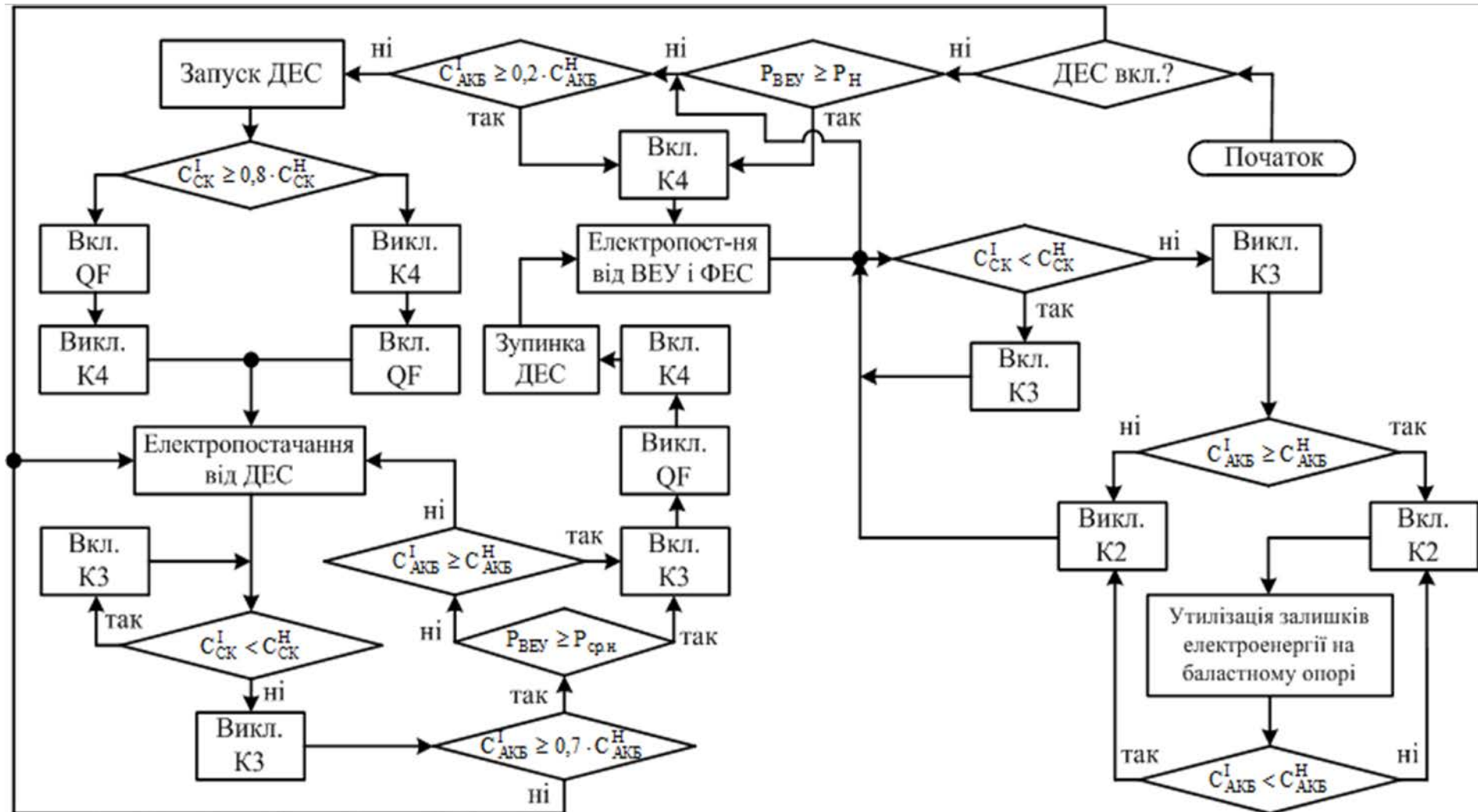
08-16.MKP.005.00.000.E3				Літ.	Маса	Масштаб
Зм. Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії. Схема електрична принципова системи КАСЕП.		
Розробив	Кметюк О.С.			Аркуші	1	Аркуші
Перевірив	Лавнюк О.А.			1		1
Т. контр.						
Норм.кон.				гр. ЕПА-18м		
Затверд.	Кутин В.М.					



Ім. № Підпис та дата

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії.				Літера	Маса	Масштаб		
Розробив	Кметюк О.С.				Схема однолінійна електрична принципова ФЕС системи КАСЕР				y				
Перевірив	Паянок О.А.								Аркуш I	Аркушів			
Т. контр.													
Н.контр.	Паянок О.А.								ВНТУ, гр. 2ЕМ-156				
Затв.	Кутів В.М.												

Алгоритм оптимізації структури та режимів роботи КАСЕП



Моделювання перехідних процесів ВЕУ

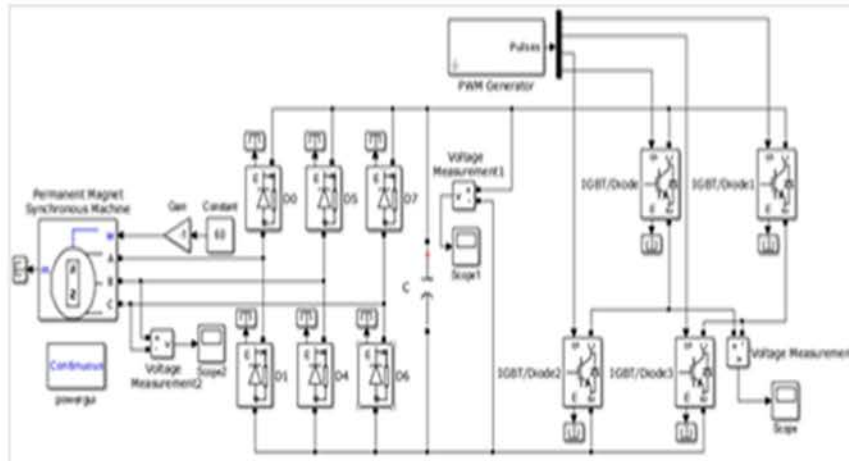


Рисунок 9 – Модель вітроенергетичної установки

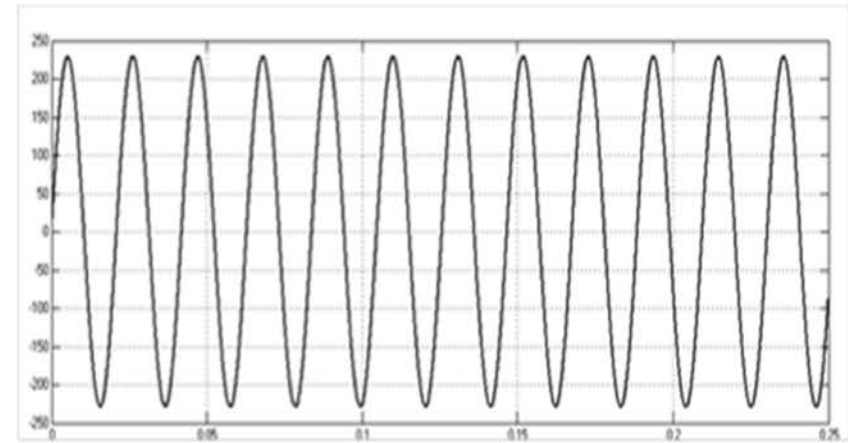


Рисунок 10 – Напряга на виході синхронного генератора

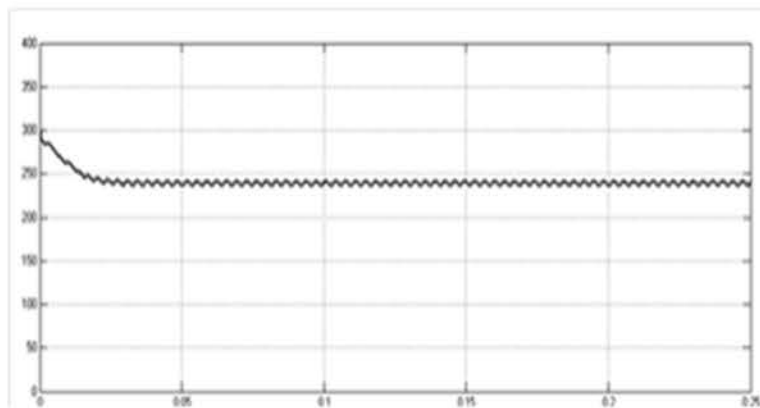


Рисунок 11 – Крива напруги на виході випрямляча

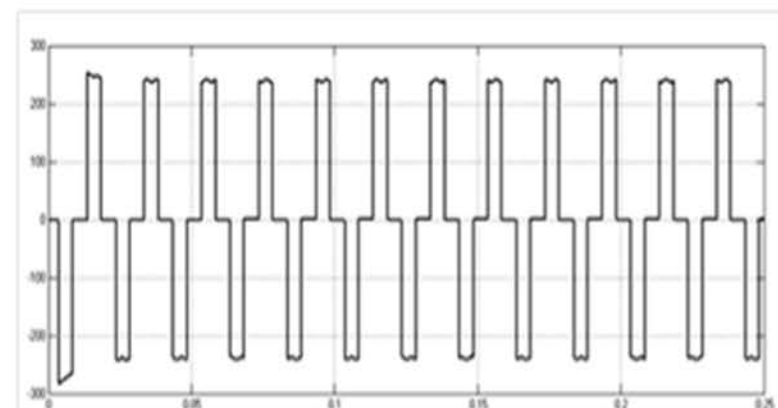


Рисунок 12 – Напряга на виході інвертора

Моделювання перехідних процесів ФЕС

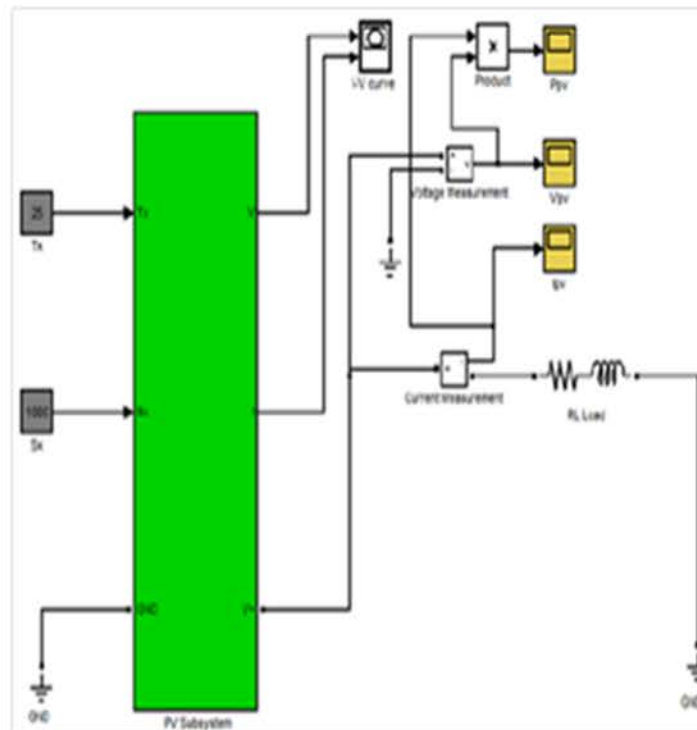


Рисунок 13 – Модель сонячної панелі REC270PE

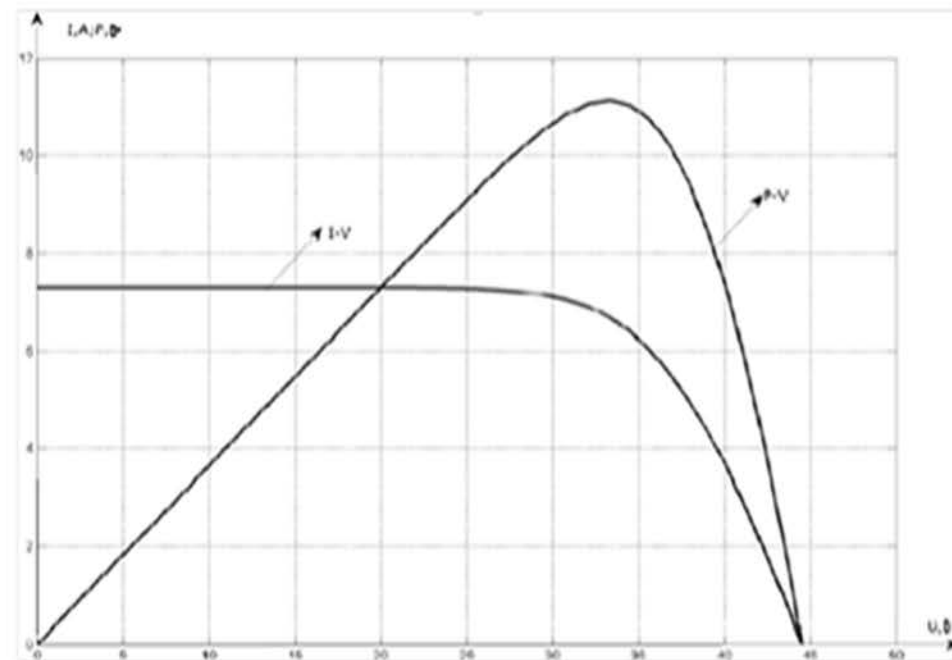


Рисунок 14 – Характеристики сонячної панелі

ВИСНОВКИ

Результати виконаної роботи показали, що розробка комбінованих систем автономного електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії є актуальним завданням щодо вирішення проблеми підвищення продуктивності і зниження витрат на генерування енергії.

В результаті виконання роботи було отримано такі загальні результати:

- проведено аналіз системи електропостачання на базі вітроелектричних установок, сонячних електростанцій та дизельних електростанцій; сформовано вимоги, які пред'являються до комбінованих систем автономного електропостачання;

- обгрунтовано розробку структури КАСЕП. Розраховано потужності системи комбінованої системи автономного електропостачання на основі відновлювальних джерел енергії, визначено характеристики основних елементів системи КАСЕП;

- виконано розрахунок ефективності капіталовкладень для впровадження комбінованої системи електропостачання із відновлюваними джерелами енергії; досліджувана система КАСЕП в комплексі окупить себе за 6,59 роки;

- здійснено вибір та розрахунок елементів комбінованої автономної системи електропостачання, а саме: тип генератора ВЕУ, елементи фотогальванічної електростанції, проміжного накопичувача енергії, контролера заряду та інверторів ВЕУ та ФЕС;

- розроблено схеми електричні структурні та принципів комбінованого автономного електротехнічного комплексу та блок-схему алгоритму оптимізації режимів його роботи;

- методом комп'ютерного моделювання досліджено динамічні характеристики системи КАСЕП;

- визначено основні положення щодо безпечної експлуатації ЕТК в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

