

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри АКІТ,
кандидат технічних наук, доцент
_____ Микола СІДЄЛЄВ
«___» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСОМ
ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ І СОНЯЧНОЇ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Здобувач _____ **Аркадій ДРАМАРЕЦЬКИЙ**
«___» _____ 2026 р.

Керівник роботи _____ **Олег ЩЕСЮК**
канд. техн. наук, доцент «___» _____ 2026 р.

Консультант _____ **Анна АЛЕКСЄЄВА**
канд. техн. наук, доцент «___» _____ 2026 р.

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Освітній ступінь	Бакалавр
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма	Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматизації та
 комп'ютерно-інтегрованих технологій
 канд. техн. наук, доцент

_____ Микола СІДЄЛЄВ

“___” _____ 202 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу здобувача

Драмарецький Аркадій Ігорович

1. Тема проекту (роботи)

Автоматизована система керування комплексом дизель-генераторної установки і сонячної електростанції _____

керівник проекту (роботи) канд. техн. наук, доцент Щесюк Олег Володимирович, затверджені наказом вищого навчального закладу від “05”_11__2025 року № 264.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18.06.2025

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Сонячна електростанція потужністю 46,25 кВт на базі фотоелектричних модулів Jinko Solar 66HL4M потужністю 625 Вт.

Акумуляторна батарея BYD LITEIN 45. Дизель-генераторна установка ВВ-110. Гібридний інвертор Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-VM4. Програмований логічний контролер Siemens S7-1200 CPU 1212C. Автоматичне керування режимами роботи СЕС, АКБ та ДГУ, моніторинг параметрів системи та візуалізація технологічного процесу.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація; вступ; аналіз сучасних гібридних енергетичних систем та засобів їх автоматизації; розробка структурної схеми гібридної енергетичної системи; розробка функціональної та електричної принципової схем; вибір та обґрунтування обладнання; розробка алгоритму автоматичного керування системою; розробка програмного забезпечення для контролера Siemens S7-1200; створення інтерфейсу оператора в середовищі WinCC; моделювання роботи системи; охорона праці; висновки; перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) структурна схема гібридної енергетичної системи; функціональна схема системи керування; електрична принципова схема СЕС–АКБ–ДГУ; блок-схема алгоритму автоматичного керування; графічний інтерфейс оператора WinCC; імітаційна модель гібридної енергетичної системи; результати моделювання роботи системи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Щесюк О.В., доцент кафедри АКІТ	05.11.2025	
2	Щесюк О.В., доцент кафедри АКІТ	20.01.2026	
3	Щесюк О.В., доцент кафедри АКІТ	03.04.2026	
4	Алексеева А.О., доцент кафедри екології	20.04. 2026	

7. Дата видачі завдання «05» листопада 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Обговорення пропозицій теми від керівника	23.09.2025	Виконано
2	Обговорення із студентом теми, яка вибрана	01.10.2025	Виконано
3	Формування завдання, затвердження теми	05.11.2025	Виконано
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	07.11.2025	Виконано
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	21.11.2025	Виконано
6	Виконання першої частини	02.12.2025	Виконано
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	26.12.2025	Виконано
8	Опрацювання другої частини	12.03.2026	Виконано
9	Робота над третьою частиною (при наявності)	17.04.2026	Виконано
10	Робота над розділом з охорони праці	20.05.2026	Виконано
11	Передзахисти	12.05.2026	Виконано
12	Передача (ЕВ) кваліфікаційної роботи	18.06.2026	Виконано
13	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	20.06.2026	Виконано

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Здобувач

_____ **Аркадій ДРАМАРЕЦЬКИЙ**

« _ » _____ 20__ р.

Керівник роботи

к. т. н. , доцент

_____ **Олег ЩЕСЮК**

« _ » _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

Драмарецький А.І. Автоматизована система керування комплексом дизель-генераторної установки і сонячної електростанції.

Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили, 2026.

У бакалаврській роботі представлено автоматизовану систему керування гібридною енергетичною системою на базі сонячної електростанції, акумуляторної батареї та дизель-генераторної установки. Розроблена система призначена для забезпечення надійного та безперебійного електропостачання споживачів шляхом автоматичного керування джерелами електричної енергії залежно від поточного режиму роботи та енергетичного балансу системи.

У роботі проведено аналіз сучасних гібридних енергетичних систем, дизель-генераторних установок, сонячних електростанцій та засобів автоматизації. Розглянуто принципи функціонування гібридних систем електропостачання та особливості їх використання для підвищення енергоефективності й надійності електропостачання.

Розроблено функціональну та електричну принципову схеми системи, виконано вибір і обґрунтування основного обладнання, до складу якого входять сонячні панелі Jinko Solar 66HL4M потужністю 625 Вт, акумуляторна батарея BYD LITEIN 45, дизель-генераторна установка ВВ-110, гібридний інвертор Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-VM4 та програмований логічний контролер Siemens S7-1200 CPU 1212C.

Розроблено алгоритм автоматичного керування роботою гібридної енергетичної системи. Для візуалізації та моніторингу параметрів системи створено графічний інтерфейс оператора в середовищі WinCC.

З метою перевірки працездатності розроблених рішень виконано моделювання роботи гібридної енергетичної системи в середовищі Factorio.

Результати моделювання підтвердили коректність роботи алгоритму керування, ефективність автоматичного перемикання між джерелами живлення та можливість забезпечення безперервного електропостачання споживачів.

Сторінок – 89. Рисуноків – 27. Таблиць – 12. Посилань – 35.

Ключові слова: гібридна енергетична система, сонячна електростанція, дизель-генераторна установка, акумуляторна батарея, автоматизована система керування, Siemens S7-1200, TIA Portal, WinCC, Factorio, автоматизація.

ABSTRACT

Dramaretskyi A.I. Automated control system for a complex of a diesel generator unit and a solar power plant

Bachelor's qualification work in specialty 151 "Automation and computer-integrated technologies". – Mykolaiv, Petro Mohyla Chernivtsi National University, 2025.

This bachelor's thesis presents an automated control system for a hybrid energy system based on a solar power plant, battery energy storage system, and diesel generator unit. The developed system is designed to ensure reliable and uninterrupted power supply to consumers through automatic control of power sources depending on the current operating mode and energy balance of the system.

The thesis includes an analysis of modern hybrid energy systems, diesel generator units, solar power plants, and automation technologies. The operating principles of hybrid power supply systems and the specifics of their application for improving energy efficiency and power supply reliability are considered.

A functional diagram and an electrical schematic of the system were developed. The selection and justification of the main equipment were carried out, including Jinko Solar 66HL4M photovoltaic modules rated at 625 W, a BYD LITEIN 45 battery energy storage system, a BB-110 diesel generator unit, a Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-BM4 hybrid inverter, and a Siemens S7-1200 CPU 1212C programmable logic controller.

An automatic control algorithm for the hybrid energy system was developed. A graphical operator interface was created in WinCC for system monitoring and control.

To verify the performance of the proposed solutions, a simulation model of the hybrid energy system was developed in the Factorio environment. The simulation results confirmed the correct operation of the control algorithm, the

effectiveness of automatic switching between power sources, and the capability of providing uninterrupted power supply to consumers.

Pages – 89. Figures – 27. Tables – 12. References – 35.

Keywords: hybrid energy system, solar power plant, diesel generator unit, battery energy storage system, automated control system, Siemens S7-1200, TIA Portal, WinCC, Factorio, automation.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	12
ВСТУП	13
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ	15
1.1 Основні поняття та принцип роботи гібридної енергетичної системи	16
1.2 Аналіз дизель-генераторних установок потужністю до 100 кВт	19
1.3 Огляд типів сонячних панелей	23
1.4 Характеристика інверторів для гібридних енергетичних систем	26
1.5 Функціональна схема гібридної енергетичної системи	30
1.6 Огляд режимів роботи гібридної енергетичної системи	32
1.7 Аналіз патентної інформації	34
1.8 Завдання на проєктування	36
1.9 Висновки до розділу 1	37
2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ	38
2.1 Загальний опис автоматизованої системи керування комплексом СЕС та ДГУ ЧНУ ім. Петра Могили	38
2.1.1 Принцип роботи гібридної енергетичної системи	39
2.2 Опис апаратного забезпечення системи	40
2.2.1 Дизель-генераторна установка ВВ-110	41
2.2.2 Сонячна електростанція на базі фотоелектричних модулів Jinko Solar 625 W	42
2.2.3 Акумуляторна батарея BYD LITEIN 45	44
2.2.4 Гібридний інвертор Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-BM4	45
2.2.5 Програмований логічний контролер Siemens S7-1200 CPU 1212C	47
2.2.6 Електрична принципова схема системи	49
2.2.7 Вибір обладнання та обґрунтування його застосування	50
2.3 Опис програмного забезпечення системи	52
2.3.1 Розробка алгоритму роботи системи	53
2.3.2 Візуалізація та графічний інтерфейс оператора	56

2.4	Моделювання роботи гібридної енергетичної системи	57
2.4.1	Створення імітаційної моделі системи.....	58
2.4.2	Аналіз роботи системи в нормальному режимі	60
2.4.3	Аналіз роботи системи в аварійному режимі	62
2.4.4	Аналіз результатів моделювання.....	63
2.5	Висновки до розділу 2	64
3	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСОМ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ТА СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	66
3.1	Загальна характеристика умов праці	66
3.1.1	Характеристика автоматизованої системи	67
3.1.2	Характеристика робочого місця оператора	68
3.1.3	Нормативно-правова база з охорони праці	69
3.2	Аналіз небезпечних та шкідливих факторів	70
3.2.1	Електричні небезпеки	71
3.2.2	Небезпечні фактори дизель-генераторної установки	72
3.2.3	Небезпечні фактори сонячної електростанції	72
3.2.4	Психофізіологічні фактори	73
3.3	Заходи забезпечення безпечних умов праці.....	73
3.3.1	Заходи електробезпеки	74
3.3.2	Пожежна безпека	75
3.3.3	Санітарно-гігієнічні умови праці.....	75
3.4	Ергономіка робочого місця оператора	76
3.4.1	Вимоги до робочого місця	77
3.4.2	Режим праці та відпочинку.....	77
3.5	Цивільний захист та дії в аварійних ситуаціях	78
3.5.1	Аналіз можливих надзвичайних ситуацій	79
3.5.2	Дії персоналу під час аварійних ситуацій.....	79
3.5.3	Захист інформації та кібербезпека.....	80
3.6	Розрахунок штучного освітлення операторської	81
3.6.1	Вихідні дані для розрахунку	81

3.6.2 Визначення норм освітленості	82
3.6.3 Розрахунок кількості світильників	82
3.6.4 Аналіз отриманих результатів	83
Висновки до розділу 3	83
ВИСНОВКИ	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- АКБ – акумуляторна батарея
- АСК – автоматизована система керування
- В – вольт
- Гц – герц
- ДГУ – дизель-генераторна установка
- ЗП – зарядний пристрій
- ККД – коефіцієнт корисної дії
- кВт – кіловат
- кВт·год – кіловат-година
- ПЛК – програмований логічний контролер
- ПЗ – програмне забезпечення
- СЕС – сонячна електростанція
- ФЕМ – фотоелектричний модуль
- BMS (Battery Management System) – система керування акумуляторною батареєю
- CAN (Controller Area Network) – мережевий інтерфейс обміну даними між пристроями
- CPU (Central Processing Unit) – центральний процесорний модуль контролера
- Ethernet – технологія мережевого зв'язку для передавання даних
- HMI (Human Machine Interface) – людино-машинний інтерфейс
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) – відстеження точки максимальної потужності сонячних панелей
- TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) – інтегроване програмне середовище автоматизації Siemens
- WinCC (Windows Control Center) – програмне забезпечення для візуалізації та диспетчеризації технологічних процесів

ВСТУП

Сфера енергетики постійно розвивається, що обумовлено зростанням потреб у електроенергії та необхідністю підвищення ефективності її використання. У сучасних умовах особливого значення набувають гібридні енергетичні системи, які поєднують традиційні та відновлювані джерела енергії.

Одним із перспективних рішень є використання комплексу дизель-генераторної установки, сонячної електростанції та акумуляторної батареї. Такий підхід дозволяє забезпечити надійне електропостачання, зменшити витрати палива та підвищити енергоефективність системи. Сонячна електростанція забезпечує генерацію електроенергії у денний час, акумуляторна батарея накопичує надлишкову енергію для подальшого використання, тоді як дизель-генератор використовується як резервне або додаткове джерело живлення.

Важливу роль у роботі таких систем відіграє автоматизована система керування, яка забезпечує координацію роботи всіх елементів. Вона дозволяє здійснювати контроль параметрів системи, автоматично перемикати джерела енергії, регулювати режими роботи обладнання та забезпечувати стабільне живлення споживачів.

Актуальність теми полягає у необхідності підвищення надійності електропостачання та зменшення витрат енергоресурсів. Використання гібридних систем дозволяє ефективно поєднувати переваги різних джерел енергії та забезпечувати безперебійну роботу електроспоживачів.

Метою дослідження є розробка автоматизованої системи керування комплексом дизель-генераторної установки, сонячної електростанції та акумуляторної батареї, що дозволить підвищити ефективність використання енергоресурсів та забезпечити надійне електропостачання.

Об'єктом дослідження є гібридна енергетична система, що включає в себе дизель-генераторну установку, сонячну електростанцію та допоміжне обладнання для генерації, накопичення та розподілу електричної енергії.

Предметом дослідження є автоматизована система керування гібридною енергетичною установкою, яка складається з комплексу програмно-апаратних засобів, що забезпечують керування режимами роботи системи та розподіл енергетичних потоків.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Вивчити принципи роботи дизель-генераторних установок, сонячних електростанцій та систем накопичення енергії.
2. Проаналізувати існуючі системи керування гібридними енергетичними установками.
3. Сформулювати функціональні та технічні вимоги до автоматизованої системи керування.
4. Створити загальний опис системи та її складових.
5. Розробити функціональну схему роботи гібридної енергетичної системи.
6. Обрати обладнання та програмне забезпечення для реалізації системи.
7. Розробити електричну принципову схему системи.
8. Розробити алгоритм автоматичного керування режимами роботи системи.
9. Провести моделювання роботи гібридної енергетичної системи та проаналізувати отримані результати.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

Сучасні системи електропостачання все частіше базуються на використанні комбінованих джерел енергії, що підвищує їхню ефективність та надійність. Особливою популярністю користуються гібридні енергетичні системи, які поєднують традиційні джерела енергії, зокрема дизельні генератори, з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні електростанції [1].

Дизельні генератори забезпечують стабільне електропостачання незалежно від зовнішніх умов, але вони вимагають значного споживання палива та негативно впливають на навколишнє середовище. Сонячні електростанції, однак, виробляють електроенергію, не витрачаючи паливо, але їхня робота залежить від сонячної радіації та погодних умов (рис 1.1).



Рисунок 1.1 – Приклад реалізації гібридної енергетичної системи на базі дизель-генераторної установки та сонячної електростанції [1]

Об'єднання цих двох джерел в єдину систему допомагає компенсувати ці недоліки та забезпечити більш ефективне використання енергоресурсів. У гібридній системі сонячна електростанція може служити основним джерелом енергії протягом дня, тоді як дизельний генератор використовується як резервне або допоміжне джерело живлення в періоди недостатньої генерації або підвищеного навантаження.

Такі системи широко застосовуються в автономних об'єктах, віддалених районах, а також у випадках, коли необхідно забезпечити безперебійне електропостачання при обмеженому доступі до централізованих електричних мереж. Використання автоматизованих систем керування дозволяє оптимізувати роботу гібридного комплексу, забезпечити автоматичне перемикання між джерелами живлення та зменшити втручання оператора.

Основною задачею автоматизованої системи керування є контроль параметрів електричної мережі, аналіз поточного стану системи та прийняття рішень щодо оптимального розподілу навантаження між дизель-генераторною установкою та сонячною електростанцією. До таких параметрів належать напруга, струм, частота, потужність споживання та генерації.

Крім того, система керування повинна забезпечувати захист обладнання від аварійних режимів роботи, таких як перевантаження, коротке замикання або нестабільність напруги. Це дозволяє підвищити надійність роботи всієї енергетичної системи та продовжити термін служби її компонентів.

1.1 Основні поняття та принцип роботи гібридної енергетичної системи

Гібридна енергетична система являє собою комплекс технічних засобів, що об'єднує декілька джерел електричної енергії різної природи з метою забезпечення надійного та ефективного електропостачання споживачів. У даній роботі розглядається система, що поєднує дизель-генераторну установку

та сонячну електростанцію, які працюють під керуванням автоматизованої системи.

Основною ідеєю побудови такої системи є використання переваг кожного з джерел енергії. Сонячні панелі забезпечують генерацію електроенергії без витрат палива та шкідливих викидів, однак їх робота залежить від рівня сонячного випромінювання. Дизель-генераторна установка, у свою чергу, здатна працювати незалежно від погодних умов, забезпечуючи стабільне електропостачання, але потребує використання палива та має вищі експлуатаційні витрати.

У гібридній системі ці два джерела взаємодіють між собою таким чином, щоб забезпечити безперервне живлення споживачів при мінімальних витратах ресурсів. У денний час при достатній інтенсивності сонячного випромінювання основне навантаження покривається за рахунок сонячних панелей. Надлишкова енергія може накопичуватись в акумуляторній батареї. У випадку зниження генерації або зростання навантаження автоматично підключається дизель-генератор.

На рисунку 1.2 представлена функціональна схема гібридної енергетичної системи з використанням дизель-генераторної установки та сонячних панелей [2].

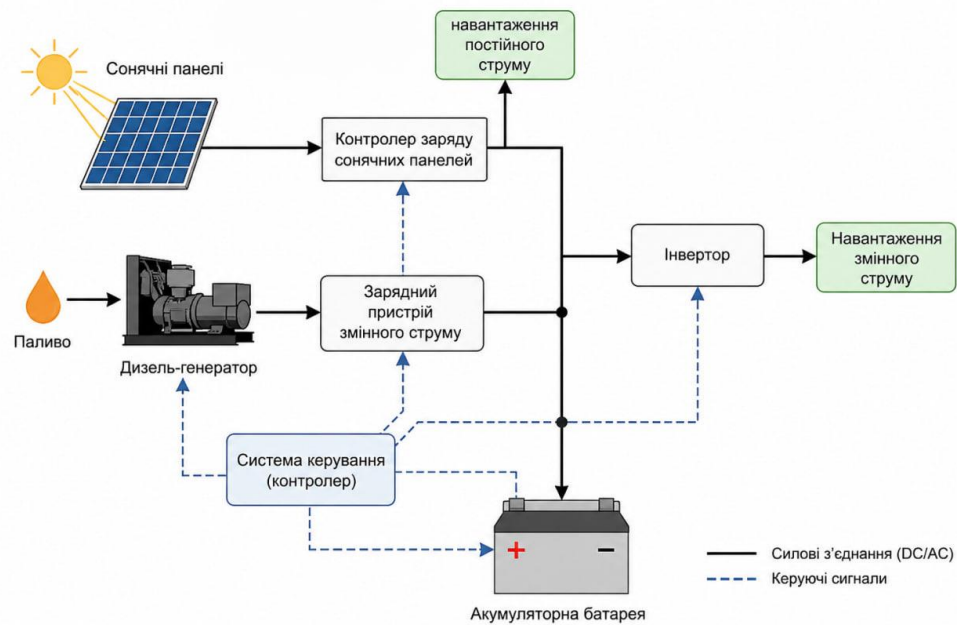


Рисунок 1.2 – Функціональна схема гібридної енергетичної системи з автоматизованим керуванням [2]

Схема відображає основні елементи системи, їх взаємозв'язки та принцип керування роботою джерел енергії. Система керування забезпечує координацію роботи дизель-генератора, інвертора та інших компонентів залежно від умов навантаження та рівня генерації.

Сонячні панелі перетворюють енергію сонячного випромінювання в електричну енергію постійного струму, яка через контролер заряду подається до акумуляторної батареї та споживачів постійного струму. Контролер заряду забезпечує стабілізацію параметрів напруги та струму, а також запобігає перезаряду акумуляторів.

Дизель-генераторна установка генерує електричну енергію змінного струму, яка може використовуватись для живлення навантаження або для заряджання акумуляторної батареї через відповідний зарядний пристрій. Інвертор здійснює перетворення електроенергії постійного струму, накопиченої в акумуляторах, у змінний струм для живлення споживачів.

Важливим елементом системи є автоматизована система керування, яка забезпечує контроль параметрів роботи, таких як напруга, струм, потужність

та рівень заряду акумуляторів. На основі цих даних система приймає рішення щодо ввімкнення або вимкнення дизель-генератора, розподілу навантаження та вибору оптимального режиму роботи.

Таким чином, гібридна енергетична система дозволяє поєднати переваги різних джерел енергії, підвищити ефективність використання ресурсів та забезпечити надійне електропостачання споживачів у різних умовах експлуатації.

1.2 Аналіз дизель-генераторних установок потужністю до 100 кВт

Дизель-генераторна установка є одним із основних елементів гібридної енергетичної системи, оскільки вона забезпечує стабільне електропостачання у випадках, коли потужності сонячної електростанції недостатньо для покриття навантаження (рис.1.3) [3]. На відміну від сонячних панелей, робота дизель-генератора не залежить від погодних умов та часу доби, тому він може використовуватись як резервне або допоміжне джерело електроенергії.

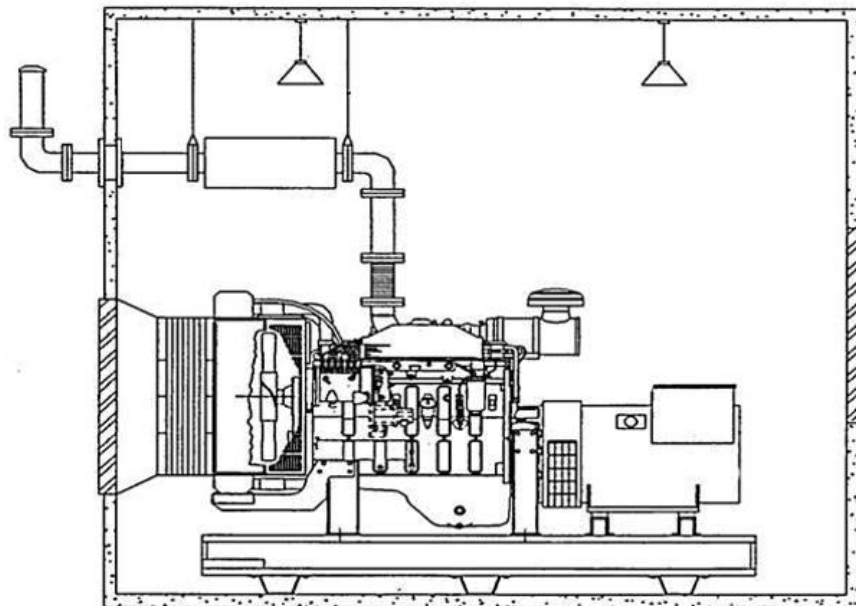


Рисунок 1.3 – Дизель-генераторна установка [3]

У межах даної роботи доцільно розглядати дизель-генераторні установки потужністю до 100 кВт, оскільки такі агрегати часто

застосовуються для автономного електропостачання невеликих підприємств, приватних об'єктів, фермерських господарств, телекомунікаційного обладнання та інших споживачів середньої потужності. Основними параметрами для вибору ДГУ є номінальна потужність, витрата палива, тип двигуна, напруга, частота, об'єм паливного бака та можливість автоматичного запуску.

Для аналізу було обрано три дизель-генераторні установки потужністю до 100 кВт: Cummins C90D5, FG Wilson P88-3 та Himoinsa HFW-100 T5. Дані моделі належать до промислових дизель-генераторів і можуть використовуватись у складі гібридних енергетичних систем.

Було розглянуто дизель-генераторну установку Cummins C90D5 (рис 1.4) [4]. Вона має резервну потужність 90 кВА, що відповідає приблизно 72 кВт, та основну потужність 82 кВА, тобто 65,6 кВт. Витрата палива при повному навантаженні в основному режимі становить 21,2 л/год, а в резервному режимі – 23,6 л/год. Така установка може застосовуватись як резервне джерело живлення у гібридній системі, де основну частину енергії виробляє сонячна електростанція [4].



Рисунок 1.4 – Дизель-генераторна установка Cummins C90D5 [4]

Далі розглянуто дизель-генераторну установку FG Wilson P88-3 (рис 1.5) [5]. Її основна потужність становить 80 кВА або 64 кВт, а резервна потужність

– 88 кВА або 70,4 кВт. Установка оснащується двигуном Perkins 1104A-44TG2 та працює з частотою 50 Гц. Витрата палива при 100 % навантаженні становить 18,2 л/год, при 75 % навантаженні – 13,6 л/год, а при 50 % навантаженні – 9,5 л/год. Перевагою цієї моделі є відносно помірні витрати палива та використання поширеного двигуна Perkins [5].



Рисунок 1.5 – Дизель-генераторна установка FG Wilson P88-3 [5]

Також розглянуто дизель-генераторну установку Himoinsa HFW-100 T5 (рис 1.6) [6]. Вона належить до генераторів потужністю 100 кВА та може використовуватись у промислових і автономних системах електропостачання. Витрата палива для цієї моделі становить 22,3 л/год при 100 % навантаженні, 18,2 л/год при 80 % навантаженні та 11,9 л/год при 50 % навантаженні. Установка має дизельний чотиритактний двигун з рідинним охолодженням, що забезпечує стабільну роботу при тривалому навантаженні [6].



Рисунок 1.6 – Дизель-генераторна установка Himoinsa HFW-100 T5 [6]

Для зручного порівняння основні характеристики розглянутих дизель-генераторних установок наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики дизель-генераторних установок

Модель	Основна потужність	Резервна потужність	Частота	Витрата палива при 100 % навантаженні	Двигун
Cummins C90D5	82 кВА / 65,6 кВт	90 кВА / 72 кВт	50 Гц	21,2 л/год	Cummins
FG Wilson P88-3	80 кВА / 64 кВт	88 кВА / 70,4 кВт	50 Гц	18,2 л/год	Perkins 1104A-44TG2
Himoinsa HFW-100 T5	100 кВА	до 100 кВА	50 Гц	22,3 л/год	FPT/Iveco

Аналіз наведених характеристик показує, що всі розглянуті дизель-генераторні установки можуть ефективно використовуватись у складі гібридної енергетичної системи з сонячною електростанцією. Вони забезпечують необхідний рівень потужності для резервного або допоміжного живлення, а також мають можливість роботи в автоматичному режимі.

Разом з тим, кожна з розглянутих моделей має свої особливості. Генератори типу FG Wilson відзначаються відносно низькою витратою палива, що є важливим фактором при тривалій експлуатації. Установки Cummins

характеризуються високою надійністю та стабільністю роботи, що робить їх придатними для використання в якості резервного джерела живлення. Генератори Himoinsa мають більшу номінальну потужність, що дозволяє застосовувати їх для живлення об'єктів із підвищеним навантаженням.

Таким чином, вибір дизель-генераторної установки для гібридної енергетичної системи повинен здійснюватись з урахуванням характеру навантаження, режимів роботи системи та вимог до надійності і економічності. Остаточний вибір конкретної моделі генератора буде обґрунтовано в наступних розділах роботи.

1.3 Огляд типів сонячних панелей

Сонячні панелі є основним джерелом електричної енергії у гібридній енергетичній системі, оскільки саме вони забезпечують генерацію електроенергії за рахунок відновлюваного джерела – сонячного випромінювання. Використання сонячних панелей дозволяє значно зменшити витрати палива дизель-генераторної установки та підвищити загальну енергоефективність системи.

Принцип роботи сонячних панелей базується на фотоелектричному ефекті, при якому світлова енергія перетворюється в електричну (рис 1.7) [7]. Основним елементом панелі є фотоелемент, виготовлений з напівпровідникових матеріалів, найчастіше кремнію. При потраплянні сонячного випромінювання на поверхню фотоелемента виникає електричний струм, який може використовуватись для живлення споживачів або накопичуватись в акумуляторних батареях.



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд сонячних панелей [7]

Залежно від технології виготовлення розрізняють декілька основних типів сонячних панелей: монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові. Монокристалічні панелі характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії (до 20–22 %), тривалим терміном служби та стабільними характеристиками, однак мають вищу вартість. Полікристалічні панелі мають дещо нижчий ККД (15–18 %), але є більш доступними за ціною. Тонкоплівкові панелі відрізняються гнучкістю та меншою залежністю від кута падіння світла, однак їх ефективність є найнижчою.

Для аналізу в даній роботі було обрано три моделі сонячних панелей, які можуть використовуватись у складі гібридної енергетичної системи: Jinko Solar Tiger Pro 545 W, Canadian Solar HiKu CS3W-450P та Trina Solar Vertex S 420 W. Дані панелі широко застосовуються у промислових та побутових сонячних електростанціях.

Модель – Jinko Solar Tiger Pro 545 W – є монокристалічною панеллю з високим ККД, що досягає приблизно 21 % (рис 1.8) [8]. Номінальна потужність панелі становить 545 Вт, напруга при максимальній потужності – близько 41 В, струм – близько 13 А. Перевагою даної панелі є висока ефективність та стабільна робота при різних умовах освітлення [8].

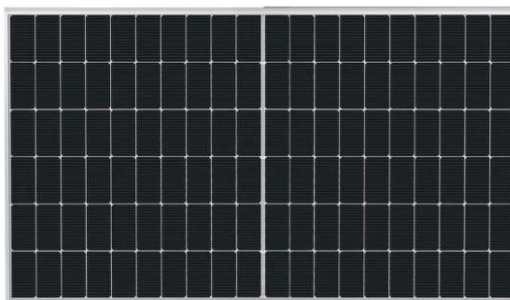


Рисунок 1.8 – Сонячна панель Jinko Solar Tiger Pro 545 W [8]

Модель – Canadian Solar HiKu CS3W-450P – відноситься до полікристалічних панелей. Її номінальна потужність становить 450 Вт, ККД – близько 17 %, напруга – приблизно 38 В. Дана панель є більш доступною за ціною, що робить її привабливою для використання у великих установках [9].

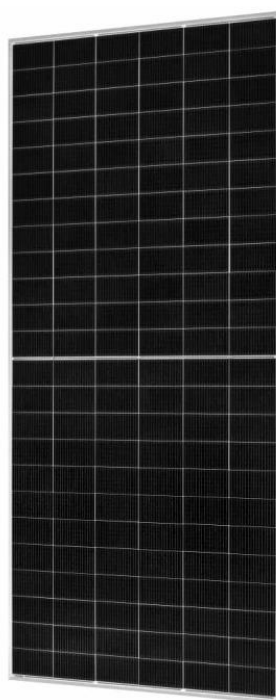


Рисунок 1.9 – Сонячна панель Canadian Solar HiKu CS3W-450P [9]

Модель – Trina Solar Vertex S 420 W – є сучасною монокристалічною панеллю з номінальною потужністю 420 Вт та ККД близько 20 %. Вона має компактні розміри та може застосовуватись як у промислових, так і у побутових системах електропостачання [10].

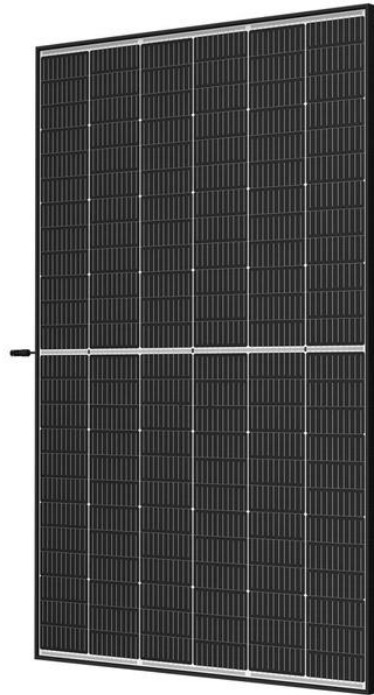


Рисунок 1.10 – Сонячна панель Trina Solar Vertex S 420 W [10]

Для порівняння основних характеристик сонячних панелей складено таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльні характеристики сонячних панелей

Модель	Потужність	ККД	Напруга	Струм	Тип
Jinko Tiger Pro	545 Вт	~21 %	~41 В	~13 А	Монокристалічна
Canadian Solar HiKu	450 Вт	~17 %	~38 В	~11,8 А	Полікристалічна
Trina Vertex S	420 Вт	~20 %	~34 В	~12,3 А	Монокристалічна

1.4 Характеристика інверторів для гібридних енергетичних систем

Інвертор є одним із ключових елементів гібридної енергетичної системи, оскільки він забезпечує перетворення електричної енергії постійного струму, що генерується сонячними панелями або накопичується в акумуляторних батареях, у змінний струм, необхідний для живлення більшості електроспоживачів (рис 1.11) [11]. Крім того, сучасні інвертори виконують функції керування потоками енергії, синхронізації роботи джерел та захисту системи.

У гібридних системах застосовуються спеціальні типи інверторів, які здатні працювати одночасно з декількома джерелами енергії. Такі інвертори можуть приймати енергію від сонячних панелей, акумуляторних батарей та дизель-генераторної установки, забезпечуючи оптимальний розподіл навантаження між ними.



Рисунок 1.11 – Загальний вигляд інвертора для гібридної системи [11]

Залежно від принципу роботи інвертори поділяються на автономні, мережеві та гібридні. Автономні інвертори використовуються в системах, які не підключені до централізованої мережі, і працюють у поєднанні з акумуляторами. Мережеві інвертори призначені для роботи з електромережею та не можуть функціонувати без неї. Гібридні інвертори поєднують функції обох типів і є найбільш доцільними для використання у системах з дизель-генераторами та сонячними панелями.

Для аналізу обрано три моделі інверторів, які широко застосовуються у гібридних енергетичних системах: Victron MultiPlus-II 48/5000, Growatt SPF 5000 ES та Deye SUN-5K-SG03LP1.

Інвертор – Victron MultiPlus-II 48/5000 – є гібридним пристроєм, який поєднує функції інвертора та зарядного пристрою. Його номінальна потужність становить 5 кВт, напруга акумуляторної батареї – 48 В [12].

Інвертор забезпечує стабільну роботу та підтримує функцію автоматичного перемикання між джерелами живлення. Перевагою цієї моделі є висока надійність і можливість інтеграції в складні системи керування.



Рисунок 1.12 – Інвертор Victron MultiPlus-II 48/5000 [12]

Інвертор – Growatt SPF 5000 ES – також належить до гібридних інверторів і широко використовується у автономних системах (рис 1.13) [13]. Його номінальна потужність становить 5 кВт, а напруга акумуляторної батареї – 48 В [13]. Інвертор підтримує роботу з сонячними панелями, акумуляторами та генераторами, що робить його універсальним рішенням для гібридних систем.



Рисунок 1.13 – Інвертор Growatt SPF 5000 ES [13]

Інвертор – Deye SUN-5K-SG03LP1 – є сучасним гібридним інвертором з номінальною потужністю 5 кВт, який підтримує роботу з акумуляторами та сонячними панелями. Він має вбудований контролер заряду та забезпечує ефективне керування потоками енергії в системі. Перевагою даної моделі є висока ефективність та широкий функціонал [14].



Рисунок 1.14 – Інвертор Deye SUN-5K-SG03LP1 [14]

Для порівняння основних характеристик інверторів складено таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняльні характеристики інверторів

Модель	Потужність	Напруга АКБ	Тип	Особливості
Victron MultiPlus-II	5 кВт	48 В	Гібридний	Висока надійність, інтеграція
Growatt SPF 5000 ES	5 кВт	48 В	Гібридний	Універсальність, доступність
Deye SUN-5K	5 кВт	48 В	Гібридний	Вбудований контролер, ефективність

Аналіз наведених інверторів показує, що всі розглянуті моделі можуть ефективно використовуватись у складі гібридної енергетичної системи. Вони забезпечують необхідні функції перетворення енергії, керування потоками електроенергії та інтеграції з іншими компонентами системи.

Таким чином, вибір інвертора для гібридної системи залежить від вимог до потужності, функціональності та сумісності з іншими елементами системи. У подальших розділах роботи буде обґрунтовано вибір конкретного інвертора для реалізації автоматизованої системи керування.

1.5 Функціональна схема гібридної енергетичної системи

Функціональна схема гібридної енергетичної системи відображає склад основних елементів, їх взаємозв'язки та принцип роботи системи в цілому. Така схема дозволяє наочно представити процеси генерації, перетворення, накопичення та споживання електричної енергії, а також роль автоматизованої системи керування.

До складу гібридної системи входять сонячні панелі, дизель-генераторна установка, контролер заряду, інвертор, зарядний пристрій, акумуляторна батарея та навантаження. Крім того, важливим елементом є система керування, яка забезпечує координацію роботи всіх компонентів.

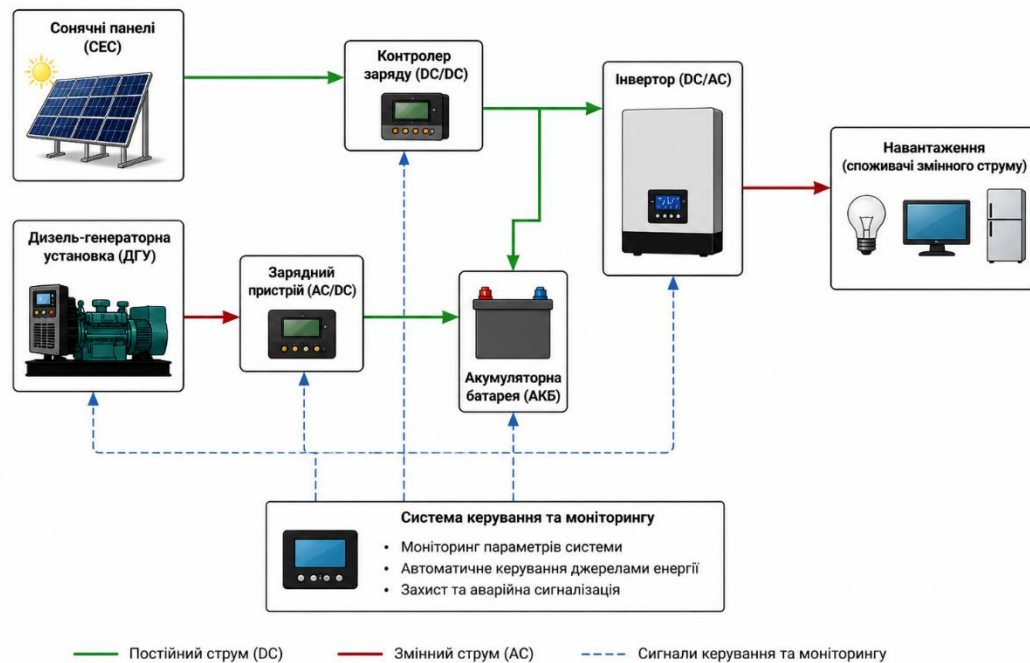


Рисунок 1.15 – Функціональна схема гібридної енергетичної системи з автоматизованим керуванням

Сонячні панелі генерують електричну енергію постійного струму, яка подається до контролера заряду. Контролер заряду забезпечує стабілізацію напруги та струму, а також регулює процес заряджання акумуляторної батареї. Частина енергії може безпосередньо використовуватись для живлення навантаження постійного струму.

Дизель-генераторна установка виробляє електричну енергію змінного струму, яка може подаватись на навантаження або використовуватись для заряджання акумуляторної батареї через зарядний пристрій. У разі недостатньої генерації сонячної електростанції або при підвищенні навантаження генератор автоматично підключається до системи.

Акумуляторна батарея виконує функцію накопичення електричної енергії та забезпечує живлення споживачів у періоди відсутності генерації або при змінному навантаженні. Інвертор здійснює перетворення електроенергії постійного струму в змінний для живлення споживачів змінного струму.

Система керування здійснює моніторинг параметрів роботи системи, таких як напруга, струм, потужність та рівень заряду акумуляторної батареї. На основі отриманих даних вона формує керуючі сигнали для ввімкнення або вимкнення дизель-генератора, регулювання режимів роботи інвертора та оптимального розподілу навантаження між джерелами енергії.

Таким чином, функціональна схема відображає принцип взаємодії всіх елементів гібридної енергетичної системи та дозволяє зрозуміти алгоритм її роботи в різних режимах експлуатації.

1.6 Огляд режимів роботи гібридної енергетичної системи

Гібридна енергетична система, що поєднує сонячну електростанцію та дизель-генераторну установку, може працювати в декількох режимах залежно від умов генерації електроенергії та рівня навантаження. Аналіз цих режимів є необхідним для розуміння принципів функціонування системи та подальшої розробки алгоритмів автоматизованого керування.

1) Основним режимом роботи системи є режим живлення від сонячної електростанції. У цьому випадку сонячні панелі генерують електричну енергію, яка через контролер заряду подається до акумуляторної батареї та інвертора. Інвертор перетворює постійний струм у змінний і забезпечує живлення споживачів. При достатньому рівні сонячного випромінювання система може повністю забезпечувати навантаження без використання дизель-генератора.

2) Другим режимом є робота від акумуляторної батареї. Такий режим реалізується у випадках, коли генерація сонячної електростанції відсутня або недостатня, наприклад у нічний час. У цьому випадку накопичена в акумуляторах енергія використовується для живлення споживачів через інвертор. Даний режим дозволяє забезпечити безперервне електропостачання без запуску дизель-генератора, що зменшує витрати палива.

3) Третім режимом є робота від дизель-генераторної установки. Він активується у випадках, коли рівень заряду акумуляторної батареї знижується до критичного значення або коли потужність навантаження перевищує можливості сонячної електростанції та акумуляторів. У цьому режимі дизель-генератор забезпечує живлення споживачів, а також може використовуватись для підзарядки акумуляторної батареї.

4) Четвертим режимом є комбінований режим роботи. У цьому випадку сонячна електростанція та дизель-генератор працюють одночасно, забезпечуючи живлення споживачів. Такий режим використовується при значному навантаженні або нестабільній генерації сонячної енергії. При цьому система керування забезпечує оптимальний розподіл потужності між джерелами.

Крім того, у гібридній системі можливий режим заряджання акумуляторної батареї, коли надлишкова енергія від сонячної електростанції або дизель-генератора використовується для накопичення в акумуляторах. Це дозволяє підвищити ефективність використання енергії та забезпечити резерв для подальшого використання.

Таким чином, гібридна енергетична система може функціонувати в різних режимах, що забезпечує її гнучкість та адаптивність до змін умов експлуатації. Аналіз режимів роботи є основою для розробки алгоритмів автоматизованого керування, які дозволяють оптимізувати використання енергоресурсів та підвищити надійність електропостачання.

1.7 Аналіз патентної інформації

У процесі розробки автоматизованої системи керування гібридною енергетичною установкою проведено аналіз патентної інформації, що дозволяє оцінити сучасний рівень технічних рішень у даній галузі.

Для аналізу було обрано декілька патентів, що описують системи керування гібридними енергетичними установками з використанням дизель-генераторів та сонячних електростанцій.

Таблиця 1.4 – Характеристика патенту US 8,492,938 B2

Параметр	Значення
Назва патенту	Hybrid Power System
Номер патенту	US 8,492,938 B2
Країна	США
Дата подання заявки	2010-03-05
Дата публікації	2013-07-23
Суть рішення	Система поєднує сонячні панелі, акумулятори та дизель-генератор з автоматичним перемиканням джерел живлення
Переваги	Забезпечення безперебійного електропостачання
Недоліки	Обмежена адаптація до змін навантаження

У даному рішенні запропоновано систему, яка забезпечує автоматичне перемикання між джерелами енергії залежно від рівня заряду акумуляторної батареї та величини навантаження. Система передбачає використання контролера, який здійснює моніторинг параметрів та керує роботою дизель-генератора.

Перевагою такого рішення є забезпечення безперебійного електропостачання. Недоліком є відсутність гнучких алгоритмів керування, що не дозволяє ефективно реагувати на зміну умов генерації сонячної енергії.

Іншим прикладом є патент, що описує інтелектуальну систему керування гібридною енергетичною установкою.

Таблиця 1.5 – Характеристика патенту CN 109087181 А

Параметр	Значення
Назва патенту	Hybrid Energy System Control Method
Номер патенту	CN 109087181 А
Країна	Китай
Дата подання заявки	2018-08-15
Дата публікації	2018-12-25
Суть рішення	Використання інтелектуального алгоритму керування для оптимізації роботи ДГУ та СЕС
Переваги	Зменшення витрат палива, оптимізація режимів
Недоліки	Складність реалізації

У даному рішенні використовується інтелектуальний контролер, який здійснює прогнозування навантаження та генерації енергії. Це дозволяє оптимізувати роботу дизель-генератора та зменшити витрати палива.

Перевагою є підвищення ефективності роботи системи. Недоліком є складність реалізації та необхідність використання складного програмного забезпечення.

Третім прикладом є патент, що описує багаторівневу систему керування гібридною енергетичною установкою.

Таблиця 1.6 – Характеристика патенту EP 2574518 A1

Параметр	Значення
Назва патенту	Energy Management System for Hybrid Power
Номер патенту	EP 2574518 A1
Країна	Європейський Союз
Дата подання заявки	2011-09-26
Дата публікації	2013-04-03
Суть рішення	Багаторівнева система керування з центральним контролером
Переваги	Гнучкість та масштабованість
Недоліки	Висока вартість і складність налаштування

У даному рішенні реалізовано розподілену систему керування, де окремі модулі відповідають за роботу різних елементів системи, а центральний контролер координує їх взаємодію.

Перевагою є гнучкість та можливість масштабування системи. Недоліком є складність налаштування та висока вартість впровадження.

1.8 Завдання на проєктування

Спираючись на поставлене завдання за темою бакалаврської роботи, було визначено основні задачі проєктування:

1. Вивчити принципи роботи дизель-генераторних установок та сонячних електростанцій.
2. Проаналізувати існуючі системи керування гібридними енергетичними комплексами.
3. Сформулювати функціональні та технічні вимоги до автоматизованої системи керування.

4. Розробити загальну структуру гібридної енергетичної системи та опис її складових.
5. Розробити функціональну схему роботи системи керування дизель-генераторною установкою та сонячною електростанцією.
6. Обрати основне обладнання (генератор, сонячні панелі, акумулятор, інвертор, контролер) для реалізації системи.
7. Розробити електричну принципову схеми автоматизованої системи керування.

1.9 Висновки до розділу 1

- 1) У першому розділі проведено аналіз гібридних енергетичних систем, що поєднують дизель-генераторну установку та сонячну електростанцію. Розглянуто принципи їх роботи, структуру та основні елементи.
- 2) Проаналізовано дизель-генераторні установки потужністю до 100 кВт, які забезпечують надійне резервне живлення, але мають значні витрати палива. Досліджено сонячні панелі, що дозволяють зменшити витрати палива, однак залежать від погодних умов. Розглянуто інвертори, які забезпечують перетворення та розподіл електричної енергії в системі.
- 3) Рекомендовано функціональну схему гібридної системи та проаналізовано режими її роботи. Виконано аналіз патентної інформації, що дозволив визначити сучасні підходи до побудови систем керування.
- 4) Таким чином, встановлено доцільність використання гібридних енергетичних систем та необхідність розробки ефективної автоматизованої системи керування.

2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ

2.1 Загальний опис автоматизованої системи керування комплексом СЕС та ДГУ ЧНУ ім. Петра Могили

Автоматизована система керування комплексом сонячної електростанції та дизель-генераторної установки призначена для забезпечення безперервного та надійного електропостачання споживачів в ЧНУ ім. Петра Могили. шляхом автоматичного керування джерелами генерації електричної енергії.

До складу системи входять сонячна електростанція на базі фотоелектричних модулів Jinko Solar 625 W, дизель-генераторна установка ВВ-110, акумуляторна батарея BYD LITEIN 45, гібридний інвертор Deye SUN-40K та програмований логічний контролер Siemens S7-1200 CPU 1212C. Взаємодія між елементами системи забезпечує ефективне використання сонячної енергії, накопичення електроенергії в акумуляторних батареях та автоматичне підключення резервного джерела живлення у разі недостатньої генерації від сонячної електростанції.

Основною функцією системи керування є моніторинг параметрів роботи обладнання та автоматичне перемикання режимів роботи залежно від поточного енергетичного балансу. Контролер здійснює збір інформації про потужність сонячної генерації, рівень заряду акумуляторних батарей, стан дизель-генераторної установки та навантаження споживачів.

У штатному режимі електроенергія виробляється сонячною електростанцією та використовується для живлення навантаження і заряджання акумуляторних батарей. При зменшенні сонячної генерації або розряді акумуляторів система автоматично запускає дизель-генераторну установку, яка забезпечує необхідну потужність для живлення споживачів та заряджання акумуляторних батарей.

Використання автоматизованої системи керування дозволяє підвищити ефективність роботи енергетичного комплексу, знизити витрати дизельного

пального та забезпечити надійне електропостачання споживачів в умовах нестабільного зовнішнього електропостачання.

2.1.1 Принцип роботи гібридної енергетичної системи

Гібридна енергетична система поєднує декілька джерел електроенергії та забезпечує безперервне живлення споживачів за рахунок автоматичного перемикання між ними. Основними елементами системи є сонячна електростанція, дизель-генераторна установка, акумуляторна батарея, інвертор та система автоматизованого керування (рис. 2.1).

У нормальному режимі роботи електроенергія виробляється сонячними панелями та через контролер заряду надходить до акумуляторної батареї та інвертора. Інвертор перетворює постійний струм у змінний та забезпечує живлення навантаження.

За наявності надлишкової сонячної генерації акумуляторна батарея заряджається, накопичуючи електроенергію для подальшого використання. Це дозволяє забезпечити живлення споживачів навіть за відсутності сонячного випромінювання.

У разі зниження потужності сонячної електростанції або досягнення мінімального рівня заряду акумуляторної батареї система керування автоматично запускає дизель-генераторну установку. Генератор бере на себе живлення навантаження та забезпечує заряджання акумуляторної батареї.

Контроль параметрів роботи комплексу здійснюється програмованим логічним контролером Siemens S7-1200 CPU 1212C. Контролер виконує збір даних, моніторинг стану обладнання, керування режимами роботи системи та формування аварійних повідомлень.

Застосування гібридної структури дозволяє ефективно використовувати відновлювані джерела енергії, зменшити витрати пального та підвищити надійність електропостачання споживачів.

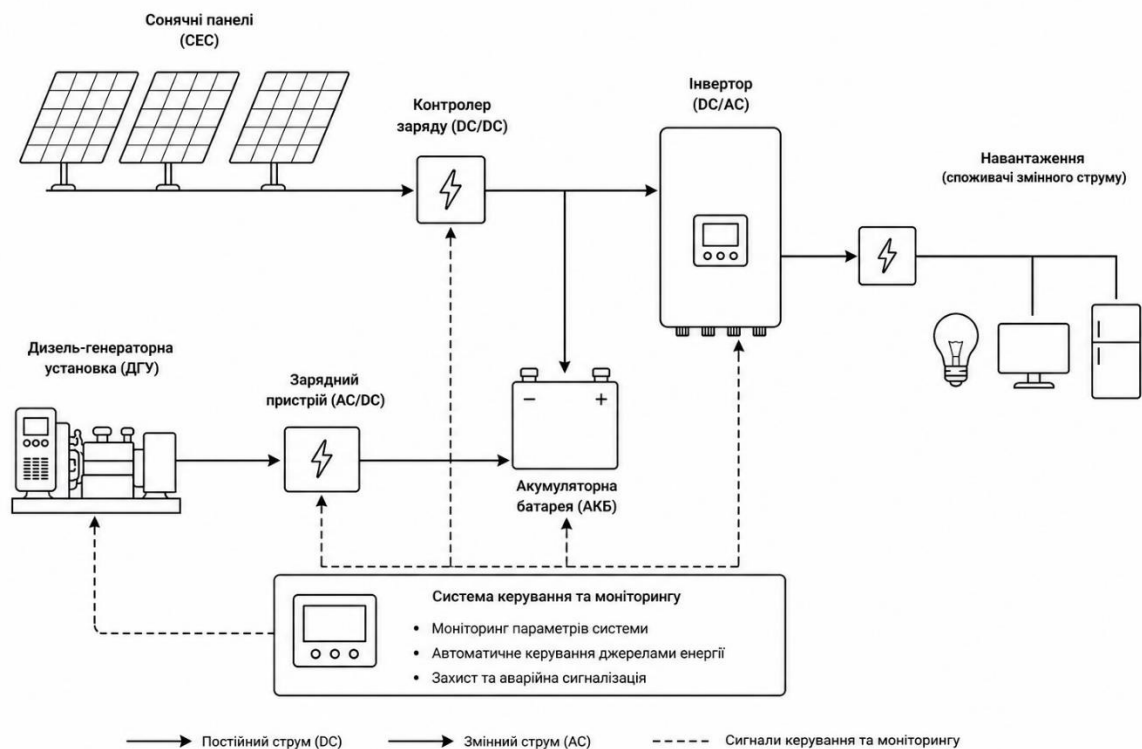


Рисунок 2.1 – Функціональна схема гібридної енергетичної системи СЕС–ДГУ з автоматизованим керуванням

2.2 Опис апаратного забезпечення системи

Апаратне забезпечення автоматизованої системи керування комплексом сонячної електростанції та дизель-генераторної установки забезпечує генерацію, накопичення, перетворення та розподіл електричної енергії між споживачами. До складу комплексу входять сонячна електростанція, дизель-генераторна установка, акумуляторна батарея, гібридний інвертор та програмований логічний контролер.

Основним джерелом електроенергії є сонячна електростанція потужністю 46,25 кВт, побудована на базі 74 фотоелектричних модулів Jinko Solar 66HL4M 625 W. Для накопичення надлишкової електроенергії використовується акумуляторна батарея BYD LITEIN 45. Перетворення постійного струму в змінний здійснює гібридний інвертор Deye SUN-40K-

SG01HP3-EU-VM4 потужністю 40 кВт. У якості резервного джерела живлення застосовується дизель-генераторна установка ВВ-110 потужністю 80 кВт.

Керування режимами роботи комплексу виконує програмований логічний контролер Siemens S7-1200 CPU 1212C, який забезпечує збір даних, обробку інформації та формування команд керування обладнанням.

Застосування зазначеного обладнання дозволяє реалізувати надійну гібридну систему електропостачання з високою ефективністю використання відновлюваних джерел енергії та автоматичним резервуванням живлення.

У наступних підрозділах наведено детальний опис кожного елемента системи.

2.2.1 Дизель-генераторна установка ВВ-110

Дизель-генераторна установка ВВ-110 використовується як резервне джерело електроенергії в складі гібридної енергетичної системи (рис 2.2). Генератор забезпечує безперебійне живлення споживачів у випадках недостатньої генерації сонячної електростанції або критичного зниження рівня заряду акумуляторної батареї [15].

Запуск та зупинка генератора здійснюються автоматично за командами програмованого логічного контролера Siemens S7-1200. Після виходу на номінальний режим ДГУ забезпечує живлення навантаження та заряджання акумуляторної батареї.



Рисунок 2.2 – Дизель-генераторна установка ВВ-110 [15]

Основні технічні характеристики ДГУ ВВ-110 наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ДГУ ВВ-110

Параметр	Значення
Модель	ВВ-110
Тип палива	Дизельне паливо
Номінальна потужність	80 кВт
Номінальна напруга	400 В
Частота	50 Гц
Кількість фаз	3
Система запуску	Електростартер
Режим роботи	Резервний
Система охолодження	Рідинна
Автоматичний запуск	Підтримується

2.2.2 Сонячна електростанція на базі фотоелектричних модулів Jinko Solar 625 W

Основним джерелом електроенергії в гібридній системі є сонячна електростанція, побудована на базі фотоелектричних модулів Jinko Solar 66HL4M потужністю 625 Вт (рис. 2.3). Фотоелектричні модулі перетворюють сонячне випромінювання на електричну енергію постійного струму, яка

використовується для живлення навантаження та заряджання акумуляторної батареї [16].

Згідно з проєктом, до складу сонячної електростанції входить 74 сонячні панелі, що забезпечують встановлену потужність 46,25 кВт. Отримана електроенергія надходить до інвертора, де відбувається її перетворення у змінний струм для подальшого використання споживачами.

Використання сонячної електростанції дозволяє зменшити споживання дизельного пального, знизити експлуатаційні витрати та підвищити енергоефективність системи електропостачання.



Рисунок 2.3 – Фотоелектричний модуль Jinko Solar 66HL4M 625 W [16]

Основні технічні характеристики Фотоелектричний модуль Jinko Solar 66HL4M 625 W наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики фотоелектричного модуля Jinko Solar 66HL4M 625 W

Параметр	Значення
Модель	Jinko Solar 66HL4M
Номінальна потужність	625 Вт
Тип елемента	Монокристалічний N-Type
Напруга холостого ходу (V_{oc})	55,08 В

Напруга в точці максимальної потужності (V_{mp})	46,81 В
Струм короткого замикання (I_{sc})	14,31 А
Струм у точці максимальної потужності (I_{mp})	13,35 А
ККД модуля	до 23,1 %
Кількість панелей у системі	74 шт.
Загальна потужність СЕС	46,25 кВт

2.2.3 Акумуляторна батарея BYD LITEIN 45

Акумуляторна батарея BYD LITEIN 45 призначена для накопичення електричної енергії, виробленої сонячною електростанцією, та її подальшого використання у періоди недостатньої генерації. Використання системи накопичення енергії дозволяє підвищити автономність енергетичного комплексу та зменшити кількість запусків дизель-генераторної установки (рис. 2.4).

АКБ працює спільно з гібридним інвертором, який контролює процеси заряджання та розряджання батареї. Стан батареї контролюється системою керування BMS, що забезпечує захист від перевантаження, глибокого розряду, короткого замикання та перегріву.

Завдяки великій ємності батарея забезпечує стабільне живлення навантаження протягом тривалого часу та підвищує надійність роботи гібридної енергетичної системи [17].



Рисунок 2.4 – Акумуляторна батарея BYD LITEIN 45 [17]

Основні технічні характеристики акумуляторної батареї BYD LITEIN 45 наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики акумуляторної батареї BYD LITEIN 45

Параметр	Значення
Модель	BYD LITEIN 45
Тип акумулятора	LiFePO ₄
Номінальна ємність	45 кВт·год
Номінальна напруга	512 В
Робочий діапазон напруги	448–576 В
Максимальний струм заряду	50 А
Максимальний струм розряду	50 А
Система керування	Вбудована BMS
Спосіб монтажу	Підлоговий
Термін служби	понад 6000 циклів

2.2.4 Гібридний інвертор Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-BM4

Гібридний інвертор Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-BM4 є центральним елементом гібридної енергетичної системи. Його основною функцією є

перетворення постійного струму від сонячних панелей та акумуляторної батареї у змінний струм для живлення електричних споживачів.

Інвертор забезпечує керування потоками електроенергії між сонячною електростанцією, акумуляторною батареєю, дизель-генераторною установкою та навантаженням. Пристрій підтримує роботу в автономному режимі, режимі резервного живлення та паралельну роботу з іншими джерелами електроенергії (рис. 2.5).

Обмін даними між інвертором, акумуляторною батареєю та системою керування здійснюється через цифрові інтерфейси зв'язку. Це дозволяє контролювати основні параметри роботи системи та оперативно реагувати на зміну режимів роботи [18].

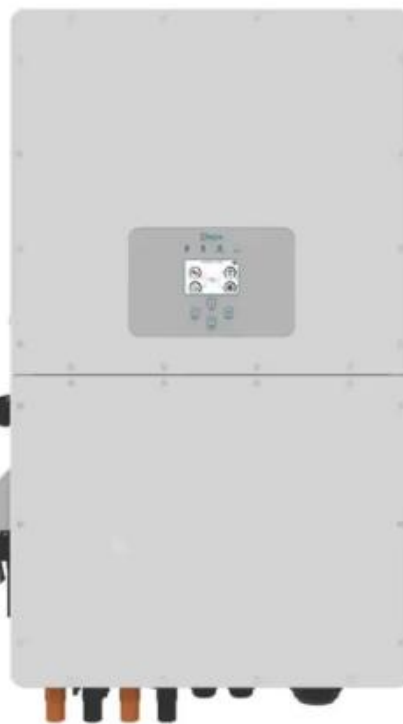


Рисунок 2.5 – Гібридний інвертор Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-BM4 [18]

Основні технічні характеристики гібридного інвертора Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-BM4 наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики інвертора Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-BM4

Параметр	Значення
Модель	SUN-40K-SG01HP3-EU-BM4
Тип інвертора	Гібридний
Номінальна потужність AC	40 кВт
Максимальна потужність PV	52 кВт
Кількість MPPT-трекерів	4
Кількість фаз	3
Номінальна напруга мережі	380/400 В
Частота мережі	50 Гц
Максимальний ККД	97,6 %
Підтримка АКБ	Так
Інтерфейси зв'язку	RS-485, CAN, Ethernet
Ступінь захисту	IP65

2.2.5 Програмований логічний контролер Siemens S7-1200 CPU 1212C

Для реалізації автоматичного керування гібридною енергетичною системою використовується програмований логічний контролер Siemens S7-1200 CPU 1212C. Контролер виконує збір інформації від датчиків та обладнання, обробку даних і формування команд керування виконавчими пристроями (рис. 2.6).

За допомогою контролера здійснюється моніторинг параметрів роботи сонячної електростанції, акумуляторної батареї, інвертора та дизель-генераторної установки. На основі отриманих даних контролер визначає оптимальний режим роботи системи та забезпечує автоматичний запуск або зупинку дизель-генератора.

Програмування контролера виконується в середовищі TIA Portal із використанням мов програмування стандарту IEC 61131-3. Для обміну даними з іншими пристроями використовуються мережеві інтерфейси Ethernet та протокол Modbus TCP.

Застосування контролера Siemens S7-1200 дозволяє підвищити надійність роботи системи, забезпечити автоматизацію процесів керування та реалізувати функції диспетчеризації й моніторингу [19].



Рисунок 2.6 – ПЛК Siemens S7-1200 CPU 1212C [19]

Основні технічні характеристики ПЛК Siemens S7-1200 CPU 1212C наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики Siemens S7-1200 CPU 1212C

Параметр	Значення
Модель	Siemens S7-1200 CPU 1212C
Напруга живлення	24 В DC
Робоча пам'ять	75 КБ
Дискретні входи	8
Дискретні виходи	6
Аналогові входи	2
Ethernet-порт	1 × PROFINET
Підтримка Modbus TCP	Так
Середовище програмування	TIA Portal
Ступінь захисту	IP20
Робоча температура	від -20 до +60 °C

2.2.6 Електрична принципова схема системи

Електрична принципова схема визначає структуру з'єднання основних елементів гібридної енергетичної системи та відображає потоки електроенергії між джерелами генерації, накопичувачем енергії та навантаженням. Схема забезпечує наочне уявлення про взаємодію сонячної електростанції, акумуляторної батареї, дизель-генераторної установки, інвертора та системи керування (рис. 2.7).

Основним джерелом електроенергії є сонячна електростанція, яка генерує постійний струм. Вироблена електроенергія надходить до гібридного інвертора та використовується для живлення навантаження або заряджання акумуляторної батареї. У періоди недостатньої сонячної генерації живлення забезпечується за рахунок накопиченої енергії акумуляторної батареї.

Дизель-генераторна установка використовується як резервне джерело електроенергії та вводиться в роботу автоматично при дефіциті потужності або низькому рівні заряду акумуляторної батареї. Після запуску генератор забезпечує живлення споживачів та підтримує заряд акумуляторної батареї.

Керування режимами роботи комплексу здійснюється програмованим логічним контролером Siemens S7-1200. Контролер отримує інформацію від обладнання, аналізує поточний стан системи та формує команди керування дизель-генераторною установкою. Крім того, контролер забезпечує моніторинг параметрів роботи обладнання та передачу даних до операторського інтерфейсу.

Запропонована електрична принципова схема забезпечує надійну взаємодію між усіма елементами гібридної енергетичної системи та створює основу для реалізації алгоритмів автоматизованого керування.

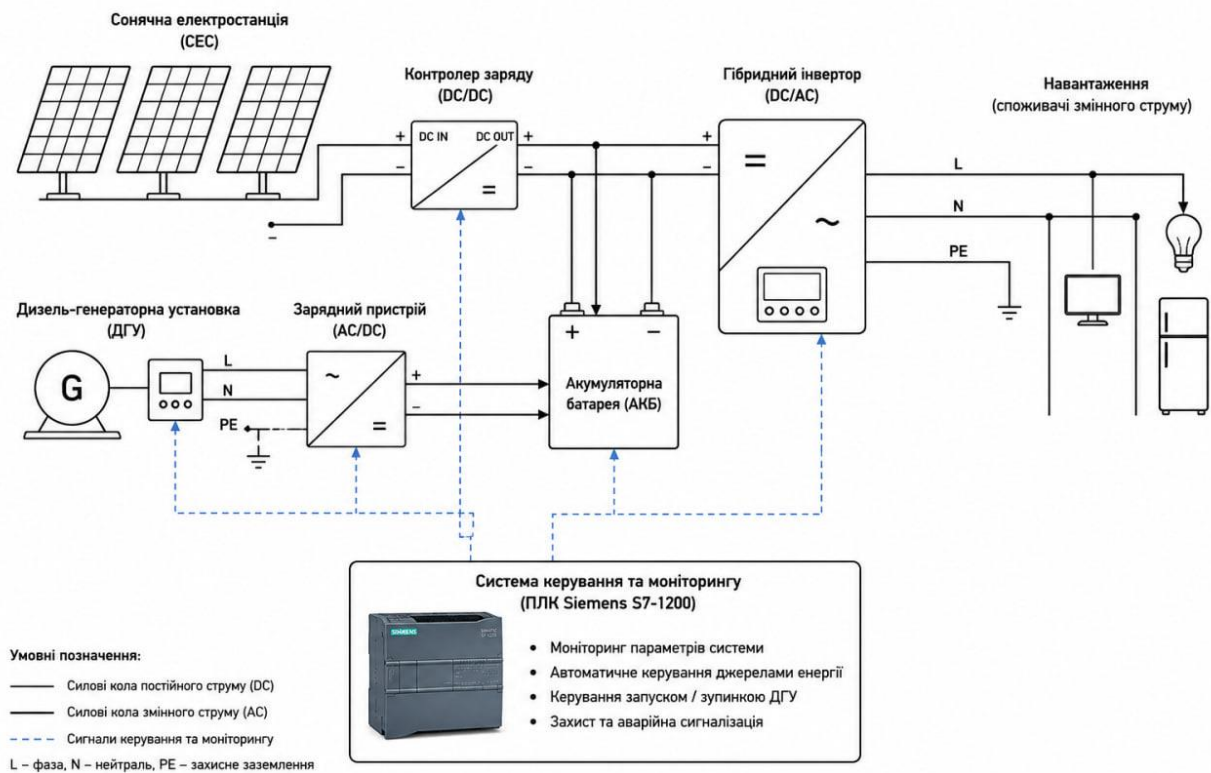


Рисунок 2.7 – Електрична принципова схема гібридної енергетичної системи СЕС–АКБ–ДГУ

Представлена схема реалізує пріоритет використання енергії сонячної електростанції. Акумуляторна батарея використовується для накопичення надлишкової електроенергії та покриття короткочасних дефіцитів потужності. Дизель-генераторна установка залучається лише у випадках, коли можливостей СЕС та АКБ недостатньо для забезпечення потреб навантаження. Це дозволяє зменшити витрати дизельного пального та підвищити загальну енергоефективність системи.

2.2.7 Вибір обладнання та обґрунтування його застосування

Вибір обладнання для гібридної енергетичної системи здійснювався з урахуванням наявної інфраструктури Чорноморського національного університету імені Петра Могили, технічних вимог проекту та необхідності забезпечення надійного електропостачання споживачів.

Дизель-генераторна установка ВВ-110 була обрана як резервне джерело живлення, оскільки дане обладнання вже експлуатується на території університету. Використання наявної ДГУ дозволяє зменшити витрати на реалізацію проєкту та забезпечити інтеграцію нового обладнання в існуючу систему електропостачання.

Сонячна електростанція на базі фотоелектричних модулів Jinko Solar 66HL4M потужністю 625 Вт була обрана відповідно до планів модернізації енергетичної інфраструктури університету. Запланована встановлена потужність СЕС становить 46,25 кВт, що забезпечується використанням 74 сонячних панелей. Застосування сонячної генерації дозволить знизити споживання електроенергії з мережі та зменшити витрати на електропостачання.

Акумуляторна батарея BYD LITEIN 45 обрана для накопичення надлишкової електроенергії та забезпечення автономної роботи системи при зниженні генерації сонячної електростанції. Використання літій-залізо-фосфатної технології забезпечує високий ресурс роботи, безпечну експлуатацію та значну кількість циклів заряджання-розряджання.

Гібридний інвертор Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-VM4 забезпечує інтеграцію сонячної електростанції, акумуляторної батареї та дизель-генераторної установки в єдину енергетичну систему. Даний інвертор підтримує роботу з високовольтними акумуляторними батареями та має необхідну потужність для роботи з навантаженням університету.

Програмований логічний контролер Siemens S7-1200 CPU 1212C обраний як основний засіб автоматизації системи. Контролер має достатню кількість входів та виходів, підтримує сучасні промислові протоколи обміну даними та забезпечує реалізацію алгоритмів автоматичного керування гібридною енергетичною системою.

Таким чином, вибране обладнання відповідає технічним вимогам проєкту, забезпечує сумісність між окремими компонентами системи та

дозволяє реалізувати надійне автоматизоване керування процесами генерації, накопичення та розподілу електричної енергії.

2.3 Опис програмного забезпечення системи

Програмне забезпечення автоматизованої системи керування призначене для контролю роботи гібридного енергетичного комплексу, обробки інформації від обладнання та формування керуючих команд. Основою програмного забезпечення є програма, розроблена для програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 CPU 1212C у середовищі TIA Portal.

Основними функціями програмного забезпечення є моніторинг параметрів сонячної електростанції, акумуляторної батареї, інвертора та дизель-генераторної установки, аналіз поточного стану системи та автоматичний вибір оптимального режиму роботи.

Програма забезпечує автоматичний запуск дизель-генератора при недостатньому рівні заряду акумуляторної батареї або низькій потужності сонячної генерації. Після відновлення необхідних параметрів система автоматично повертається до роботи від сонячної електростанції та акумуляторних батарей.

Для візуалізації роботи комплексу використовується операторський інтерфейс, на якому відображаються основні параметри системи, аварійні повідомлення та режими роботи обладнання. Це дозволяє оператору здійснювати контроль роботи системи в режимі реального часу та оперативно реагувати на виникнення несправностей.

Структура програмного забезпечення включає алгоритми збору даних, логіку керування джерелами живлення, систему аварійного захисту та модулі візуалізації технологічного процесу.

У наступних підрозділах наведено опис алгоритму роботи системи, його реалізацію в середовищі TIA Portal та розроблений графічний інтерфейс оператора.

2.3.1 Розробка алгоритму роботи системи

Для забезпечення ефективної та безперебійної роботи гібридної енергетичної системи було розроблено алгоритм автоматичного керування джерелами електроенергії. Основним завданням алгоритму є максимальне використання енергії сонячної електростанції, підтримання необхідного рівня заряду акумуляторної батареї та автоматичне введення в роботу дизель-генераторної установки у випадку дефіциту потужності (рис. 2.8).

На початку роботи система здійснює зчитування основних параметрів, до яких належать потужність сонячної електростанції, величина навантаження, рівень заряду акумуляторної батареї, стан дизель-генераторної установки, параметри мережі та аварійні сигнали. Після цього виконується перевірка наявності аварійних ситуацій.

У разі виникнення аварії система формує повідомлення оператору та виконує аварійну зупинку дизель-генераторної установки. Якщо аварій не виявлено, контролер порівнює потужність сонячної електростанції з потужністю навантаження.

При достатній генерації електроенергії живлення споживачів здійснюється від сонячної електростанції, а дизель-генераторна установка перебуває у вимкненому стані. Якщо потужність сонячної електростанції є недостатньою, виконується перевірка рівня заряду акумуляторної батареї.

За умови, що рівень заряду акумуляторної батареї перевищує встановлене мінімальне значення, живлення навантаження здійснюється від акумуляторної батареї. При зниженні рівня заряду нижче допустимого значення контролер формує команду на запуск дизель-генераторної установки.

Після запуску генератора виконується перевірка його параметрів та вихід на номінальну напругу і частоту. Далі генератор підключається до шини навантаження та працює спільно із сонячною електростанцією, компенсуючи дефіцит потужності.

У процесі роботи система постійно контролює потужність сонячної електростанції та рівень навантаження. Після відновлення достатньої генерації від сонячних панелей дизель-генераторна установка автоматично відключається, а живлення споживачів продовжується від сонячної електростанції та акумуляторної батареї.

Розроблений алгоритм забезпечує раціональне використання енергетичних ресурсів, зменшує витрати дизельного пального та підвищує надійність електропостачання споживачів.

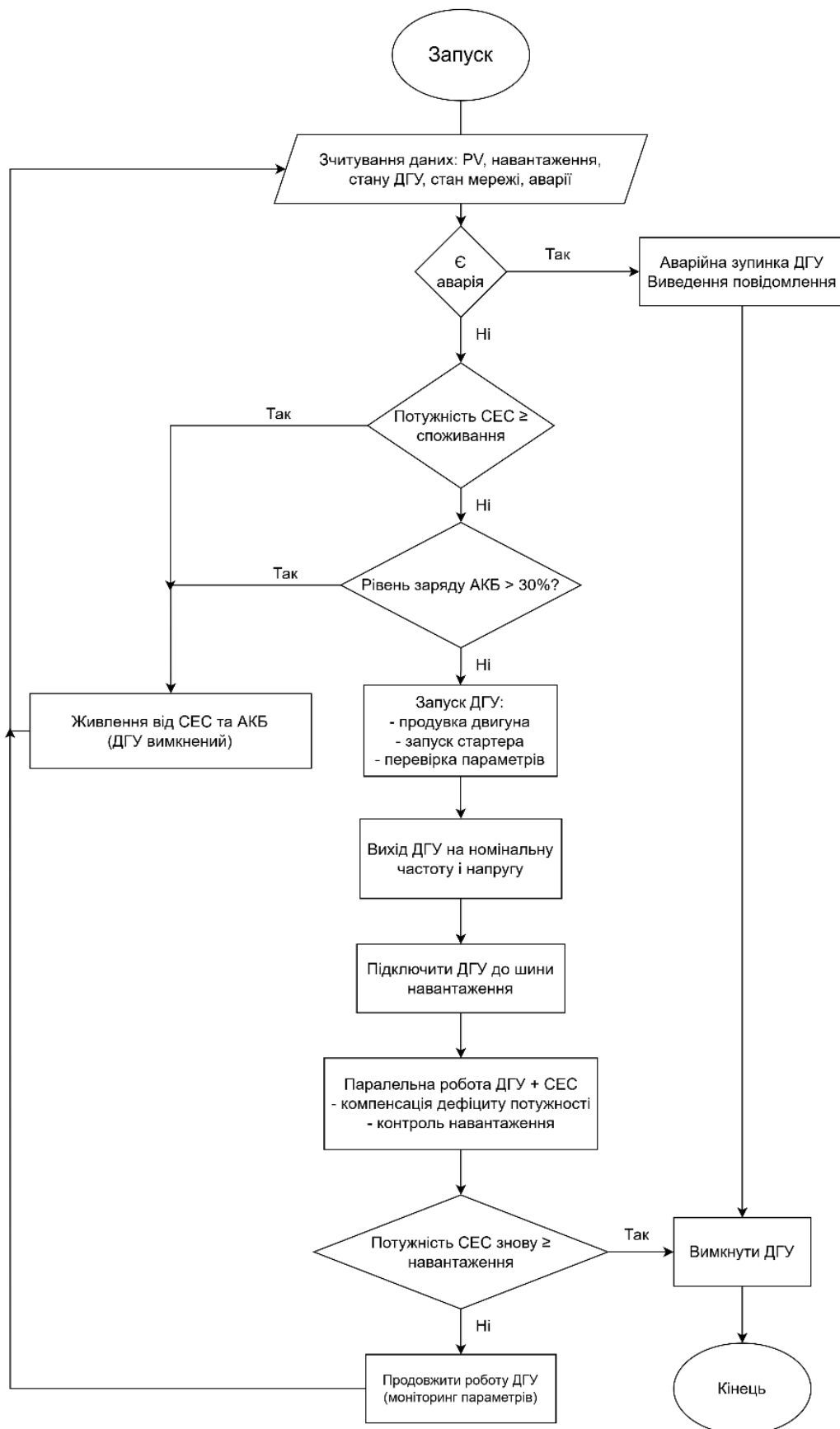


Рисунок 2.8 – Алгоритм роботи автоматизованої системи керування гібридною енергетичною системою СЕС–ДГУ

2.3.2 Візуалізація та графічний інтерфейс оператора

Для забезпечення контролю за роботою гібридної енергетичної системи розроблено графічний інтерфейс оператора (рис 2.9). Візуалізація технологічного процесу дозволяє відображати поточний стан обладнання, контролювати основні параметри роботи системи та оперативно реагувати на виникнення аварійних ситуацій.

Розробка графічного інтерфейсу виконана в середовищі WinCC, яке входить до складу програмного комплексу TIA Portal. Інтерфейс забезпечує обмін даними з контролером Siemens S7-1200 та відображає інформацію в режимі реального часу.

На екрані оператора відображаються основні параметри роботи системи, зокрема потужність сонячної електростанції, рівень заряду акумуляторної батареї, стан дизель-генераторної установки, навантаження споживачів та аварійні повідомлення. Також передбачено індикацію поточного режиму роботи енергетичного комплексу.

Графічний інтерфейс дозволяє оператору здійснювати моніторинг стану обладнання, контролювати виконання алгоритму керування та отримувати повідомлення про несправності або аварійні ситуації. Використання засобів візуалізації спрощує експлуатацію системи та підвищує ефективність її обслуговування.



Рисунок 2.9 – Графічний інтерфейс оператора

У результаті розробки було створено зручний інтерфейс моніторингу, який забезпечує наочне відображення параметрів роботи обладнання та підтримує оперативне керування енергетичним комплексом.

2.4 Моделювання роботи гібридної енергетичної системи

Для перевірки працездатності розробленої системи керування було виконано моделювання роботи гібридної енергетичної системи. Метою моделювання є аналіз взаємодії між сонячною електростанцією, акумуляторною батареєю та дизель-генераторною установкою в різних режимах експлуатації, а також перевірка правильності функціонування розробленого алгоритму керування [20].

Імітаційна модель дозволяє відтворити процеси генерації, накопичення та споживання електричної енергії без використання реального обладнання. У моделі реалізовано основні елементи гібридної енергетичної системи, а саме

сонячну електростанцію, акумуляторну батарею, дизель-генераторну установку та навантаження. Взаємодія між елементами здійснюється відповідно до алгоритму, розробленого в попередніх підрозділах.

Під час моделювання розглядаються різні режими роботи системи. Зокрема, аналізується робота при достатній генерації сонячної електростанції, режим живлення від акумуляторної батареї за недостатньої потужності СЕС та режим резервного електроживлення із залученням дизель-генераторної установки. Це дозволяє оцінити ефективність роботи системи та перевірити коректність перемикання між джерелами електроенергії.

Особливу увагу приділено перевірці умов автоматичного запуску дизель-генераторної установки при зниженні рівня заряду акумуляторної батареї нижче встановленого порогового значення. Також досліджується процес автоматичного відключення генератора після відновлення необхідного енергетичного балансу системи.

Результати моделювання дозволяють підтвердити працездатність запропонованої структури гібридної енергетичної системи та ефективність розробленого алгоритму автоматизованого керування. Це створює підґрунтя для подальшого впровадження системи на реальному об'єкті та оцінки її техніко-економічних показників.

2.4.1 Створення імітаційної моделі системи

Для перевірки роботи розробленої гібридної енергетичної системи було створено її імітаційну модель. Модель відтворює основні елементи енергетичного комплексу та дозволяє аналізувати їхню взаємодію в різних режимах експлуатації (рис. 2.10).

Під час побудови моделі реалізовано сонячну електростанцію як основне джерело електроенергії, акумуляторну батарею для накопичення енергії, дизель-генераторну установку як резервне джерело живлення та

навантаження, яке споживає вироблену електроенергію. Також передбачено елементи передавання енергії між окремими компонентами системи.

Принцип роботи моделі відповідає структурі реальної гібридної енергетичної системи. У денний час основним джерелом живлення виступає сонячна електростанція. Надлишкова електроенергія накопичується в акумуляторній батареї та може бути використана при зниженні рівня сонячної генерації. У випадку критичного зменшення заряду акумуляторної батареї активується резервне джерело живлення у вигляді дизель-генераторної установки.

Створена модель дозволяє візуально контролювати потоки енергії між компонентами системи та спостерігати зміну режимів роботи залежно від поточного енергетичного балансу. Це дає можливість оцінити ефективність запропонованого алгоритму керування та перевірити коректність прийнятих технічних рішень.

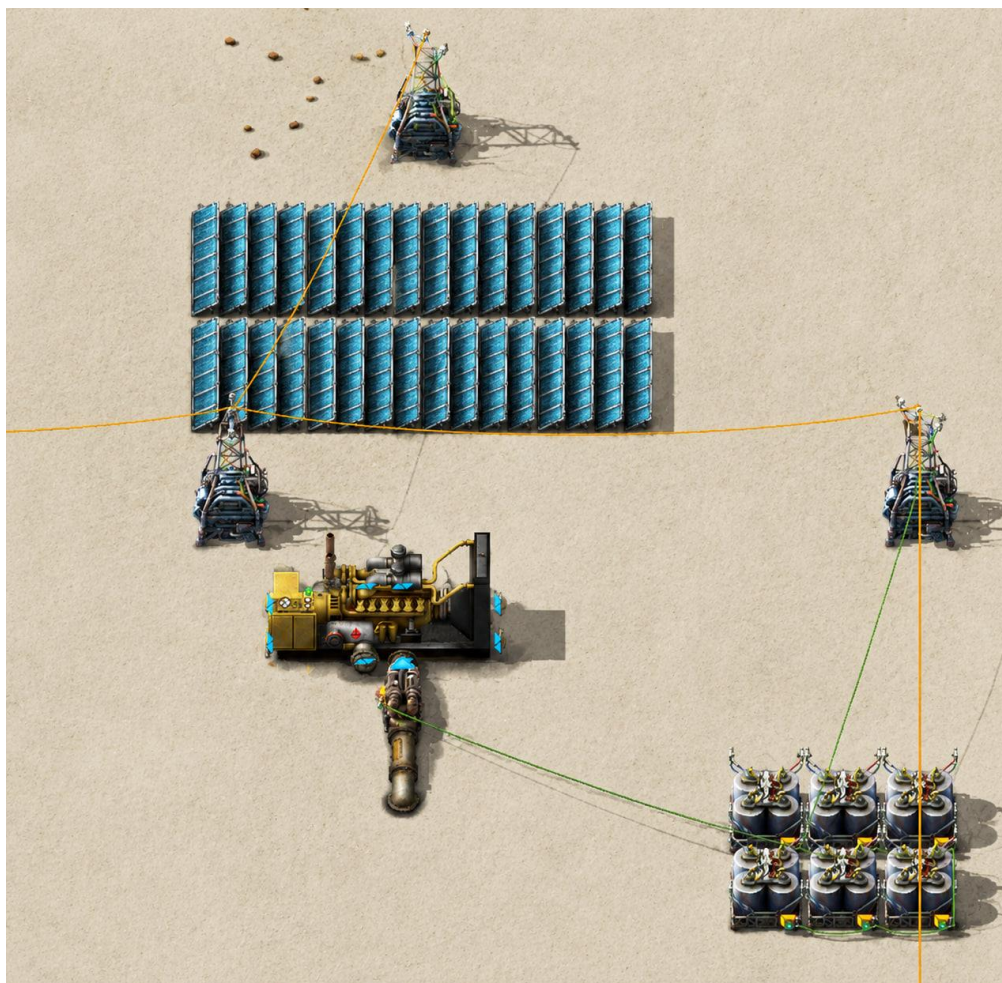


Рисунок 2.10 – Імітаційна модель гібридної енергетичної системи

Побудована модель використовується для дослідження роботи системи в різних умовах експлуатації та подальшого аналізу ефективності її функціонування.

2.4.2 Аналіз роботи системи в нормальному режимі

Одним із основних режимів функціонування гібридної енергетичної системи є нормальний режим роботи, за якого сонячна електростанція забезпечує достатню генерацію електричної енергії для живлення навантаження та заряджання акумуляторної батареї (рис. 2.11). У цьому режимі дизель-генераторна установка перебуває у вимкненому стані та не бере участі у забезпеченні енергетичних потреб системи.

Під час роботи сонячні панелі виробляють електроенергію, яка надходить до споживачів через систему розподілу електричної енергії. У випадку перевищення виробленої потужності над потужністю навантаження надлишок енергії спрямовується на заряд акумуляторної батареї. Такий режим дозволяє максимально використовувати відновлювані джерела енергії та зменшувати витрати на експлуатацію резервного обладнання.

У створеній імітаційній моделі нормальний режим відповідає денному часу доби, коли сонячна генерація є достатньою для забезпечення роботи навантаження. Контроль параметрів системи здійснюється автоматично, а алгоритм керування підтримує оптимальний енергетичний баланс між генерацією та споживанням електроенергії.

Графічний інтерфейс дозволяє контролювати поточний стан системи, рівень заряду акумуляторної батареї та вироблену потужність сонячної електростанції. При цьому індикатори роботи дизель-генераторної установки залишаються неактивними, що свідчить про відсутність необхідності використання резервного джерела живлення.

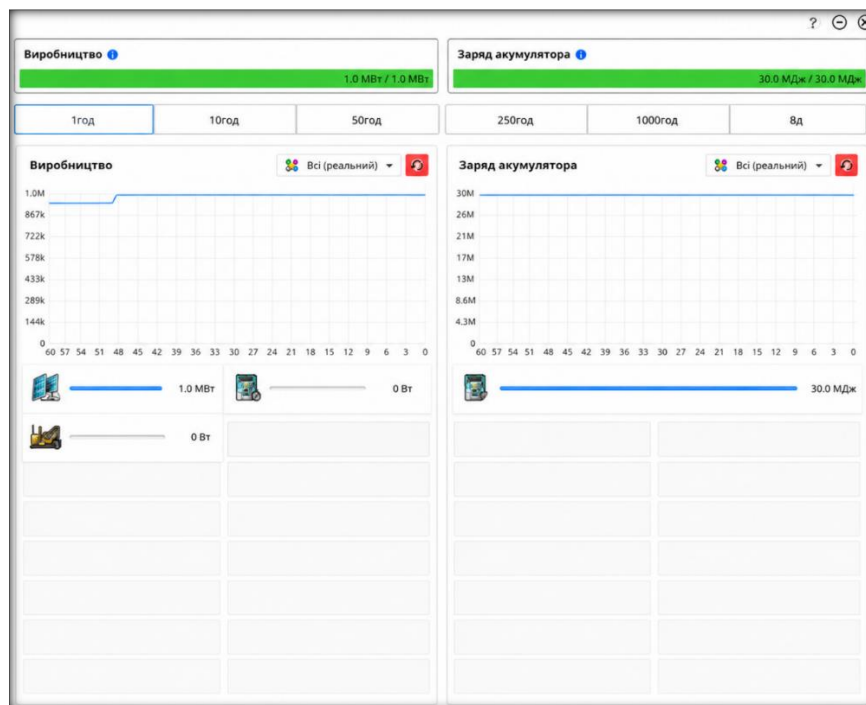


Рисунок 2.11 – Робота гібридної енергетичної системи в нормальному режимі (живлення від сонячної електростанції та заряд акумуляторної батареї)

Отримані результати підтверджують, що за наявності достатньої сонячної генерації система забезпечує стабільне електроживлення навантаження без залучення дизель-генераторної установки, що відповідає розробленому алгоритму керування.

2.4.3 Аналіз роботи системи в аварійному режимі

Аварійний режим роботи гібридної енергетичної системи виникає у випадку, коли потужність сонячної електростанції є недостатньою для забезпечення навантаження, а рівень заряду акумуляторної батареї знижується нижче встановленого порогового значення (рис. 2.12). У такій ситуації система автоматичного керування формує команду на запуск дизель-генераторної установки.

Після запуску дизель-генератор переходить у робочий режим та бере на себе функцію забезпечення навантаження електричною енергією. Одночасно частина виробленої потужності використовується для відновлення заряду акумуляторної батареї. Це дозволяє підтримувати безперервне електроживлення споживачів навіть за тривалої відсутності достатньої сонячної генерації.

У розробленій моделі аварійний режим імітується шляхом зниження рівня заряду акумуляторної батареї до критичного значення. Після досягнення встановленого порога система автоматично активує резервне джерело живлення та переводить енергетичний комплекс у режим роботи від дизель-генераторної установки.

Графічний інтерфейс дозволяє спостерігати процес переходу системи до аварійного режиму. На екрані відображається робота дизель-генератора, зміна потоку електроенергії та поступове збільшення рівня заряду акумуляторної батареї. Завдяки цьому оператор може контролювати процес відновлення енергетичного балансу системи та оцінювати ефективність роботи резервного джерела живлення.

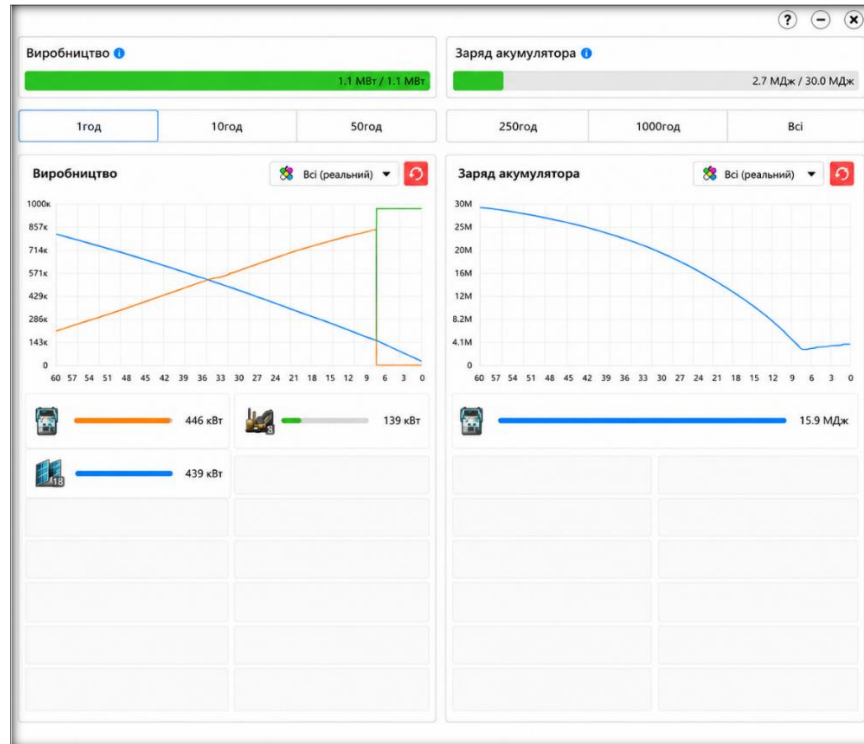


Рисунок 2.12 – Робота гібридної енергетичної системи в аварійному режимі (автоматичний запуск дизель-генераторної установки)

Результати моделювання показали, що система коректно реагує на зниження рівня заряду акумуляторної батареї та автоматично запускає резервне джерело живлення. Це забезпечує безперервність електропостачання навантаження та підтверджує працездатність розробленого алгоритму керування.

2.4.4 Аналіз результатів моделювання

Після проведення моделювання було виконано аналіз роботи гібридної енергетичної системи в різних режимах експлуатації. Основною метою дослідження була перевірка працездатності алгоритму автоматичного керування та оцінка взаємодії між сонячною електростанцією, акумуляторною батареєю та дизель-генераторною установкою.

У процесі моделювання підтверджено коректну роботу системи в умовах достатньої генерації сонячної електростанції. У цьому режимі навантаження забезпечувалося електроенергією від СЕС, а надлишок

виробленої енергії використовувався для заряджання акумуляторної батареї. Дизель-генераторна установка залишалася вимкненою, що дозволяло мінімізувати витрати пального.

За умов недостатньої сонячної генерації система переходила до використання енергії, накопиченої в акумуляторній батареї. Такий режим забезпечував безперервність електропостачання без залучення резервного джерела живлення.

При зниженні рівня заряду акумуляторної батареї нижче встановленого порогового значення система автоматично запускала дизель-генераторну установку. Генератор забезпечував живлення навантаження та одночасно відновлював заряд акумуляторної батареї. Після досягнення необхідного енергетичного балансу система поверталася до штатного режиму роботи.

Таблиця 2.6 – Результати моделювання роботи системи

Режим роботи	СЕС	АКБ	ДГУ
Нормальний режим	Генерує електроенергію	Заряджається	Вимкнена
Робота від АКБ	Недостатня генерація	Розряджається	Вимкнена
Аварійний режим	Недостатня генерація	Заряджається	Увімкнена

Отримані результати свідчать про те, що розроблений алгоритм забезпечує автоматичне перемикання між джерелами електроенергії залежно від поточного стану системи. У всіх досліджуваних режимах забезпечувалося безперервне живлення навантаження, а використання дизель-генераторної установки здійснювалося лише за необхідності.

2.5 Висновки до розділу 2

1. У другому розділі дипломної роботи було виконано проектування автоматизованої системи керування гібридною енергетичною системою, до складу якої входять сонячна електростанція, акумуляторна батарея та дизель-генераторна установка. Розроблено структуру системи, визначено принципи

взаємодії між її основними компонентами та сформовано функціональну схему автоматизованого керування.

2. Проведено аналіз та вибір апаратного забезпечення системи. Як основне джерело електроенергії обрано сонячну електростанцію на базі фотоелектричних модулів Jinko Solar 66HL4M потужністю 625 Вт, для накопичення енергії використано акумуляторну батарею BYD LITEIN 45, резервне живлення забезпечується дизель-генераторною установкою ВВ-110, а функції керування реалізуються за допомогою програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 CPU 1212C та гібридного інвертора Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-VM4. Виконано обґрунтування вибору зазначеного обладнання з урахуванням технічних вимог проєкту та особливостей енергетичної інфраструктури ЧНУ імені Петра Могили.

3. З метою перевірки працездатності запропонованих технічних рішень виконано моделювання роботи гібридної енергетичної системи. Результати моделювання підтвердили коректність роботи розробленого алгоритму керування, ефективність автоматичного перемикання між джерелами електроенергії та забезпечення безперервного електропостачання навантаження в різних режимах роботи.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСОМ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ТА СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1 Загальна характеристика умов праці

Експлуатація автоматизованої системи керування комплексом дизель-генераторної установки та сонячної електростанції пов'язана з використанням електротехнічного обладнання, засобів автоматизації та комп'ютерної техніки. Робота персоналу полягає у контролі параметрів системи, моніторингу режимів роботи обладнання та оперативному реагуванні на можливі аварійні ситуації.

Автоматизована система забезпечує координацію роботи сонячної електростанції, дизель-генераторної установки, акумуляторної батареї та інвертора. Основними функціями системи є контроль параметрів електромережі, автоматичне перемикання режимів живлення, керування процесом заряджання акумуляторної батареї та захист обладнання від аварійних режимів роботи.

Робоче місце оператора обладнане персональним комп'ютером або панеллю оператора для моніторингу параметрів системи та керування її режимами роботи. Під час роботи оператор здійснює спостереження за напругою, струмом, потужністю навантаження, рівнем заряду акумуляторної батареї та станом дизель-генераторної установки.

При експлуатації системи на персонал можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, зокрема електричний струм, підвищений рівень шуму від роботи дизель-генератора, нагрівання електрообладнання, а також психофізіологічне навантаження під час тривалої роботи за комп'ютером.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно дотримуватись вимог нормативних документів з охорони праці, електробезпеки та пожежної

безпеки, а також використовувати засоби захисту та системи автоматичного контролю стану обладнання [21].

3.1.1 Характеристика автоматизованої системи

Автоматизована система керування комплексом дизель-генераторної установки та сонячної електростанції призначена для забезпечення стабільного та безперебійного електропостачання споживачів. Система поєднує традиційне та відновлюване джерела енергії, що дозволяє підвищити ефективність використання енергоресурсів та зменшити витрати палива.

До складу системи входять сонячна електростанція на базі фотоелектричних модулів Jinko Solar, дизель-генераторна установка BB-110, акумуляторна батарея BYD LITEIN 45, гібридний інвертор Deye SUN-40K та програмований логічний контролер Siemens S7-1200. Взаємодія між елементами системи здійснюється за допомогою автоматизованої системи керування.

Сонячна електростанція використовується як основне джерело електроенергії у денний час. Дизель-генераторна установка виконує функцію резервного джерела живлення та підключається у випадках недостатньої генерації від СЕС або при збільшенні навантаження. Акумуляторна батарея забезпечує накопичення електроенергії та підтримує роботу системи в перехідних режимах.

Гібридний інвертор виконує перетворення постійного струму у змінний та забезпечує взаємодію між СЕС, акумуляторною батареєю та навантаженням. Контролер Siemens S7-1200 здійснює моніторинг параметрів системи, аналіз режимів роботи та формування керуючих сигналів для автоматичного керування обладнанням.

Принцип роботи системи полягає у постійному контролі параметрів генерації та навантаження. При достатній генерації від сонячної електростанції живлення споживачів здійснюється від СЕС та акумуляторної

батареї. У разі зниження генерації або критичного рівня заряду АКБ система автоматично запускає дизель-генератор та переводить систему у резервний режим роботи [22].

3.1.2 Характеристика робочого місця оператора

Робоче місце оператора автоматизованої системи керування призначене для моніторингу параметрів роботи гібридної енергетичної системи та керування режимами її функціонування. Оператор здійснює контроль стану сонячної електростанції, дизель-генераторної установки, акумуляторної батареї та іншого обладнання системи.

Основним засобом роботи оператора є персональний комп'ютер або панель оператора з встановленим програмним забезпеченням для візуалізації параметрів системи. На екрані відображаються значення напруги, струму, потужності навантаження, рівня заряду акумуляторної батареї, а також аварійні повідомлення та режими роботи обладнання.

Робоче місце повинно відповідати вимогам ергономіки та безпеки праці. Монітор розташовується на безпечній відстані від оператора, а органи керування мають бути зручними для використання. Кабельні лінії та електрообладнання повинні бути надійно ізольовані та захищені від механічних пошкоджень.

Приміщення операторської повинно бути обладнане системою вентиляції, достатнім рівнем освітлення та засобами пожежної безпеки. Для зниження впливу шуму від дизель-генераторної установки операторське приміщення рекомендується розміщувати окремо від силового обладнання [23].

Під час роботи оператор зазнає інформаційного та психофізіологічного навантаження, пов'язаного з постійним контролем параметрів системи. Тривала робота за комп'ютером може призводити до втоми, тому необхідно дотримуватись встановлених режимів праці та відпочинку.

3.1.3 Нормативно-правова база з охорони праці

Під час експлуатації автоматизованої системи керування комплексом дизель-генераторної установки та сонячної електростанції необхідно дотримуватись вимог нормативно-правових документів з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та експлуатації електроустановок.

Основним нормативним документом є Закон України «Про охорону праці», який визначає основні вимоги щодо забезпечення безпечних умов праці, захисту життя та здоров'я працівників у процесі трудової діяльності.

Під час роботи з електрообладнанням необхідно дотримуватись вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС), а також Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Дані нормативні документи встановлюють вимоги до монтажу, експлуатації, заземлення та захисту електрообладнання [24].

Важливе значення мають вимоги пожежної безпеки, які регламентуються Кодексом цивільного захисту України та Правилами пожежної безпеки в Україні. Вони визначають порядок експлуатації електрообладнання, зберігання пального та використання засобів пожежогасіння.

При організації робочого місця оператора необхідно враховувати санітарні норми та вимоги до роботи з персональними електронно-обчислювальними машинами. Дані вимоги регламентують рівень освітлення, параметри мікроклімату, допустиму тривалість роботи за комп'ютером та вимоги до ергономіки робочого місця [25].

Дотримання вимог нормативно-правових документів дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію гібридної енергетичної системи, знизити ризик аварійних ситуацій та створити безпечні умови праці для персоналу.

3.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Під час експлуатації автоматизованої системи керування комплексом дизель-генераторної установки та сонячної електростанції на персонал можуть впливати різні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Основними з них є дія електричного струму, підвищений рівень шуму та вібрації, нагрівання електрообладнання, можливість виникнення пожежі, а також психофізіологічне навантаження на оператора.

Електричні небезпеки пов'язані з наявністю у системі змінного та постійного струму високої напруги. При пошкодженні ізоляції, неправильному підключенні обладнання або порушенні правил експлуатації існує ризик ураження електричним струмом. Особливу небезпеку становлять короткі замикання та перенапруги, які можуть призвести до пошкодження обладнання або виникнення аварійних ситуацій.

Під час роботи дизель-генераторної установки виникають додаткові небезпечні фактори, зокрема шум, вібрація та виділення вихлопних газів. Крім цього, використання дизельного пального створює ризик виникнення пожежі або займання у разі порушення умов зберігання та експлуатації обладнання [26].

Для сонячної електростанції характерною є наявність високої напруги постійного струму, яка може бути небезпечною для персоналу під час технічного обслуговування. Також існує ризик перегрівання фотоелектричних модулів, пошкодження кабельних ліній та впливу атмосферних факторів [27].

Робота оператора автоматизованої системи пов'язана з тривалим перебуванням за комп'ютером та постійним контролем параметрів системи. Це може призводити до втоми, зниження концентрації уваги та підвищення психофізіологічного навантаження.

Для зниження впливу небезпечних та шкідливих факторів необхідно використовувати засоби захисту, дотримуватись правил безпечної експлуатації обладнання та забезпечувати належні умови праці персоналу.

3.2.1 Електричні безпеки

Під час експлуатації автоматизованої системи керування комплексом дизель-генераторної установки та сонячної електростанції основну небезпеку для персоналу становить електричний струм. У системі присутні кола змінного та постійного струму високої напруги, які можуть спричинити ураження людини при порушенні правил безпечної експлуатації обладнання.

Небезпека ураження електричним струмом може виникати при пошкодженні ізоляції кабельних ліній, дотику до струмопровідних частин, неправильному підключенні обладнання або виконанні технічного обслуговування без відключення живлення. Особливо небезпечними є ділянки системи, пов'язані з роботою інвертора, акумуляторної батареї та фотоелектричних модулів.

У системі також існує ризик виникнення коротких замикань та перенапруг, які можуть призвести до пошкодження електрообладнання, перегрівання кабелів та виникнення пожежонебезпечних ситуацій. Підвищену небезпеку становить постійний струм сонячної електростанції, оскільки навіть після відключення окремих елементів фотоелектричні модулі можуть залишатися під напругою.

Для зниження ризику ураження електричним струмом необхідно використовувати захисне заземлення, автоматичні вимикачі, пристрої захисного відключення та засоби індивідуального захисту. Технічне обслуговування обладнання повинно виконуватись тільки при відключеному живленні та відповідно до вимог електробезпеки.

Важливим заходом безпеки є постійний контроль стану ізоляції кабельних ліній, справності захисних пристроїв та дотримання правил експлуатації електроустановок.

3.2.2 Небезпечні фактори дизель-генераторної установки

Експлуатація дизель-генераторної установки супроводжується впливом шуму, вібрації, вихлопних газів та високих температур. Дані фактори можуть негативно впливати на самопочуття персоналу та створювати небезпечні умови праці.

Робота дизельного двигуна створює підвищений рівень шуму, який викликає втому та зниження концентрації уваги. Крім цього, виникає вібрація, що передається через корпус генератора та конструкції приміщення.

У процесі згоряння дизельного пального утворюються вихлопні гази, які містять шкідливі речовини. При недостатній вентиляції це може погіршувати умови праці оператора.

Окремі елементи генераторної установки нагріваються до високих температур, що створює ризик опіків або пошкодження ізоляції кабелів.

Дизельне пальне є пожежонебезпечною речовиною, тому витік палива або несправність паливної системи можуть призвести до займання.

Для зниження впливу небезпечних факторів генератор необхідно встановлювати у приміщенні з вентиляцією та шумоізоляцією, а також регулярно проводити технічне обслуговування обладнання [28].

3.2.3 Небезпечні фактори сонячної електростанції

Експлуатація сонячної електростанції пов'язана з наявністю постійного струму високої напруги, що створює ризик ураження електричним струмом. Фотоелектричні модулі можуть залишатися під напругою навіть після відключення окремих елементів системи.

Небезпеку також становить перегрівання сонячних панелей та електричних з'єднань. Пошкодження кабельних ліній або неякісні контакти можуть призвести до іскріння та займання.

На стан обладнання впливають атмосферні фактори: підвищена температура, опади, вітер та грозові перенапруги. Це може спричинити пошкодження елементів системи або порушення її стабільної роботи.

Для підвищення безпеки необхідно використовувати захисне заземлення, пристрої захисту від перенапруг та регулярно контролювати стан кабельних ліній і фотоелектричних модулів [29].

3.2.4 Психофізіологічні фактори

Робота оператора автоматизованої системи пов'язана з постійним контролем параметрів енергетичного комплексу та використанням комп'ютерної техніки. Це створює інформаційне та психоемоційне навантаження на персонал.

Тривале перебування за монітором може спричинити втому, напруження зору та зниження концентрації уваги. Крім цього, малорухомий режим роботи негативно впливає на опорно-руховий апарат працівника.

Підвищене навантаження може виникати в аварійних ситуаціях, коли оператор повинен швидко приймати рішення та контролювати стан системи.

Для зниження психофізіологічного навантаження необхідно дотримуватись режимів праці та відпочинку, забезпечувати належне освітлення робочого місця та виконувати перерви під час роботи за комп'ютером.

3.3 Заходи забезпечення безпечних умов праці

Для забезпечення безпечної експлуатації автоматизованої системи керування комплексом дизель-генераторної установки та сонячної електростанції необхідно застосовувати комплекс організаційних та технічних

заходів. Основна увага приділяється електробезпеці, пожежній безпеці, а також створенню належних санітарно-гігієнічних умов праці.

Безпечна експлуатація електрообладнання забезпечується використанням захисного заземлення, автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення та систем контролю стану обладнання. Всі роботи з технічного обслуговування повинні виконуватись відповідно до вимог електробезпеки та лише при відключеному живленні.

Для запобігання пожежам необхідно контролювати стан кабельних ліній, паливної системи дизель-генератора та електричних з'єднань. Приміщення повинно бути обладнане первинними засобами пожежогасіння та системою аварійного відключення живлення.

Важливе значення мають санітарно-гігієнічні умови праці. Робоче приміщення повинно мати достатній рівень освітлення, вентиляцію та допустимий рівень шуму. Для зниження негативного впливу на персонал необхідно забезпечити комфортні умови праці та дотримуватись режимів праці й відпочинку.

3.3.1 Заходи електробезпеки

Для забезпечення електробезпеки в автоматизованій системі керування необхідно використовувати комплекс технічних та організаційних заходів. Основною метою є запобігання ураженню персоналу електричним струмом та захист електрообладнання від аварійних режимів.

Усі металеві корпуси електрообладнання повинні бути підключені до системи захисного заземлення. Це дозволяє знизити небезпеку ураження струмом при пошкодженні ізоляції або виникненні пробоя напруги на корпус обладнання [29].

Для захисту електромережі використовуються автоматичні вимикачі та пристрої захисного відключення, які забезпечують автоматичне вимкнення живлення при короткому замиканні, перевантаженні або витоку струму.

Кабельні лінії повинні мати надійну ізоляцію та бути захищеними від механічних пошкоджень і впливу атмосферних факторів. Особливу увагу необхідно приділяти колам постійного струму сонячної електростанції.

Технічне обслуговування та ремонт обладнання дозволяється виконувати лише після повного відключення системи від джерел живлення. Персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту та дотримуватись вимог електробезпеки [30].

3.3.2 Пожежна безпека

Пожежна безпека енергетичного комплексу забезпечується контролем стану електрообладнання, кабельних ліній та паливної системи дизель-генератора. Основними причинами займання можуть бути короткі замикання, перегрівання обладнання, пошкодження ізоляції або витік дизельного пального.

Дизельне пальне необхідно зберігати у спеціальних ємностях відповідно до вимог пожежної безпеки. Паливна система генератора повинна регулярно перевірятись на наявність витоків та несправностей.

Ризик займання зменшується завдяки використанню автоматичних вимикачів, систем аварійного відключення живлення та пристроїв захисту від перенапруг. Кабельні лінії повинні мати справну ізоляцію та відповідати допустимим навантаженням.

Приміщення операторської та місце встановлення обладнання оснащуються вогнегасниками та іншими засобами пожежогасіння. Персонал повинен знати порядок дій у разі виникнення пожежі [31].

3.3.3 Санітарно-гігієнічні умови праці

Санітарно-гігієнічні умови операторської повинні відповідати вимогам безпечної та комфортної праці. Важливе значення мають параметри

мікроклімату, рівень освітлення, вентиляція приміщення та допустимий рівень шуму.

Операторська повинна бути обладнана системою вентиляції, яка забезпечує нормальний повітрообмін та підтримання допустимої температури повітря. Надмірне нагрівання приміщення може негативно впливати на самопочуття персоналу та роботу електронного обладнання.

Рівень освітлення робочого місця має відповідати встановленим нормам. Недостатнє або надмірне освітлення призводить до втоми зору та зниження працездатності оператора.

Шум від дизель-генераторної установки не повинен перевищувати допустимих значень. Для його зниження використовуються шумоізоляція приміщення та відокремлене розташування генератора.

Дотримання санітарно-гігієнічних вимог дозволяє знизити втому персоналу, підвищити ефективність роботи та забезпечити безпечні умови праці.

3.4 Ергономіка робочого місця оператора

Ергономіка робочого місця оператора має важливе значення для забезпечення безпечної та ефективної роботи автоматизованої системи керування. Правильна організація робочого місця дозволяє знизити втому персоналу, покращити умови праці та підвищити концентрацію уваги оператора.

Робоче місце повинно бути обладнане персональним комп'ютером або панеллю оператора з можливістю постійного моніторингу параметрів енергетичного комплексу. Монітор розташовується на зручній відстані від оператора, а органи керування повинні бути доступними та зручними у використанні.

Особливу увагу необхідно приділяти освітленню робочої зони, розміщенню кабельних ліній та підтриманню належного мікроклімату

приміщення. Незручне положення тіла або тривала робота за комп'ютером можуть призводити до втоми та погіршення самопочуття працівника.

Зниження психофізіологічного навантаження досягається шляхом дотримання режимів праці та відпочинку, а також правильного облаштування робочого місця відповідно до вимог ергономіки.

3.4.1 Вимоги до робочого місця

Робоче місце оператора повинно забезпечувати зручні та безпечні умови праці. Розташування обладнання має дозволяти оператору швидко отримувати інформацію про стан енергетичної системи та виконувати керування її режимами.

Монітор персонального комп'ютера або панелі оператора рекомендується розміщувати на відстані 60–70 см від очей користувача. Верхня межа екрана повинна знаходитися на рівні очей або трохи нижче.

Стіл та крісло мають відповідати ергономічним вимогам і забезпечувати правильне положення тіла оператора. Робоче крісло повинно мати регулювання висоти та спинки.

Кабельні лінії необхідно розміщувати таким чином, щоб виключити ризик механічних пошкоджень або випадкового контакту з ними. Усі електричні з'єднання повинні мати надійну ізоляцію та відповідати вимогам електробезпеки.

Освітлення робочого місця повинно бути рівномірним і достатнім для комфортної роботи з комп'ютерною технікою та засобами моніторингу системи.

3.4.2 Режим праці та відпочинку

Режим праці оператора повинен забезпечувати зниження втоми та підтримання працездатності протягом робочої зміни. Тривала робота за

комп'ютером та постійний контроль параметрів системи можуть викликати напруження зору та зниження концентрації уваги.

Рекомендується робити короткі перерви через кожні 1–2 години роботи за персональним комп'ютером. Це дозволяє зменшити навантаження на зір та опорно-руховий апарат.

Для профілактики втоми необхідно виконувати вправи для очей та змінювати положення тіла під час роботи. Важливе значення також має підтримання комфортного мікроклімату та достатнього рівня освітлення в операторській.

Дотримання режиму праці та відпочинку сприяє підвищенню ефективності роботи оператора та зменшенню психофізіологічного навантаження.

3.5 Цивільний захист та дії в аварійних ситуаціях

Експлуатація автоматизованої системи керування комплексом дизель-генераторної установки та сонячної електростанції потребує врахування можливих аварійних ситуацій та заходів цивільного захисту. Основними небезпеками можуть бути аварійне відключення електропостачання, пошкодження обладнання, пожежі та порушення роботи системи керування.

Особливу увагу необхідно приділяти захисту персоналу та забезпеченню безпечної роботи енергетичного комплексу в умовах надзвичайних ситуацій. У разі виникнення аварії система повинна забезпечувати автоматичне відключення пошкоджених ділянок та передачу повідомлень оператору.

Персонал повинен бути ознайомлений з правилами дій при виникненні аварійних ситуацій, порядком евакуації та використанням засобів пожежогасіння. Важливе значення має наявність резервних джерел живлення та засобів зв'язку [32].

Окрему увагу необхідно приділяти захисту інформації та системи автоматизованого керування від несанкціонованого доступу та втрати даних. Резервне копіювання інформації та обмеження доступу до системи дозволяють підвищити надійність її роботи.

3.5.1 Аналіз можливих надзвичайних ситуацій

Під час експлуатації гібридної енергетичної системи можуть виникати різні аварійні та надзвичайні ситуації, які здатні впливати на безпечну роботу обладнання та персоналу.

Однією з найбільш поширених ситуацій є аварійне відключення електропостачання або перевантаження енергетичної системи. Це може призводити до автоматичного запуску дизель-генераторної установки або переходу системи у резервний режим роботи.

Небезпеку також становлять короткі замикання, перенапруги, пошкодження кабельних ліній та перегрівання електрообладнання. Такі аварії можуть спричинити вихід обладнання з ладу або виникнення пожежі.

В умовах воєнних ризиків можливі перебої електропостачання, пошкодження енергетичної інфраструктури та порушення роботи автоматизованих систем керування. У подібних ситуаціях важливе значення має використання резервних джерел живлення та систем аварійного відключення.

Додаткову небезпеку створює можливість несанкціонованого доступу до системи керування або втрата інформації, що може порушити стабільну роботу енергетичного комплексу.

3.5.2 Дії персоналу під час аварійних ситуацій

У разі виникнення аварійної ситуації персонал повинен негайно оцінити стан обладнання та визначити джерело небезпеки. При виявленні короткого

замикання, перегрівання обладнання або появи диму необхідно виконати аварійне відключення живлення та повідомити відповідальних осіб.

При виникненні пожежі слід використати первинні засоби пожежогасіння та діяти відповідно до інструкцій пожежної безпеки. Якщо існує загроза життю або здоров'ю працівників, необхідно організувати евакуацію персоналу.

У випадку повітряної тривоги або загрози пошкодження енергетичної інфраструктури оператор повинен перевести систему у безпечний режим роботи, виконати контрольне відключення обладнання та залишити робочу зону відповідно до плану евакуації.

Після усунення аварійної ситуації проводиться перевірка стану обладнання, кабельних ліній та системи керування перед повторним введенням комплексу в експлуатацію [32].

3.5.3 Захист інформації та кібербезпека

Автоматизована система керування повинна бути захищена від несанкціонованого доступу та втрати даних. Порушення роботи системи керування може призвести до збоїв у роботі енергетичного комплексу або аварійних ситуацій.

Доступ до програмного забезпечення та параметрів системи повинен надаватись лише авторизованому персоналу. Для цього використовуються паролі, обмеження прав доступу та системи автентифікації користувачів.

Важливим заходом є регулярне резервне копіювання даних та збереження конфігурацій системи керування. Це дозволяє швидко відновити роботу системи у випадку збою або пошкодження інформації.

Комп'ютери та мережеве обладнання необхідно захищати від шкідливого програмного забезпечення та зовнішнього втручання. Також рекомендується регулярно оновлювати програмне забезпечення та контролювати стан мережевих підключень [33].

3.6 Розрахунок штучного освітлення операторської

Якість освітлення операторської має важливе значення для забезпечення комфортних та безпечних умов праці. Недостатній рівень освітленості може призводити до швидкої втоми, погіршення зору та зниження концентрації уваги оператора.

У приміщенні операторської необхідно забезпечити рівномірне штучне освітлення, яке відповідатиме вимогам нормативних документів та створюватиме комфортні умови для роботи з комп'ютерною технікою і засобами моніторингу системи [34].

Розрахунок системи освітлення виконується з урахуванням площі приміщення, висоти встановлення світильників, типу джерел світла та нормативної освітленості робочої зони. Отримані результати дозволяють визначити необхідну кількість світильників та оцінити відповідність освітлення встановленим нормам [35].

3.6.1 Вихідні дані для розрахунку

Для розрахунку системи штучного освітлення операторської приймаємо такі вихідні дані:

- довжина приміщення $a = 4$ м;
- ширина приміщення $b = 3$ м;
- площа приміщення $S = 12$ м²;
- нормована освітленість $E_n = 300$ лк;
- коефіцієнт запасу $K_z = 1,5$;
- коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,6$;
- світловий потік одного LED-світильника $F = 3200$ лм;
- кількість ламп у світильнику $n = 1$.

Площа операторської визначається за формулою:

$$S = a \cdot b$$

$$S = 4 \cdot 3 = 12\text{м}^2$$

3.6.2 Визначення норм освітленості

Для операторських приміщень та роботи з персональними комп'ютерами нормативна освітленість повинна становити не менше 300 лк.

Розрахунок кількості світильників виконується методом світлового потоку за формулою:

$$N = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3}{F \cdot \eta \cdot n}$$

N – кількість світильників;

E_H – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, м^2 ;

K_3 – коефіцієнт запасу;

F – світловий потік однієї лампи, лм;

η – коефіцієнт використання світлового потоку;

n – кількість ламп у світильнику.

3.6.3 Розрахунок кількості світильників

Тоді кількість світильників становитиме:

$$N = \frac{300 \cdot 12 \cdot 1,5}{3200 \cdot 0,6 \cdot 1}$$

$$N = \frac{5400}{1920} = 2,81$$

Оскільки кількість світильників повинна бути цілим числом, приймаємо:

$N = 3$ світильники

3.6.4 Аналіз отриманих результатів

У результаті розрахунку встановлено, що для забезпечення нормативного рівня освітленості операторської площею 12 м² необхідно встановити 3 LED-світильники зі світловим потоком 3200 лм кожний.

Отриманий рівень освітлення забезпечує комфортні та безпечні умови праці оператора, знижує втому зору та відповідає вимогам охорони праці.

Висновки до розділу 3

У даному розділі було розглянуто питання охорони праці та цивільного захисту при експлуатації автоматизованої системи керування комплексом дизель-генераторної установки та сонячної електростанції.

Проведено аналіз умов праці оператора, основних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, пов'язаних з експлуатацією електрообладнання, дизель-генераторної установки та сонячної електростанції. Розглянуто заходи електробезпеки, пожежної безпеки та санітарно-гігієнічні вимоги до робочого місця оператора.

Описано основні вимоги до організації робочого місця, режимів праці та відпочинку персоналу. Також розглянуто заходи цивільного захисту, дії персоналу при аварійних ситуаціях та питання захисту інформації автоматизованої системи керування.

У результаті виконано розрахунок штучного освітлення операторської та визначено необхідну кількість світильників для забезпечення нормативного рівня освітленості робочого приміщення.

Запропоновані заходи дозволяють забезпечити безпечні та комфортні умови праці персоналу, підвищити надійність роботи енергетичного комплексу та знизити ризик виникнення аварійних ситуацій.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було розглянуто питання розробки автоматизованої системи керування комплексом дизель-генераторної установки, сонячної електростанції та акумуляторної батареї. Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення надійності електропостачання, ефективного використання енергетичних ресурсів та збільшення частки відновлюваних джерел енергії в сучасних системах електроживлення.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел та патентної інформації за темою роботи. Розглянуто принципи функціонування гібридних енергетичних систем, особливості роботи дизель-генераторних установок, сонячних електростанцій та інверторного обладнання. Виконано аналіз існуючих технічних рішень і сформульовано основні вимоги до проєктованої автоматизованої системи керування.

У другому розділі виконано проєктування автоматизованої системи керування гібридною енергетичною системою. Розроблено функціональну та електричну принципову схеми системи, виконано вибір основного обладнання та обґрунтовано його використання. Для реалізації системи обрано дизель-генераторну установку ВВ-110, фотоелектричні модулі Jinko Solar 66HL4M, акумуляторну батарею BYD LITEIN 45, гібридний інвертор Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-BM4 та програмований логічний контролер Siemens S7-1200 CPU 1212C. Також розроблено алгоритм автоматичного керування режимами роботи системи та створено графічний інтерфейс оператора для моніторингу параметрів енергетичного комплексу.

У третьому розділі розглянуто питання охорони праці та цивільного захисту під час експлуатації автоматизованої системи керування. Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, визначено основні ризики, пов'язані з експлуатацією електротехнічного обладнання, дизель-генераторної установки та сонячної електростанції. Запропоновано комплекс

організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці персоналу.

Для перевірки працездатності запропонованих технічних рішень виконано моделювання роботи гібридної енергетичної системи. Отримані результати підтвердили ефективність розробленого алгоритму керування, коректність автоматичного перемикання між джерелами живлення та можливість забезпечення безперервного електропостачання споживачів у різних режимах роботи.

Таким чином, поставлена мета роботи досягнута, а всі визначені завдання виконані. Розроблена автоматизована система керування може бути використана для підвищення надійності та ефективності роботи гібридних енергетичних комплексів на базі сонячних електростанцій, акумуляторних батарей та дизель-генераторних установок.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гібридна енергетична система. URL: <https://ukrstp.com/servises/electro-solution/vnutrishnye-elektropostachannya/>
(дата звернення: 27.11.2025)
2. Функціональна схема гібридної енергетичної системи. URL: <https://aw-therm.com.ua/gibridna-sonyachna-elektrostantsiya-shemi-pidklyuchennya/> (дата звернення: 28.11.2025)
3. Технічні вимоги до приміщень під електростанцію. URL: <https://samsad.kiev.ua/tehnicheskie-trebovaniya-k-pomeschenijam-pod-jelektrostantsiju.html> (дата звернення: 04.12.2025)
4. Дизельна електростанція Cummins C90D5. URL: <https://pumpcentre.com.ua/ua/dizelnaya-elektrostantsiya-cumminsc90d5/> (дата звернення: 15.12.2025)
5. FG Wilson P88-3 Diesel Generator. URL: <https://www.genlitecpower.com/P88-3-FG-Wilson-88kVA-Diesel-Generator-p.html> (дата звернення: 15.12.2025)
6. Himoina Generator HFW-100. URL: <https://www.himoina.com/electric-generators/generator-set-100kva-diesel-mobile-hfw/generator-sets-for-stationary-installations/industrial-generator-sets/3-6-26207/eng.html> (дата звернення: 19.01.2026)
7. Укренерго: надлишок електроенергії в системі. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/ukrenerho-fiksuie-nadlyshok-elektroenerhii-v-systemi> (дата звернення: 19.01.2026)
8. Сонячна панель Jinko Solar. URL: <https://energotech.kiev.ua/ua/p2930810977-jinko-solar-jkm550m.html> (дата звернення: 22.01.2026)

9. Canadian Solar HiKu Datasheet. URL: https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-P_EN.pdf (дата звернення: 28.01.2026)
10. Trina Solar Vertex S Datasheet. URL: <https://www.solarenergypoint.it/immagini/pdf/download/fotovoltaico/moduli-fotovoltaici/trina-solar/vertex-s/trina-solar-vertex-s-tsm-415-420-425-430-435-de09r-08-scheda-tecnica-moduli-fotovoltaici-monocristallini.pdf> (дата звернення: 29.01.2026)
11. Гібридний інвертор LuxPower SNA6000. URL: <https://ecodrive.in.ua/gibridniy-invertor-luxpower-sna6000-wpv-48-v-6000-vt-100-a-bezperebiynik-ups-dbzh/> (дата звернення: 01.02.2026)
12. Victron MultiPlus-II Datasheet. URL: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-MultiPlus-II-inverter-charger-EN.pdf> (дата звернення: 02.02.2026)
13. Інвертор Growatt SPF 5000 ES. URL: <https://altpower.com.ua/product/avtonomnyy-soniachnyy-invertor-growatt-spf-5000-es-wi-fi/> (дата звернення: 05.02.2026)
14. Інвертор Deye SUN-5K-SG03LP1. URL: https://e-energy.in.ua/Solar_Inverters/gibrydnyj-invertor-deye-sun-5k-sg03lp1-eu-wifi.html (дата звернення: 11.02.2026)
15. ВВ Power. Дизель-генераторна установка ВВ-110. Технічний опис та характеристики. URL: <https://www.mascus.com.ua/strojtehnika/дизельные-генераторы/other-spark-generator-baudouin-88-kva-diesel/lfo2lds8.html> (дата звернення: 25.03.2026).
16. Сонячні панелі Jinko Solar Tiger Neo 66HL4M. Офіційний сайт виробника. URL: https://www.jinkosolar.com/en/site/tigerneo_3 (дата звернення: 01.04.2026).
17. Акумуляторні батареї BYD Energy Storage. Технічна документація та характеристики. URL: <https://e-energy.in.ua/akumuljatorni->

[batarje/akumulyatorna-batareya-byd-premium-hvs-10-2.html](https://batarje.akumulyatorna-batareya-byd-premium-hvs-10-2.html) (дата звернення: 06.04.2026).

18. Інвертор Deye SUN-5K-SG03LP1. URL: https://energy.in.ua/Solar_Inverters/gibrydnyj-invertor-deye-sun-5k-sg03lp1-eu-wifi.html (дата звернення: 11.04.2026)

19. Siemens TIA Portal. Програмне забезпечення для розробки систем автоматизації. URL: <https://www.siemens.com/uk-ua/products/simatic/s7-1200-g2/> (дата звернення: 17.04.2026).

20. Factorio. Середовище імітаційного моделювання енергетичних систем. URL: <https://www.factorio.com> (дата звернення: 26.04.2026).

21. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 20.05.2026)

22. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-98> (дата звернення: 20.05.2026)

23. Ергономічні вимоги до офісної роботи з візуальними терміналами. URL: <https://www.iso.org/standard/16883.html> (дата звернення: 21.05.2026)

24. ДСанПіН 3.3.2-007-98. Гігієнічні вимоги до роботи з ПЕОМ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98> (дата звернення: 21.05.2026)

25. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> (дата звернення: 20.05.2026)

26. Інструкції з безпеки при роботі з дизельними генераторами. URL: <https://www.cummins.com/generators/safety> (дата звернення: 22.05.2026)

27. Правила улаштування електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=8807 (дата звернення: 20.05.2026)

28. Вимоги пожежної безпеки для дизель-генераторних установок. URL: <https://safety.org.ua/bezpeka-dyzelnykh-elektrostantsii> (дата звернення: 21.05.2026)

29. Електробезпека у фотоелектричних системах. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73285.pdf> (дата звернення: 22.05.2026)
30. Solar PV System Safety Guide. URL: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-energy-safety> (дата звернення: 22.05.2026)
31. Правила пожежної безпеки в Україні. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15> (дата звернення: 21.05.2026)
32. Рекомендації щодо дій населення під час надзвичайних ситуацій. URL: <https://dsns.gov.ua> (дата звернення: 22.05.2026)
33. Кібербезпека для промислових систем управління. URL: <https://www.cisa.gov/topics/industrial-control-systems> (дата звернення: 23.05.2026)
34. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885 (дата звернення: 23.05.2026)
35. Lighting Handbook. URL: <https://www.ies.org/standards/lighting-handbook> (дата звернення: 23.05.2026)