

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення надійності електроенергетичної системи в умовах бойових дій

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1412-2
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Постнов О.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Башлій С.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент д.т.н., проф. Артемчук В.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М. _____
 Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 рівень _____
 Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 (код та назва) _____
 Спеціалізація _____
 (код та назва) _____
 Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц. В.Л. Коваленко

« _____ » _____ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Постнову Олегу Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення надійності електроенергетичної системи в умовах бойових дій

керівник роботи Башлій Сергій Вікторович, к.т.н., доцент

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

затвердені наказом ЗНУ від « 1 » травня 2023 року № 639 - с _____

2 Строк подання студентом роботи 8 грудня 2023 р.

3 Вихідні дані до роботи; Вартість палива 54,27 грн/л; споживання ВП 1750 кВт, Залізобетон марки 400 с жостким противідколом, маса БЧ 400 кг.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз впровадження заходів на підприємстві 2) Вибір обладнання для проекту 3) Техніко-економічне обґрунтування впровадження заходів з підвищення надійності електроенергетичної системи.

5 Перелік графічного матеріалу 1) Поняття „енергетичної безпеки,, 2) Схема „енергетичної безпеки,, 3) Типи фортифікацій 4) Хар-ка енергосистеми 5) Типи джерел енергії 6) Типи мікромереж 7) Типи дронів та ракет 8) Мінуси підземної ТП 9) Технічні хар-ки генератора та АКБ 10) Техніко-економічні показники підвищення надійності електроенергетичної системи

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Башлій С.В., к.т.н. доцент	<i>Башлій</i>	<i>Башлій</i>
Розділ 2	Башлій С.В., к.т.н. доцент	<i>Башлій</i>	<i>Башлій</i>
Розділ 3	Башлій С.В., к.т.н. доцент	<i>Башлій</i>	<i>Башлій</i>

7 Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості про енергетичну безпеку	1.10.2023	
2	Оцінка загроз та аналіз можливих протидій	7.11.2023	
3	Економічне обґрунтування заходів	2.12.2023	

Студент

Постнов
(підпис)О.В. Постнов

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

Башлій
(підпис)С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

Башлій
(підпис)С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Постнов О.В. «Підвищення надійності електроенергетичної системи в умовах бойових дій».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник к.т.н., доцент Башлій С.В., Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електротехніки та енергоефективності, 2023.

Пояснювальна записка містить 60 сторінок, 11 рисунків, 12 таблиць, 21 джерел посилань.

Анотація. Проведено аналіз можливих рішень для підвищення надійності енергосистеми, проведені розрахунки встановленого обладнання, економічні розрахунки впроваджених заходів.

Розраховано проект нового джерела живлення. Було обрано необхідне обладнання для проекту. Зроблені розрахунки необхідних капітальних вкладень.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА, ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ, МІКРОМЕРЕЖА, ФІЗИЧНИЙ ЗАХИСТ, РОЗПРОДІЛЕНА ГЕНЕРАЦІЯ, ПІДЗЕМНЕ РОЗМІЩЕННЯ.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА:

1. Постнов О.В. Підвищення надійності електроенергетичної системи в умовах бойових дій: Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. С. 41-42.

ABSTRACT

Postnov O.V. "Increasing the reliability of the electric power system in the conditions of hostilities.

"Qualifying thesis for obtaining a master's degree of higher education in the specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, scientific director, candidate of technical sciences, associate professor S.V. Bashliy, Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2023.

The explanatory note contains 60 pages, 11 figures, 12 tables, 21 reference sources.

Abstract. The analysis of possible solutions to increase the reliability of the power system was carried out, the calculations of the installed equipment were carried out, and the economic calculations of the implemented measures were carried out.

The project of a new power source is calculated. The necessary equipment for the project was selected. Calculations of necessary capital investments have been made.

Keywords: ENERGY SECURITY, RELIABILITY ENHANCEMENT, MICRO-GRID, PHYSICAL PROTECTION, DISTRIBUTED GENERATION, UNDERGROUND LOCATION.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕНЕРГЕТИЧНУ БЕЗПЕКУ.....	11
1.1 Поняття енергетичної безпеки.....	11
1.2 Зв'язок між енергетичною безпекою та економічною стабільністю.....	15
1.3 Енергетична безпека у сучасний час.....	17
1.4 Фізичний захист критичної інфраструктури.....	19
1.5 Розподілена генерація та резервні джерела живлення	25
1.6 Використання мікромереж.....	31
2. ОЦІНКА ЗАГРОЗ ТА АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ПРОТИДІЙ.....	41
2.1 Типи дронів та ракет.....	41
2.2 Підземне розміщення підстанцій.....	45
2.3 Побудова мікромережі.....	47
3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ.....	55
3.1 Встановлення генератора без блоку АКБ.....	55
3.2 Генератор з блоком АКБ.....	55
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	58
ДОДАТОК А.....	61
ДОДАТОК Б.....	63

ВСТУП

Актуальність дослідження. Сучасний світ, з його динамічним розвитком та геополітичними протиріччями, піддає електроенергетичні системи різних країн серйозним випробуванням. Одним із основних викликів, з якими стикаються енергетичні системи, є збереження їхньої надійності в умовах бойових дій. Військові конфлікти, терористичні акти та кібератаки можуть призвести до серйозних порушень в електропостачанні, що негативно впливає на життя громадян, економіку та безпеку країни. Тому підвищення надійності електроенергетичної системи в умовах бойових дій є важливим та актуальним завданням.

Мета та завдання досліджень. Метою даної дипломної роботи є дослідження та розробка методів та заходів, спрямованих на підвищення надійності електроенергетичних систем в умовах бойових дій. Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання:

1. Аналіз сучасних загроз та ризиків, пов'язаних із можливістю бойових дій в енергетичному секторі.
2. Дослідження існуючих методів захисту електроенергетичних систем від різних видів атак.
3. Розробка нових методів та технологій, спрямованих на забезпечення стійкості та надійності енергосистем в умовах конфліктів.
4. Оцінка ефективності запропонованих рішень з урахуванням різних сценаріїв бойових дій.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна даної роботи полягає у розробці та апробації нових методів та технологій, а також оцінці їх ефективності в контексті підвищення надійності електроенергетичних систем в умовах бойових дій. Отримані результати дозволять значно покращити захист енергосистем від різних видів атак та забезпечити більш стійке електропостачання у критичних ситуаціях.

Практичне значення одержаних результатів. Результати цього дослідження матимуть практичне значення для організацій, що займаються електропостачанням, а також для державних та військових структур, відповідальних за безпеку та надійність енергетичних систем. Запропоновані методи та технології можуть бути впроваджені для захисту критичної інфраструктури та забезпечення електропостачання в умовах бойових дій.

Особистий внесок дослідника. У ході виконання роботи дослідник провів аналіз існуючих методів та технологій, розробив нові підходи до підвищення надійності електроенергетичних систем та провів експериментальні дослідження для підтвердження ефективності запропонованих рішень. Особистий внесок автора полягає у розробці теоретичної бази та практичних рекомендацій для забезпечення надійності електроенергетичних систем в умовах бойових дій.

Аналіз існуючих методів захисту та розробка нових технічних рішень було виконано з урахуванням сучасних тенденцій у галузі інформаційної безпеки, кіберзахисту та технічної інфраструктури електроенергетичних систем. У процесі дослідження було виявлено вразливості та потенційні загрози, а також розроблено практичні рекомендації щодо їх усунення та мітигації. Особистий внесок автора включає проведення ретельного аналізу літературних джерел, створення математичних моделей для оцінки надійності електроенергетичних систем, розробку експериментальних стендів і тестових сценаріїв, а також аналіз отриманих даних і висновки на основі отриманих результатів. Автор також провів широкі дослідження в галузі сучасних технологій кіберзахисту та їх застосування в енергетичному секторі. Отримані результати є важливим внеском у сферу забезпечення надійності та стійкості електроенергетичних систем в умовах бойових дій і можуть бути основою для розробки та впровадження нових заходів та політик у галузі критичної інфраструктури.

Додатково дане дослідження дозволяє краще зрозуміти взаємозв'язок між електроенергетичними системами та національною безпекою, що має

важливе значення для розробки стратегічних заходів щодо забезпечення стійкості країни в умовах кризових ситуацій. Також наукова новизна дослідження полягає в тому, що воно поєднує різні аспекти технічної та інформаційної безпеки з аналізом ризиків та загроз, що створює комплексний підхід до вирішення проблеми.

Слід зазначити, що в ході виконання роботи автором було враховано багато факторів, включаючи сучасні тенденції в галузі кібербезпеки, розробку мереж з розподіленою генерацією енергії та впровадження нових технологій, таких як штучний інтелект та автоматизація, для забезпечення більш швидкої та ефективної реакції на загрози.

Практичне значення цього дослідження полягає в тому, що його результати можуть бути використані як керівництвом для організацій, що займаються електроенергетикою, так і для державних органів та органів безпеки при розробці стратегій та планів захисту критичної інфраструктури. Ці рекомендації допоможуть ефективно управляти та знижувати ризики, пов'язані з можливими бойовими діями чи кібератаками на електроенергетичні системи.

Це дослідження є важливий внесок у сферу забезпечення надійності та стійкості електроенергетичних систем за умов бойових дій і з урахуванням сучасних викликів. Воно відображає сучасний рівень знань і технологій у цій галузі і може бути основою для подальших досліджень і розробок, спрямованих на забезпечення безпеки та стабільності енергетичних систем у складних геополітичних та технічних умовах.

Завершуючи вступ, можна наголосити, що ця дипломна робота присвячена актуальній проблемі забезпечення надійності та стійкості електроенергетичних систем в умовах бойових дій та екстремальних ситуацій. Сучасний світ вимагає від нас розробки інноваційних методів та стратегій, здатних забезпечити безперебійне електропостачання навіть у найскладніших та несприятливих обставинах. Дослідження, що проводиться у цій роботі, покликане надати наукове та практичне обґрунтування для подальших кроків

у галузі захисту та розвитку електроенергетичної інфраструктури. Отримані результати можуть бути використані органами управління, науковими установами та компаніями, що займаються енергетикою, з метою підвищення стійкості та безпеки електроенергетичних систем у всьому світі. У наступних розділах даної роботи буде більш детально розглянуто методики та результати дослідження, а також будуть надані практичні рекомендації та рішення.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕНЕРГЕТИЧНУ БЕЗПЕКУ

1.1. Поняття енергетичної безпеки

Енергетична безпека - це стан, у якому забезпечується надійне та стійке функціонування енергетичної системи країни чи регіону. Це означає, що доступ до енергетичних ресурсів та послуг забезпечується без переривань, загроз чи втручання, і при цьому гарантується економічна, екологічна та соціальна стійкість енергетичної інфраструктури. Енергетична безпека має вирішальне значення для стабільності та розвитку країни, оскільки енергетичні ресурси відіграють ключову роль у забезпеченні електроенергією, теплом, транспортом та іншими невід'ємними аспектами сучасного життя. Енергетична безпека може бути схильна до різних загроз, включаючи геополітичні конфлікти, зміна [1] клімату, природні катастрофи, технічні збої та терористичні акти. Для забезпечення енергетичної безпеки потрібна різноманітність джерел енергії, стійкість енергетичної інфраструктури, ефективне управління енергоресурсами, регулярне оновлення та модернізація енергетичних систем, а також міжнародне співробітництво та дипломатичні зусилля для врегулювання спорів, пов'язаних з енергетичними ресурсами. Ефективна енергетична політика та стратегія, орієнтована на безпеку, відіграють важливу роль у досягненні цієї мети.

Для забезпечення енергетичної безпеки, країни та регіони можуть вживати таких заходів:

1. Різноманітність джерел енергії: Різноманітність джерел енергії, таких як нафта, природний газ, вугілля, ядерна енергія, відновлювані джерела (сонячна, вітрова, гідроенергія), зменшує залежність від одного конкретного джерела та підвищує стійкість енергетичної системи.
2. Енергоефективність: Удосконалення технологій та процесів з метою збільшення енергоефективності допомагає скоротити споживання енергоресурсів та зменшити залежність від зовнішніх поставок.

3. Диверсифікація поставок: Різноманітність джерел та постачальників енергії, а також наявність резервних механізмів дозволяють пом'якшити можливі ризики, пов'язані з перебоями в поставках.
4. Розвиток енергетичної інфраструктури: Інвестиції у розвиток та вдосконалення енергетичної інфраструктури, включаючи мережі передачі та розподілу, покращують надійність енергопостачання.
5. Міжнародне співробітництво: Співпраця на міжнародному рівні дозволяє країнам спільно вирішувати проблеми, пов'язані з енергетичною безпекою, та забезпечувати стабільність у світовій торгівлі енергоресурсами.
6. Ефективне управління енергоресурсами: Ефективне управління та контроль за енергоресурсами допомагає запобігати їх незаконному використанню та несанкціонованим поставкам.

Загрозами енергетичної безпеки є події короткочасного чи довготривалого характеру, які можуть дестабілізувати роботу енергокомплексу, обмежити або порушити енергозабезпечення, призвести до аварій та інших негативних наслідків для енергетики, економіки та суспільства. Умовно загрози енергетичній безпеці поділяються на групи: економічні, соціально-політичні, зовнішньоекономічні та зовнішньополітичні, техногенні та природні загрози, а також загрози, пов'язані з недосконалістю управління. Усі перелічені групи загроз мають пряме відношення до енергокомплексу України.

Економічні небезпеки. До цієї групи загроз належать:

дефіцит інвестиційних ресурсів, необхідних для розвитку, модернізації та технічного забезпечення нормальної роботи енергокомплексу;

- фінансова нестабільність забезпечення функціонування енергокомплексу, забезпечення паливними ресурсами, матеріалами та компонентами для підтримки технологічних процесів;
- нестабільність оплати всіх поточних витрат;
- порушення господарських зв'язків;

- неефективне використання паливних та матеріальних ресурсів;
- надмірно високі ціни на паливні та матеріальні ресурси;
- високі рівні монополізму виробників, постачальників та розподільників енергії та паливних ресурсів;
- технічні обмеження, що виникають через брак фінансових коштів;
- незбалансованість виробництва та споживання паливно-енергетичних ресурсів, дефіцит енергетичних потужностей, недостатня пропускна спроможність мереж.

Соціально-політичні небезпеки. До цієї групи загроз належать:

- нестабільність у суспільстві;
- негативні соціально-політичні події;
- приватні інтереси нових власників в енергетиці, що суперечать спільним цілям;
- хвора конкуренція;
- протиправні дії влади та керівників підприємств;
- низька кваліфікація персоналу;
- криміналізація енергетичного бізнесу

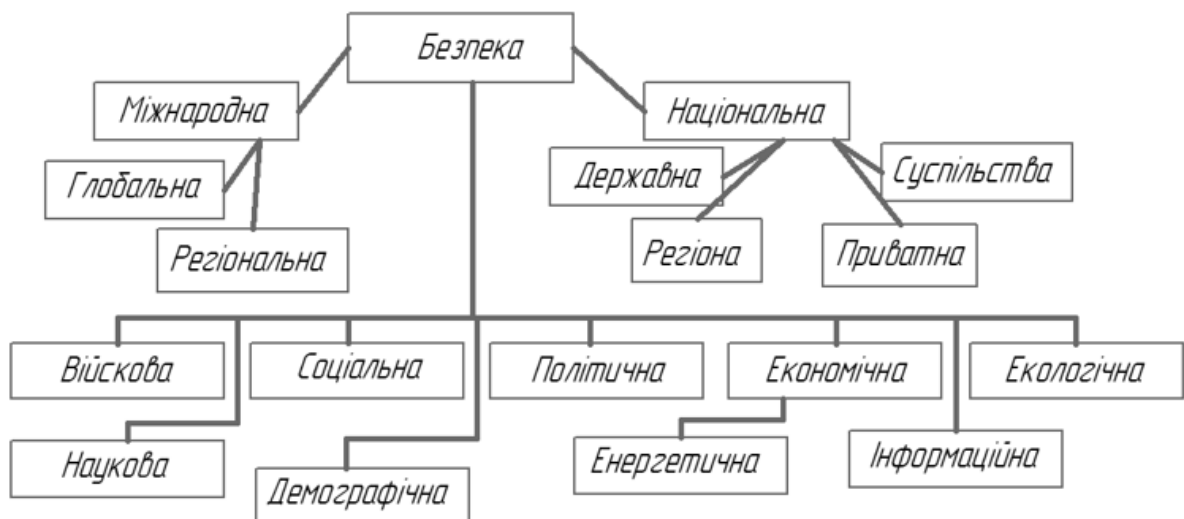


Рисунок 1.1 – Схема поняття „безпека“

Рівень енергетичної безпеки визначається комплексною взаємодією багатьох факторів технічного, економічного, екологічного та організаційно-

управлінського характеру, які загалом мають забезпечити надійне та доступне енергопостачання споживачів та гарантії попередити енергетичні загрози або протистояти їм. Стан та рівень енергетичної безпеки оцінюються шляхом вибору індикаторів, що характеризують властивості енергокомплексу у виконанні ним основних функцій та запобіганні енергетичним загрозам. Кількість і різновид індикаторів залежить від поставлених завдань.

Як основний метод дослідження енергетичної безпеки може бути застосований індикативний аналіз. Суть його полягає у формуванні системи індикаторів, які дозволяють оцінити ступінь кризовості стану енергетики та розробити комплекс заходів для ліквідації та попередження загроз.

При проведенні досліджень визначаються реальні значення індикаторів, які зіставляються з [2] гранично допустимими (пороговими), розрахованими та обґрунтованими, виходячи із загальних цілей роботи енергокомплексу та показників економічної безпеки. Ситуація оцінюється як стабільна у випадках, якщо дійсні значення індикаторів не перевищують їх граничних значень.

Таблиця 1.1 – Класифікація індикаторів

№	Блоки	Індикатори
1.	Паливопостачання	Споживання палива на душу населення.
		Частка домінуючого виду палива в сумарній кількості палива.
2.	Виробництва електричної та теплової енергії	Вироблення електроенергії душу населення. Вироблення теплоенергії душу населення.
		Частка власних джерел у покритті балансу. Частка ГЕС у загальній встановленій потужності.
		Частка блок-станцій у загальній встановленій потужності. Частка потужності найбільшої електростанції. Рівень резерву встановленої потужності.

Продовження таблиці 1.1

3.	Передачі та розподілу енергії	Рівень зношування підстанцій. Рівень зношування вимикачів. Рівень зношування трансформаторів.
4.	Імпорт електроенергії	Рівень резерву міжсистемних зв'язків. Рівень резерву енергосистемі.
		Розмір імпорту електроенергії на одиницю спожитої електроенергії.
5.	Екологічний	Рівень викидів діоксиду вуглецю на 1000 т у. Рівень викидів діоксиду вуглецю на 1 мешканця.
6.	Споживачі	Споживання електроенергії душу населення. Споживання теплоенергії душу населення.
		Співвідношення вартості паливно-енергетичних ресурсів та середньодушового доходу населення.
7.	Управління та фінансів	Рівень дебіторську заборгованість споживачів стосовно вартості спожитих енергоресурсів.
		Рівень дебіторської міжвідомчої заборгованості (між підприємствами
		ПЕК) щодо вартості спожитих енергоресурсів.
		Рівень сумарної дебіторської заборгованості щодо вартості спожитих енергоресурсів.
		Рівень сумарної кредиторської заборгованості щодо вартості спожитих енергоресурсів.

1.2. Зв'язок між енергетичною безпекою та економічною стабільністю

Енергетична безпека та економічна стабільність є тісно взаємопов'язаними концепціями, які мають важливий вплив на процеси та явища у світовій економіці та житті суспільства. У цьому розділі ми більш

детально розглянемо зв'язок між енергетичною безпекою та економічною стабільністю, виявивши ключові[3] аспекти та вплив кожної з цих концепцій на іншу.

Енергетична безпека відіграє важливу роль у забезпеченні економічної стабільності країни та світової економіки загалом. Це пов'язано з кількома ключовими аспектами:

- **Забезпечення надійного енергопостачання:** Надійне та стабільне енергопостачання є невід'ємною частиною виробництва та економічної активності. Переривання в енергопостачанні можуть призвести до скорочення виробництва, втрат робочих місць та економічних збитків. Це особливо важливо для промислових та мануфактурних секторів економіки.
- **Зниження ризиків та коливань цін:** Енергетична безпека також означає зниження ризиків у цінах на енергоресурси, такі як нафта та природний газ. Це дозволяє економіці та підприємствам планувати витрати та інвестиції з більшою впевненістю, що сприяє економічній стабільності.
- **Підтримка конкурентоспроможності:** Енергетична безпека сприяє збереженню конкурентоспроможності країни світовому ринку. Надійне та доступне енергопостачання допомагає компаніям зберігати конкурентні ціни на свою продукцію та залучати інвестиції.

Економічна стабільність сприяє залученню інвестицій у розвиток та модернізацію енергетичної інфраструктури. Це, у свою чергу, забезпечує надійне та стійке енергопостачання. Стабільність цін та доступність енергії підтримують економічну активність та сприяють сталому зростанню.

Інновації та розвиток в галузі енергетики, такі як альтернативні джерела енергії та покращені технології енергозбереження, можуть знизити залежність від нестабільних ринків енергоресурсів та збільшити надійність енергетичних систем.

Крім того, стійкість та безпека в галузі енергетики можуть сприяти створенню робочих місць, підтримці соціальної стійкості та сприяти покращенню якості життя населення. Працівники енергетичної галузі мають стабільні робочі місця, що сприяє загальному добробуту.

З урахуванням перелічених вище якостей, можна зробити висновок, що зв'язок між енергетичною безпекою [4] та економічною стабільністю дуже сильна і взаємовигідна. Збалансований та стійкий підхід до управління енергетичною політикою може сприяти зміцненню обох концепцій та забезпеченню сталого розвитку країни та світової економіки загалом.

Таким чином, зв'язок між енергетичною безпекою та економічною стабільністю є важливим аспектом сучасної політики та управління, і її розуміння та застосування відіграють ключову роль у забезпеченні процвітання та добробуту націй.

1.3. Енергетична безпека у сучасний час

Проблема енергетичної безпеки виникла в Україні, як і в інших країнах, з моменту встановлення незалежності держави. Перед країною постав цілий комплекс проблем, що стосуються політичної, економічної, військової, екологічної, інформаційної, соціальної та інших сторін життя держави та суспільства, які можна об'єднати у поняття «безпека». Стійке функціонування енергетики України до здобуття незалежності, наявність грамотного персоналу, налагоджене постачання палива, надмірність встановлених потужностей генерували впевненості в тому, що таке становище в енергетиці збережеться і надалі.

Але в останні роки в енергетиці набули розвитку негативні тенденції. В енергетичній галузі не вкладаються необхідні кошти на оновлення, модернізацію обладнання, що [5] призводить до його старіння, аварійності та

зниження експлуатаційної готовності. Реорганізація структури енергетики призвела до низки незалежних організацій, але з втратою єдиної координації управління енергокомплексом загалом.

Спостерігаються й інші негативні процеси, які болісно відбиваються на економіці загалом, стримують зростання її показників та не сприяють підвищенню життєвого рівня населення. Дедалі більш гострими стають питання доступного та надійного енергопостачання галузей економіки та населення, а також забезпечення сталої роботи самого енергокомплексу. Сукупність цих питань зумовила виникнення проблеми забезпечення енергетичної безпеки країни.

Війна Росії проти України призвела до численні зміни в геополітичному ландшафті Європи. Різні країни-члени ЄС та інституції ЄС та інституції ЄС зламали десятиліттями догматичних принципів і усталених практик в політиці безпеки і оборони, щоб відповісти на російську агресію і захистити континент. російську агресію і захистити континент. Енергетична сфера знаходиться на передовій цього протистояння, оскільки Росія використала своє домінуюче домінуюче становище на європейському ринку енергопостачання напередодні, а також під час війни, щоб послабити реакцію Європи, розділити ЄС і утримати його від збільшення підтримки Україні. З одного боку, ЄС дедалі більше намагався використати свою колективну "силу покупця", щоб змусити Росію припинити військову агресію шляхом включивши енергетичні питання в послідовні пакети санкцій. З іншого боку, багато окремих країни члени ЄС, включаючи Естонію, намагалися намагаються позбутися останніх залишків, у деяких секторах в деяких секторах своєї енергетичної залежності від Росії якомога швидше, в рамках загальних рамках плану ЄС RePowerEU, а також через низку окремих ініціатив. Вони часто стикаються з численними внутрішніми політичними, економічними і стикаються з численними внутрішньополітичними, економічних, технологічних і соціальних політичні, економічні, технологічні та соціальні виклики.

Цілеспрямовані атаки на енергетичну інфраструктуру під час звичайного конфлікту може слугувати двом основним цілям. Перша - це формування поля бою, наприклад поле бою, наприклад, позбавляючи збройні сили збройним силам паливо, необхідне їм для роботи транспортних засобів, генераторів та іншого життєво важливого обладнання, або порушуючи цивільне електропостачання, від якого також залежать військові від яких також залежать військові об'єкти. Друга мета - послабити супротивника економічно і психологічно, перешкоджаючи енергопостачання уряду, промисловості та цивільному населенню. Ці атаки мало або зовсім не змінюють військову ситуацію на місцях змінити військову ситуацію на місцях. Вони спрямовані на те, щоб підірвати стійкість нації, а не нашкодити її боєздатності. стійкість країни, а не підірвати її боєздатність. Атаки, спрямовані на енергопостачання цивільного населення багато хто вважає порушенням права збройних конфліктів, хоча в складних обставинах сучасної війни юридична сторона справи іноді може бути більш неоднозначною. ніж моральна. За допомогою таких атак агресор, як правило, прагне примусити населення, що зазнало нападу. населення, яке зазнало нападу, піти на поступки або капітуляції, але також може розраховувати на ширших результатів, таких як зменшення підтримки в сусідніх країнах, перешкоджаючи експорту енергоносіїв експорту енергоносіїв або створення дестабілізуючих потоків біженців.

1.4. Фізичний захист критичної інфраструктури

Фізичний захист критичної інфраструктури уособлює комплекс заходів та технологій, спрямованих на зміцнення та захист енергетичних об'єктів, таких як електростанції, підстанції та енергетичні мережі. Під час військових конфліктів ці об'єкти можуть стати пріоритетними цілями для руйнівних атак, і тому їхній фізичний захист стає критично важливим.

Першим кроком у забезпеченні фізичного захисту критичної інфраструктури є зміцнення будівель та споруд. Це передбачає використання стійких будівельних матеріалів та архітектурних рішень, здатних витримувати різні види атак, включаючи бомбардування та терористичні акти. Наприклад, посилення фундаментів та захисні конструкції можуть збільшити здатність будівлі виживати у разі фізичної атаки.

Далі слідує розробка та впровадження захисних заходів, таких як систем безпеки, фізичні бар'єри та контроль доступу. Ці заходи можуть запобігти несанкціонованому доступу до об'єктів та захистити їх від можливих інцидентів. Наприклад, встановлення систем відеоспостереження, датчиків руху та систем контролю доступу може значно підвищити рівень захисту.

Для забезпечення фізичного захисту критичної інфраструктури також важливо передбачити резервні та відновлювальні заходи. Це включає підготовку до запасного обладнання та резервних джерел енергії, які можуть бути активовані у разі атаки. Це дозволить швидко відновити працездатність енергетичної системи та мінімізувати перерви в енергопостачанні.

Важливим аспектом є також систематичне навчання персоналу та підготовка до можливих фізичних атак. Регулярні тренування та навчання співробітників допомагають їм ефективно реагувати на кризові ситуації та мінімізувати збитки у разі атаки. Фізичний захист критичної інфраструктури - це безперервний процес, що потребує постійного оновлення та вдосконалення. З огляду на складність сучасних загроз необхідно постійно адаптуватися і розробляти нові способи захисту. Таким чином, забезпечення фізичного захисту критичної інфраструктури залишається актуальним та важливим завданням забезпечення енергетичної безпеки в умовах воєнних конфліктів.

В рамках забезпечення фізичного захисту критичної інфраструктури важливо також враховувати рівень загрози та проводити систематичний моніторинг. Цей процес включає аналіз розвідувальних даних, оцінку поточної геополітичної обстановки та контроль над потенційними вихідними загрозами.

Слід зазначити, що фізичний захист критичної інфраструктури є інтегральною частиною загальної стратегії енергетичної безпеки. У поєднанні з іншими аспектами, такими як кібербезпека, диверсифікація джерел енергії та цивільна оборона, вона забезпечує цілісність та стійкість енергетичної системи в умовах воєнних конфліктів.

Рішенням можуть служити фортифікаційні зміцнення для захисту енергетичної інфраструктури від ракетних ударів[6] і ударів дронами – це важливий аспект національної та критичної інфраструктури, оскільки енергетичні об'єкти, такі як електростанції, підстанції та трансформатори, відіграють ключову роль у забезпеченні електроенергією та обігрівом для життєздатності. Захист цих об'єктів від різних видів атак є важливим аспектом національної безпеки.

Деякі з методів і технологій, які можуть використовуватися для фортифікації енергетичної інфраструктури з метою захисту від ракетних ударів і ударів дронами, включають:

- Зміцнення будівель і споруд: Це може включати використання бетонних бар'єрів, сталевих конструкцій тощо.
- Детектори та системи попередження: Використання датчиків та систем моніторингу для своєчасного виявлення та оповіщення про потенційні загрози.
- Активна оборона: Включає застосування антиракетних систем, антидронових технологій та інших засобів для нейтралізації загрози в повітрі.
- Географічне розподілення: Розміщення енергетичних об'єктів у стратегічних місцях, щоб зменшити ймовірність їх одночасного ураження.

Для прикладу одним з варіантів фортифікації є використання габіонів. У військовій справі габіон - це контейнер чи кошик, але в даному випадку він використовується для створення тимчасових укріплень та бар'єрів на полі бою чи військовому об'єкті. Габіони військового призначення зазвичай

складаються з сітчастих контейнерів, які заповнюються землею, піском, камінням або іншими матеріалами, щоб створити зміцнення, що швидко розгортаються.

Військові габіони можуть використовуватися для різних цілей, таких як створення тимчасових окопів, барикад, укриттів та оборонних споруд. Вони надають військам швидкий і простий засіб створення захисних структур на полі бою. Оскільки вони легкі та можуть бути заповнені місцевими матеріалами, це робить їх важливим елементом інженерних робіт збройних сил.

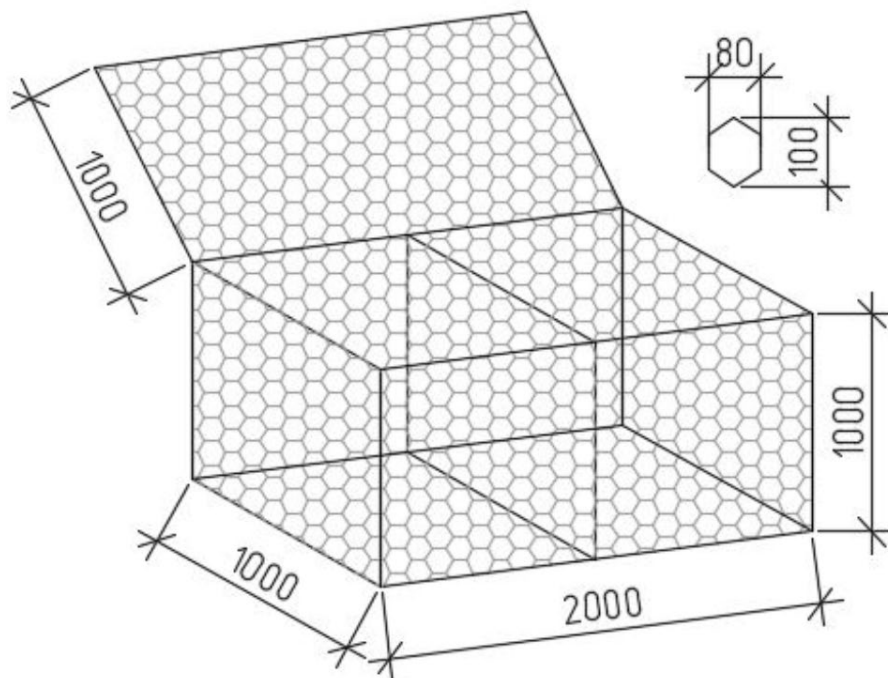


Рисунок 1.2 – Коробчастий тип габіону з сіткою подвійного кручення

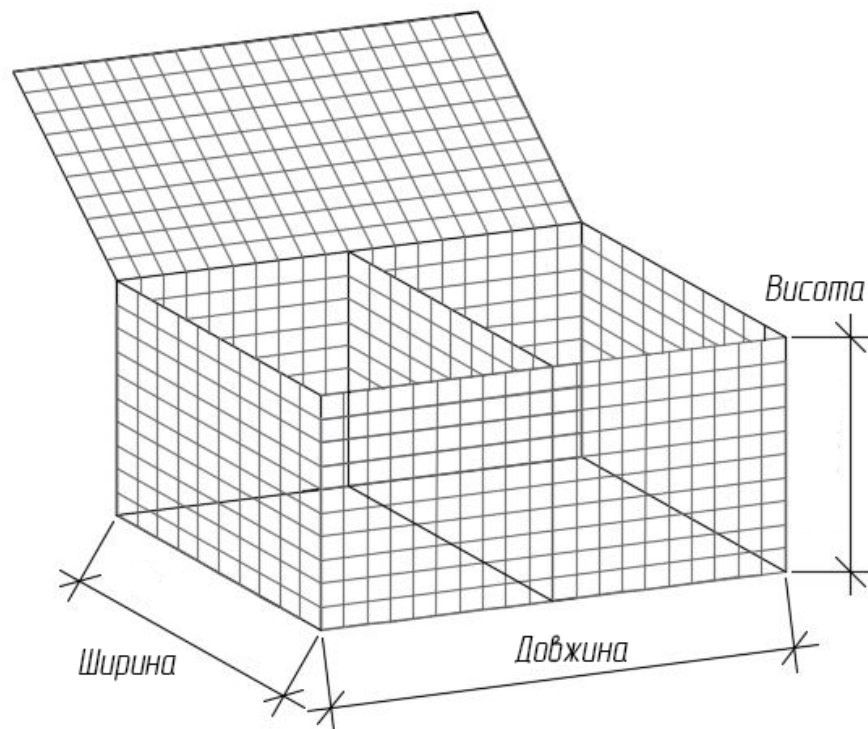


Рисунок 1.3 - Коробчастий тип габіону з зварною сіткою

На електростанціях та важливих магістральних мережах можна використовувати системи радіоелектронної боротьби, проте великі комплекси є дорогими та немобільними і вони мало підходять для цієї задачі. Важливо, що технології та стратегії у сфері РЕБ постійно розвиваються, і нові концепції, такі як "окопні системи", можуть з'явитися або еволюціонувати з часом. Окопні системи радіоелектронної боротьби - це комплекси та системи, призначені для придушення або захисту від електронних систем противника, у тому числі в умовах міської чи місцевості з безліччю перешкод та будівель, де бойові дії можуть вестись на близькій дистанції.

- Гнучкість та мобільність: Окопні системи радіоелектронної боротьби відрізняються високою гнучкістю та мобільністю, що дозволяє їм адаптуватися до різноманітних умов бою. Ці системи можуть швидко переміщатися і змінювати свою позицію відповідно до тактичної обстановки, що змінюється. Така мобільність дає перевагу в операціях,

які потребують швидких реакцій на зміни в електромагнітному середовищі.

- **Стійкість до факторів, що заважають:** Окопні системи можуть краще справлятися з факторами, що заважають, такими як географічні особливості місцевості або наявність будівель. Їх конструкція та характеристики дозволяють ефективно функціонувати в умовах, де інші засоби радіоелектронної боротьби можуть відчувати труднощі через фізичні перешкоди.
- **Близькість до загроз:** Розміщення окопних систем ближче до потенційної загрози забезпечує більш безпосередню та точну реакцію електронні загрози. Це дозволяє знизити час затримки між виявленням сигналу та прийняттям ефективних контрзаходів. Близькість до цілі також зменшує можливість електронної пригніченості сигналу на шляху до неї.

РЕБ впливає на дрони, у тому числі ті, які керуються людьми, а також дрони з інерційним або GPS-наведенням, шляхом використання різних технічних засобів та тактик. Ось як РЕБ може впливати на ці два типи дронів:

Дрони, керовані людьми:

- **Придушення управління:** Засоби РЕБ можуть впливати на частоти, які використовуються бездротове управління дроном. Це може призвести до втрати зв'язку між оператором і дроном, роблячи його нерухомим або примусово приземляючи до аварійної посадки.
- **Спотворення сигналів GPS:** РЕБ також може використовуватися для спотворення сигналів GPS, які можуть використовуватися для навігації дрона. Це може призвести до того, що дрон втратить точність свого розташування і, можливо, навіть зробить помилкові маневри.

Дрони з інерційним та GPS-наведенням:

- **Придушення GPS-сигналу:** Засоби РЕБ можуть використовуватись для придушення сигналів глобального позиціонування (GPS). Це може

призвести до того, що дрон переходить на використання інерційних систем наведення, які, у свою чергу, можуть бути менш точними.

- Спотворення інерційних систем: Також можливий вплив на інерційні системи наведення дрону, створюючи помилкові дані або спотворюючи реальні, що призводить до неточності в управлінні та навігації.
- Електромагнітні перешкоди: РЕБ може створювати електромагнітні перешкоди, які впливають на електроніку дрона, викликаючи його тимчасове чи постійне виходу з ладу.

Важливо, що ефективність РЕБ залежить від різних факторів, включаючи тип і рівень захисту дрону, його здатність до автономного управління, а також рівень технологічного розвитку систем РЕБ. Робота в галузі РЕБ є сферою, що постійно розвивається, тому методи і технології можуть змінюватися з часом. Їх можна використовувати також проти крилатих ракет, проте вони менш схильні до РЕБ однак вони не настільки масові як дрони в силі їх більшої технологічної складності виробництва та вартості.

На закінчення цього підрозділу, важливо підкреслити, що фізичний захист критичної інфраструктури - це невід'ємна частина стратегії забезпечення надійності енергосистеми за умов військових конфліктів. Вона вимагає постійної уваги, інновацій та співробітництва між фахівцями, державними органами та приватними компаніями для забезпечення безпеки та стійкості енергетичної інфраструктури.

1.5. Розподілена генерація та резервні джерела живлення

Нині промислово розвинені країни виробляють основну частину електроенергії централізовано, великих електростанціях, як-от ТЕС, АЕС та ГЕС. Потужні електростанції завдяки «ефект масштабу» мають чудові економічні показники і зазвичай передають електроенергію на великі відстані. Місце будівництва більшості з них зумовлене безліччю економічних, екологічних, географічних та геологічних факторів, а також вимогами безпеки

та охорони навколишнього[7] середовища. Наприклад, вугільні станції будуються далеко від міст для запобігання сильному забрудненню повітря, що впливає на жителів. Деякі їх будуються поблизу вугільних родовищ для мінімізації вартості транспортування вугілля. Гідроелектростанції повинні перебувати в місцях із достатнім енергозмістом (значний перепад рівнів на витрату води).

Тому в традиційній енергетиці за функціональним призначенням та територіальним розташуванням можна чітко виділити три сегменти:

- Центри виробництва електроенергії
- Лінії електропередач великої потужності
- Зони споживання електроенергії та місцеві розподільчі мережі

Атомні та теплові електростанції, крім електричної енергії, виробляють значну кількість тепла. На відміну від електроенергії, теплову енергію неможливо передавати великі відстані через різкого зростання втрат зі зростанням відстані. Водночас, через зазначені вище фактори, багато енергостанцій надто далеко розташовані, щоб використовувати їхнє побічне тепло для обігріву громадських та житлових будівель. В результаті невикористана на самій станції теплова енергія розсіюється у навколишньому середовищі (втрачається без корисного застосування).

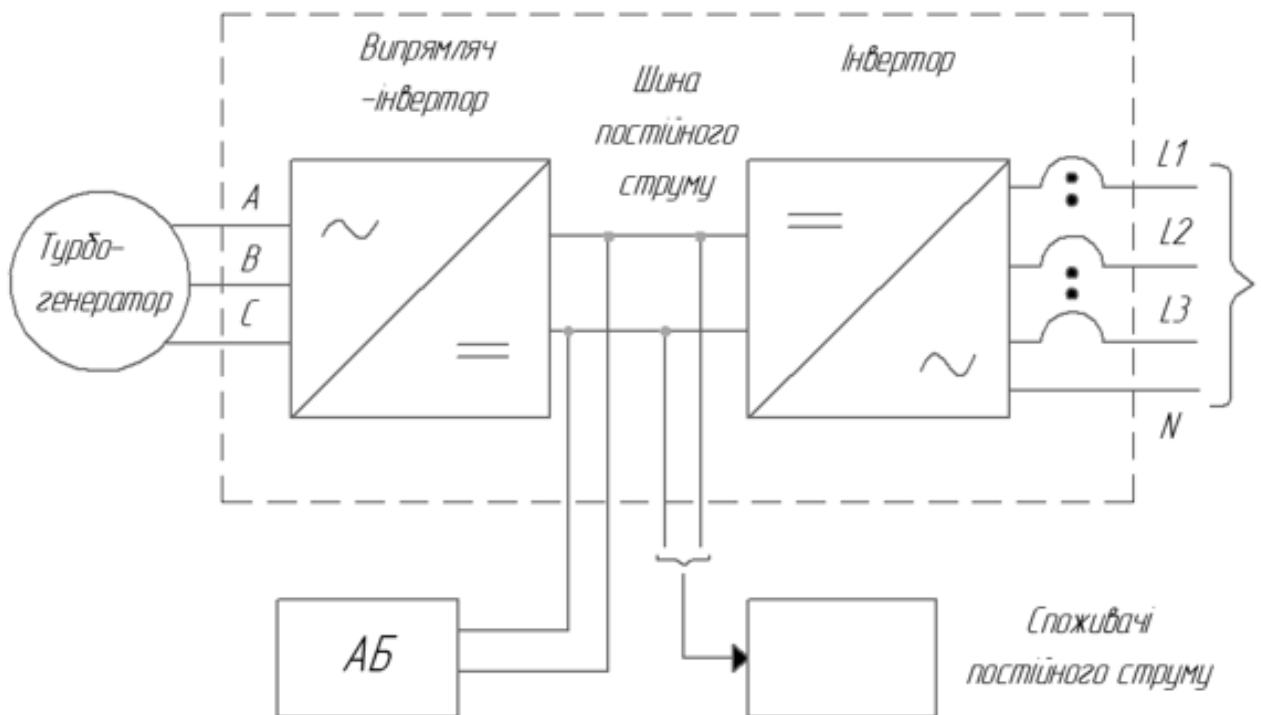


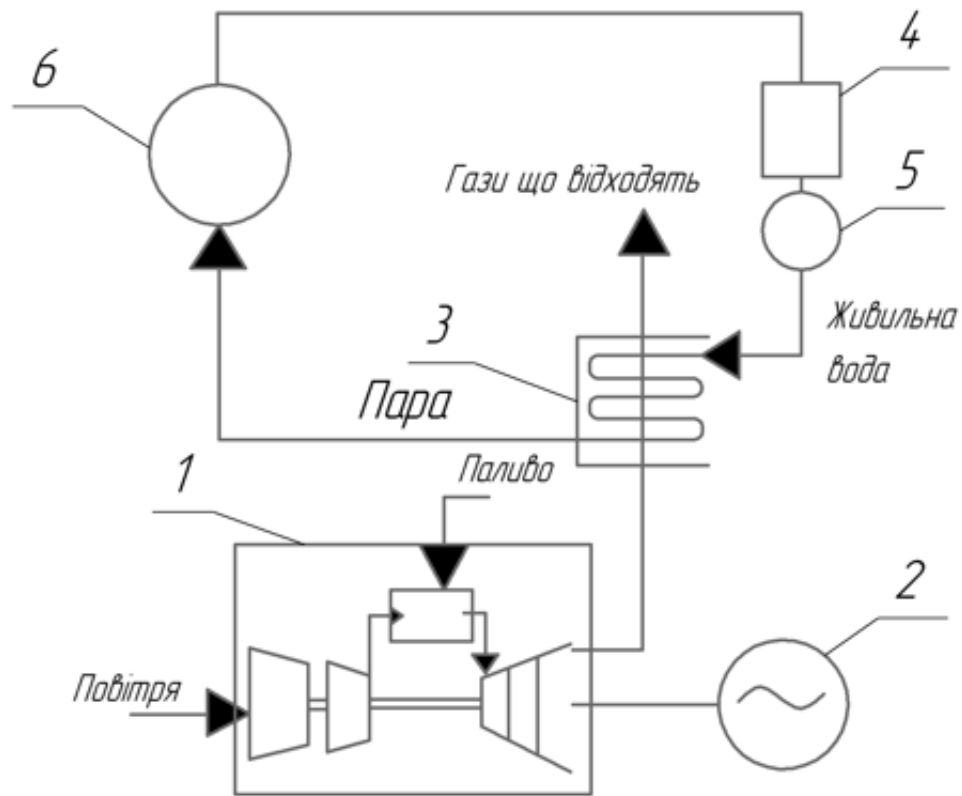
Рисунок 1.4 - Структурна схема силових електричних ланцюгів мікро-ГТЕС

Ця концепція передбачає будівництво додаткових джерел електроенергії у безпосередній близькості від споживачів. Потужність таких джерел вибирається, виходячи з очікуваної потужності споживача з урахуванням наявних обмежень і може [8] змінюватись у широких межах (від двох-трьох до сотень кіловат). При цьому споживач не відключається від загальної мережі електропостачання.

Можна виділити такі технології розподіленої малої енергетики:

- Газопоршневі електростанції
- Газотурбінні електростанції
- Мікротурбінні електростанції
- Парові котли

- Відновлювана енергетика (сонячні батареї, вітрові генератори) Паливні елементи
- Когенераційні установки (КМУ).



1 – газотурбінний двигун; 2 – електрогенератор; 3 – котел-утилізатор; 4 – витратний бак живильної води; 5 – насос; 6 – споживач теплоти

Рисунок 1.5 – Теплова схема когенераційної електростанції

При цьому в системі «споживач — місцеве джерело енергії» регулярно виникають дисбаланси між [9] виробництвом та споживанням енергії або між потребою у її видах, наприклад.

Потужність сонячних батарей та вітрогенераторів змінюється в залежності від погодних умов, а споживання електроенергії від погоди може не залежати або змінюватись у протилежний бік. У зимовий час споживання

теплової енергії залишається високим, а споживання електроенергії змінюється за часом доби.

Також можна розглянути концепцію будівництва малих модульних реакторів. Вони мають відносно малі габарити та потужність (електрична менше 300 МВт та теплову менше 1000 МВт).

У варіанті ММР проєктуються зокрема реактори на теплових нейтронах, реактори на швидких нейтронах, а також реактори на розплавах солей з газовим охолодженням. ММР більш безпечні в порівнянні з традиційними реакторами внаслідок малої потужності та низького внутрішнього тиску, а також через широке застосування в їхній конструкції пасивних систем безпеки. Крім того, малим модульним реакторам рідше потрібно перезавантаження палива.

Питання використання малих модульних реакторів (ММР) в умовах воєнних дій відкриває цікаву перспективу в галузі енергетичної безпеки. Давайте розглянемо кілька аспектів цієї теми.

1. Мобільність та стійкість. ММР можуть бути більш мобільними та стійкими до різних умов, включаючи військові дії. Їхні компактні розміри та можливість швидкого розгортання роблять їх потенційно ефективним рішенням для забезпечення електроенергією в зонах конфліктів.

2. Незалежність від паливних поставок. ММР можуть працювати на різних видах палива, включаючи уран, торій та навіть використаний ядерний матеріал. Це може знизити залежність від постачання палива через військові дії та забезпечити більш тривалий період автономної роботи.

3. Здатність до роботи у екстремальних умовах. ММР можуть бути спроектовані з урахуванням високих вимог щодо безпеки та стійкості до

різних впливів, включаючи атаки та техногенні катастрофи. Це покращує їхню здатність функціонувати в умовах воєнних дій.

4. Децентралізація енергопостачання. Використання ММР сприяє децентралізації системи енергопостачання, що може бути важливим фактором в умовах воєнних дій, коли централізовані електростанції можуть бути атаковані.

5. Роль у відновленні після конфлікту. ММР можуть відігравати важливу роль у відновленні після воєнних дій, надаючи енергію для відновлення порушеної інфраструктури та забезпечуючи підтримку цивільному населенню.

Проте, слід зазначити, що існують серйозні технологічні, екологічні та безпечні питання, пов'язані[10] з використанням ядерних технологій, навіть у масштабах ММР. Проблеми утилізації відпрацьованих ядерних матеріалів, безпеки транспортування та обробки палива потребують серйозної уваги та регулювання.

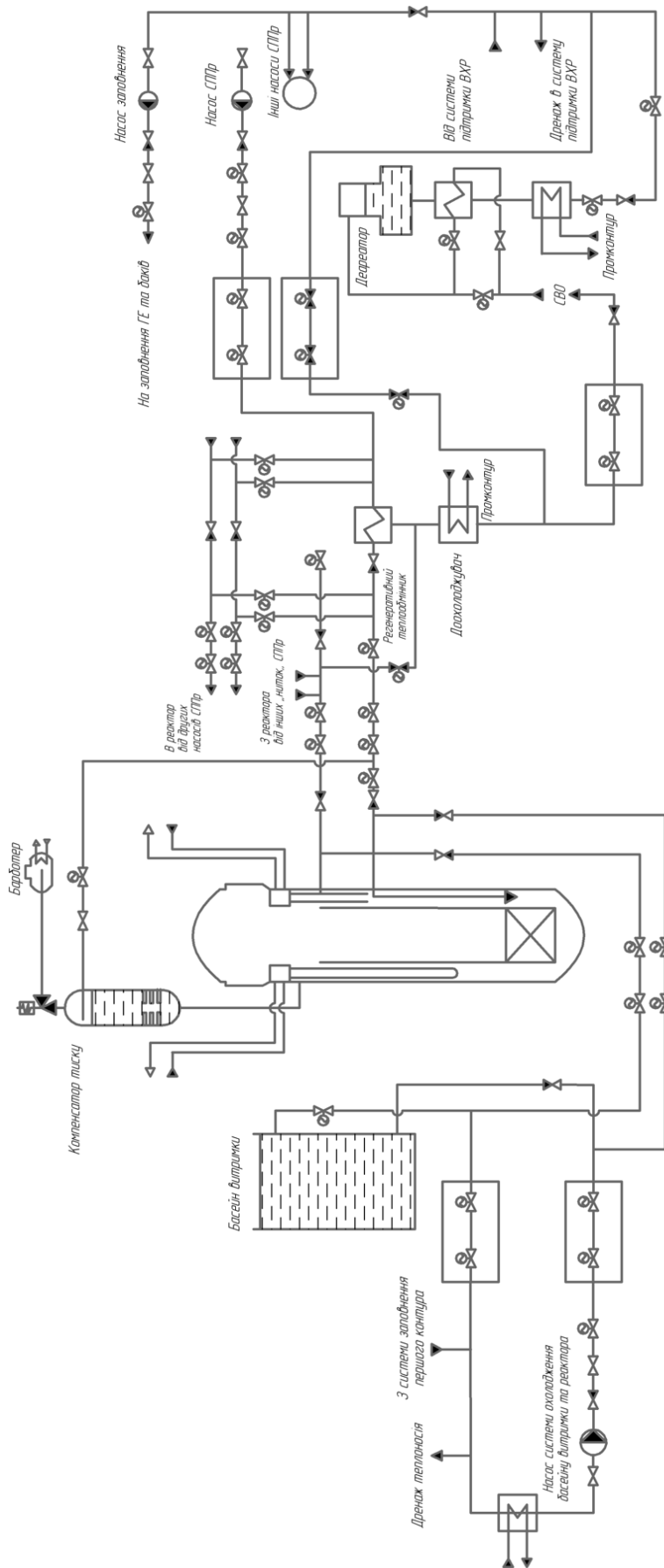


Рисунок 1.6 – Принципова технологічна схема систем нормальної експлуатації ММР

В використанні ММР є як позитивні, і негативні аспекти.

Плюси використання ММР:

1. Мобільність та компактність: ММР мають невеликі розміри і вагу, що робить їх мобільними і придатними для розгортання у віддалених або важкодоступних районах.

2. Гнучкість у виборі палива: реактори можуть використовувати різні види палива, включаючи уран, торій та навіть використаний ядерний матеріал, що покращує гнучкість у забезпеченні енергопостачання.

3. Вищий коефіцієнт використання палива: Багато ММР спроектовані для більш ефективного використання палива, що призводить до більш високого коефіцієнта використання та зменшення відходів.

4. Найменший відбиток вуглецю: У порівнянні з традиційними енергетичними джерелами ММР можуть мати нижчий рівень викидів парникових газів, що важливо для боротьби зі зміною клімату.

Мінуси використання ММР:

1. Питання безпеки: Наявність ядерних матеріалів у ММР вносить додаткові питання у сфері безпеки, як з точки зору експлуатації, так і в умовах воєнних дій.

2. Технологічні виклики: Розробка та впровадження нових технологій ММР потребують значних інвестицій та часу, а також вирішення низки технічних та інженерних проблем.

3. Утилізація відпрацьованих матеріалів: Проблеми утилізації ядерних матеріалів, що відпрацювали, залишаються актуальними, і ефективні методи їх обробки вимагають додаткових досліджень.

4. Суспільна думка: Використання ядерних технологій, навіть у вигляді ММР, може спричинити опір у суспільстві через побоювання, пов'язані з ядерною енергією.

5. Міжнародні обмеження: Існують міжнародні обмеження та норми, що регулюють використання ядерних технологій, та їх дотримання може стати складним завданням.

Малі модульні реактори зазвичай розробляються з метою мінімізації обслуговування. Однак управління радіаційною безпекою та іншими аспектами ядерної енергетики потребує досвіду та спеціалізованих знань, загалом їх використання має потенціал як інноваційного рішення для забезпечення енергетичної безпеки, але потребує ретельного розгляду та балансу між перевагами та ризиками.

1.6. Використання мікромереж

Попит на стійкі джерела енергії зростає швидкими темпами мікромережі стали багатообіцяючим рішенням для досягнення енергетичної стійкості, ефективності і безпеки.

Як загальне визначення, мікромережа – це локалізована енергетична система яка об'єднує відновлювані джерела енергії, системи зберігання енергії та навантаження для роботи автономно або паралельно з основною мережею. Завдяки цим функціям пропонує багато переваг, наприклад покращену надійність та зменшення енергетичних витрат. Однак їх конструкція, експлуатація та керування можуть бути складними викликом. Крім того, поява нових цифрових технологій і зростання попиту для децентралізованих енергетичних систем призвели до цифровізації.

Мікромережі можна класифікувати за режимом роботи, підключенням і власністю. Наприклад, вони можуть працювати в режимі підключення до мережі або в автономному режимі, залежно від того підключені вони до основної мережі чи ні. Їх також можна класифікувати як власність клієнтів, у власності комунального підприємства або у власності третьої сторони, залежно від того, хто володіє та керує нею.

Переваги та недоліки кожного типу мікромережі можуть відрізнятися залежно від конкретної реалізації та потреб громади, якій вона служить. Такі фактори, як наявність відновлюваних джерел енергії, надійність основної електромережі та вартість інвестицій у інфраструктуру може відігравати

важливу роль у визначенні найбільш підходящого типу мікромережі для конкретної громади. У таблиці 1 порівнюються різні типи мікромереж, зосереджуючись на їх основних перевагах і недоліках.

Таблиця 1.2 – Загальна порівняльна таблиця між різними типами мікромереж

Тип	Переваги	Недоліки
Мікромережа, підключена до мережі	Може забезпечити резервне живлення під час відключення електроенергії. Може допомогти зменшити навантаження на основне живлення мережі в пік. Може бути економічно ефективнішим, ніж острівна мікромережа, оскільки вона використовує існуючу мережу інфраструктури.	Потрібне надійне підключення до магістралі енергосистеми. Можливо, не зможе працювати самостійно тривалі періоди часу. Можливо, не вдається забезпечити живлення пульта дистанційного керування території без додаткової інфраструктури.
Острівна мікромережа	Може працювати повністю незалежно від головної електромережі, що забезпечує живлення в віддалених районах. Може стати надійним джерелом енергії під час катастроф. Потенційно може бути надійнішим, ніж мережеві мікромережі, оскільки не так залежить від основної електромережі.	Вимагає значних початкових інвестицій в інфраструктурі. Може бути менш рентабельним, ніж мережеві мікромережі, оскільки потрібна їй власна інфраструктура. Може бути менш надійним, ніж підключення до мережі мікромережі, якщо резервні джерела живлення недоступні.
Гібридна мікромережа	Може забезпечити резервне живлення під час відключення електроенергії. Може працювати незалежно від основної електромережі протягом тривалого часу. Може бути надійнішим, ніж підключення до мережевої мікромережі, оскільки має резервні джерела живлення. Може бути економічно ефективнішим, ніж острівна мікромережа, оскільки	Потрібне надійне підключення до магістралі енергосистеми. Може бути складнішим і дорожчим, ніж інші типи мікромереж. Потрібна додаткові інвестиції в інфраструктуру порівняно з мережевими мікромережами.

Продовження таблиці 1.2

	він використовує обидві мережі інфраструктури та власну інфраструктуру.	
--	---	--

Контроль і управління є складним завданням, яке вимагає ретельного планування та координація. Стратегії контролю та управління мікромережами можна класифікувати на три основні категорії: централізовані, децентралізовані та гібридні.

Таблиця 1.3 – Порівняльна таблиця між стратегіями управління мікромережами

Стратегія	Переваги	Недоліки	Розмір
Централізований контроль	Ефективне управління системою, оптимізація роботи розподілених енергоресурсів. Здатність брати до уваги широкий діапазон змінних і обмежень для оптимальної продуктивності системи.	Проблеми з комунікацією та координацією, що призводять до єдиної точки відмови. Вищі витрати на інфраструктуру та управління.	Великі мікромережі з великою кількістю розподілених енергетичних ресурсів.
Децентралізований контроль	Гнучкість у системі, стійкість, а також зниження зв'язку та питання координації. Можливість продовжувати роботу, якщо частини системи виходять з ладу.	Відсутність загальносистемної оптимізації та можливість неоптимальної продуктивності в цілому. Складнощі з розширенням через кількість контролерів, які знадобляться.	Дрібні мікромережі з низькою кількістю розподілених енергетичних ресурсів
Гібридний контроль	Ефективне управління системою, гнучкість і стійкість. Здатність збалансувати переваги централізованого та децентралізованого контролю та краща здатність реагувати на раптові зміни в системі.	Складність проектування і впровадження систем керування та висока вартість.	Мережі середнього розміру з помірною кількістю розподілених енергетичних ресурсів

Централізоване управління є найпоширенішим підходом до контролю та управління мікромережею. Це включає в себе центральну систему управління, яка відстежує та контролює[12] всі розподілені енергетичні ресурси в межах мережі. Центральна система керування використовує складні алгоритми для оптимізації роботи розподілених енергетичних ресурсів, враховуючи доступні ресурси, попит на навантаження та ємність зберігання енергії.

Централізоване управління особливо корисно для мережі з великою кількістю розподілених енергетичних ресурсів, оскільки дозволяє ефективно керувати системою. Децентралізований контроль передбачає розподіл контролю між кількома суб'єктами, при цьому кожен розподілений енергетичний ресурс має власну систему управління. Цей підхід особливо корисний для мережі з невеликою кількістю розподілених енергетичних ресурсів, оскільки він забезпечує більшу гнучкість і стійкість у разі збою в одному з розподілених енергетичних ресурсів.

Децентралізоване керування також зменшує потребу в складному зв'язку та координації між розподіленими енергетичними ресурсами, оскільки кожен блок працює незалежно. Гібридне керування поєднує в собі елементи централізованого та децентралізованого керування для досягнення переваг обох підходів. Цей підхід особливо корисний для мереж із помірною кількістю розподілених енергетичних ресурсів, оскільки він дозволяє ефективно керувати системою, а також забезпечує гнучкість і стійкість. Гібридне управління може бути досягнуто за допомогою використання кількох систем управління, які працюють паралельно, або за допомогою використання ієрархічної структури управління.

Мікромережі поділяються на чотири типів: промислові, громадські, військові, дистанційні. Промислові спеціально розроблені для задоволення

енергетичних потреб промислових об'єктів, такі як виробничі підприємства, нафтопереробні заводи, видобувні підприємства та центри обробки даних. Вони часто працюють у поєднанні з основною мережею, але мають таку можливість відключити та працювати незалежно під час відключень мережі. Промислові віддають пріоритет надійності, економічності і якості електроенергії для забезпечення безперебійної роботи. Вони можуть поєднувати генерацію на місці, накопичуючи енергію та вдосконалюючи контроль системи для оптимізації використання енергії та мінімізації збоїв. Мікромережі громади обслуговують конкретні громади чи райони, що забезпечує локальне виробництво електроенергії.

Зазвичай вони призначені для інтеграції ВДЕ, таких як сонячна та вітрова, і можуть включати системи зберігання енергії. Мікромережі громади надають пріоритет енергостійкості, дозволяючи їм працювати незалежно під час відключень мережі та надавати критичні послуги, такі як притулки для надзвичайних ситуацій, медичні заклади та громадські центри, з електрикою. Ці мережі часто сприяють енергоефективності, місцевому виробництву енергії приймаючи участь в енергетичному менеджменті.

Конструкція та робота мікромережі залежать від різних факторів, таких як місцева енергія, ресурси, профілі навантаження та вимоги клієнтів. Компоненти типової мікромережі включають джерела енергії, системи зберігання енергії, силову електроніку та системи керування. Її конфігурація залежить від її розміру, розташування та режиму роботи. Для наприклад, острівних може знадобитися більше систем зберігання енергії та резервних генераторів ніж підключені до мережі. Тому стратегії контролю та управління є критично важливими для її ефективної роботи. Різні стратегії контролю, такі як контроль падіння, частота керування та керування напругою можна використовувати для підтримки стабільності та надійності мережі.

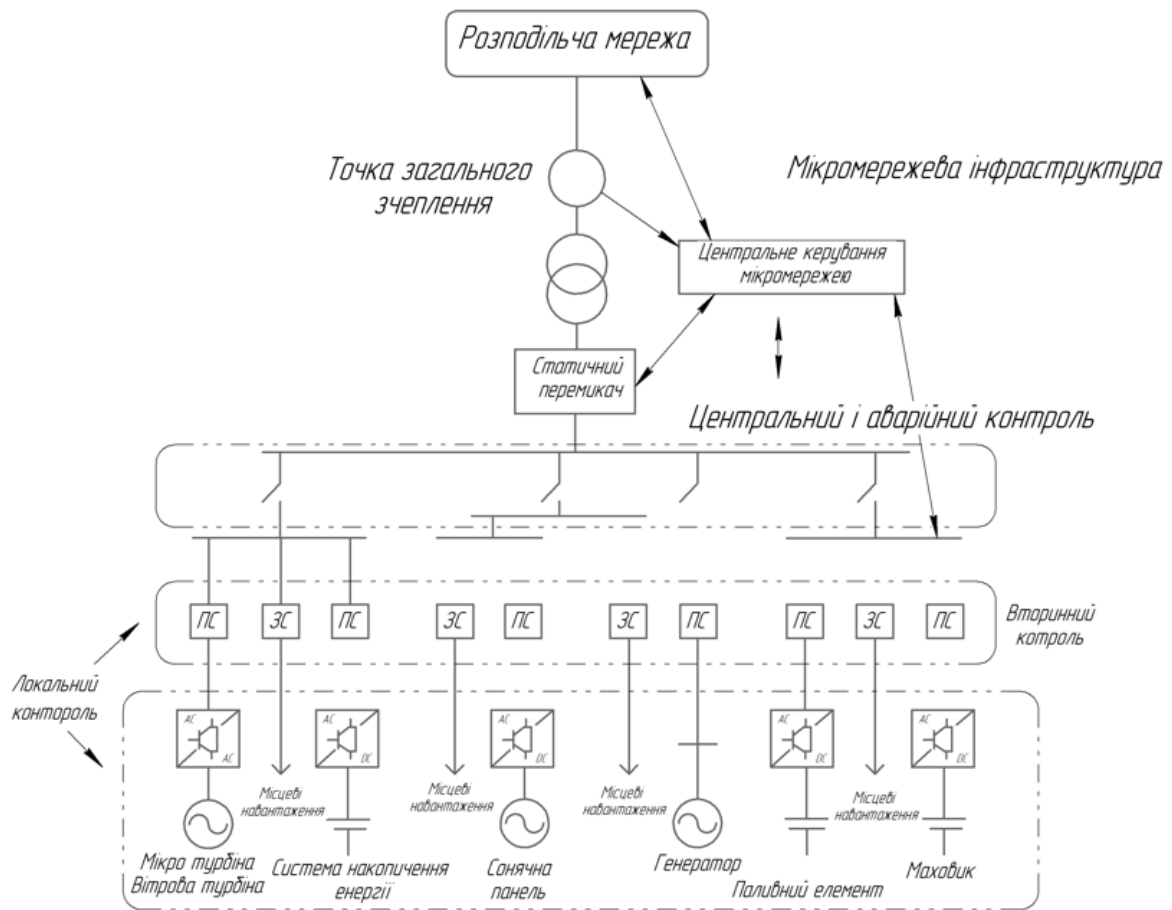


Рисунок 1.7 – Схема детальної архітектури мікромережі з інфраструктурою контролерів.

Для цього можна використовувати методи оптимізації, такі як економічна диспетчеризація та зобов'язання підрозділу мінімізувати

експлуатаційні витрати на мікромережу. Стабільність і стійкість мікромережі є важливими для забезпечення безперебійного електропостачання критичних навантажень під час збоїв у мережі або збої обладнання.

Однією з ключових переваг є їх здатність підвищувати надійність і стійкість енергетичної системи. У традиційних централізованих мережах збій в одному місці може призвести[11] до масових відключень. Навпаки, мікромережі можуть ізолювати певні області та продовжувати забезпечувати електроенергією, навіть якщо основна мережа зазнає збою. Ця можливість особливо цінна на об'єктах критичної інфраструктури, таких як лікарні, військові бази та центри обробки даних, де необхідне безперебійне електропостачання. Вони мають можливість працювати в «острівному режимі» під час надзвичайних ситуацій або при навмисному відключенні від комунальної мережі. Використовуючи місцеву генерацію і ресурси зберігання, вони можуть продовжувати забезпечувати електроенергією підключене навантаження, навіть якщо основна мережа виходить з ладу.

Така незалежність від електромережі дозволяє мікромережам підтримувати важливі служби під час стихійних лих, суворих погодних явищ або інших збоїв. Здатність до ізоляції та незалежної роботи підвищує стійкість енергетичної системи та зменшує залежність від зовнішніх джерел. Острівлення означає здатність працювати автономно та незалежно від основної електромережі. Мікромережі в основному призначені для виявлення збоїв електромережі, наприклад, збої в електромережі або несправності, і швидко від'єднатися від мережі, щоб працювати в острівному режимі. У разі відключення мережі покладається на свої місцеві енергетичні ресурси, включаючи генерацію та зберігання, щоб задовольнити енергетичні потреби підключених навантажень

Мікромережі дозволяють швидко реагувати на зміни умов попиту та пропозиції. Завдяки розширеним системам керування та моніторингу в режимі реального часу можна швидко налаштувати моделі виробництва, зберігання та споживання відповідно до вимог навантаження. Ця можливість балансування навантаження покращує загальну надійність системи, уникаючи перевантажень, зменшуючи коливання напруги та мінімізуючи ризик каскадних збоїв.

2 ОЦІНКА ЗАГРОЗ ТА АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ПРОТИДІЙ

2.1. Типи дронів та ракет

Тут будуть розглянуті типи дронів, які використовуються для ударів по енергетичній інфраструктурі і можуть становити найбільшу загрозу. Відразу варто відкинути такий тип як FPV-дрони, тому що вони мають малу дальність і малу кількість вибухової речовини, а тому їхнє використання обмежується лініями бойового зіткнення.

Таблиця 2.1 – Види БПЛА по масі та габаритах

Модель	Радіус дії	Злітна маса (в кг)	Дальність використання (в км)
міні- та мікро	ближні	до 5	25-40
легкі	малий	50	10-70
	середній	50-100	70-150
середні	середній	100-300	150-1 000
середньоважкі		300-500	70-300
важкі	середній	от 500	70-300
	великий	от 1 500	1 500

Однієї з найбільших загроз для енергетики України на даний момент є БПЛА типу “камікадзе” “Shahed-136”. Він призначений для ураження наземних нерухомих об’єктів шляхом наведення [13] та контактного підриву бойової частини БПЛА. Запуск апаратів здійснюється з мобільної пускової установки, замаскованої у кузові вантажного автомобіля цивільного призначення.

Таблиця 2.1 – характеристики Shahed-136

Дальність польоту	до 1500 км
Система наведення	Інерційна та GPS
Висота польоту	від 60 до 4000 м
Швидкість польоту	~ 180 км/год
Довжина	3,3 м
Розмах крил	3 м
Маса БПЛА	200 кг
Маса осколково-фугасної бойової частини	40 кг
Двигун	MD 550

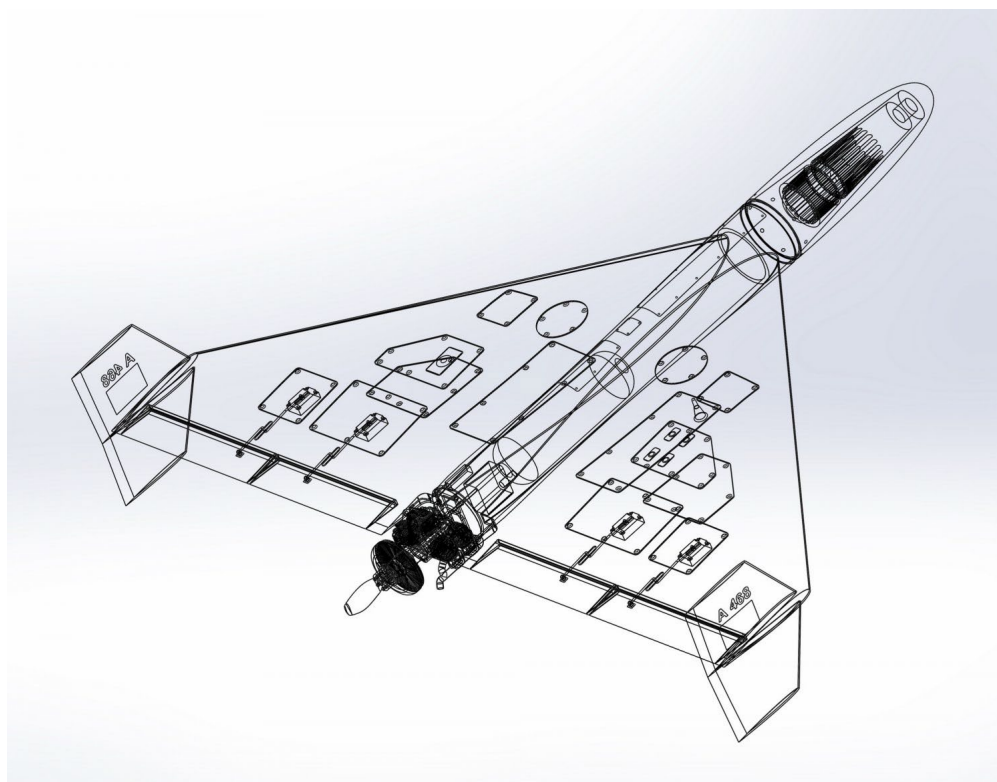


Рисунок 2.1 – зображення Shahed-136

Є також його молодша версія під назвою Shahed-131 який має меншу масу та розміри, а також меншу вартість яка знаходиться в районі 25000 доларів США.

Таблиця 2.2 – характеристики Shahed-131

Дальність польоту	до 900 км
Система наведення	інерційна та GPS
Висота польоту	від 60 до 4000 м
Швидкість польоту	~ 180 км/год
Довжина	2,6 м
Розмах крил	2,2 м
Маса БПЛА	135 кг
Маса бойової частини	10-15 кг
Тип БЧ	осколково-фугасна або кумулятивна

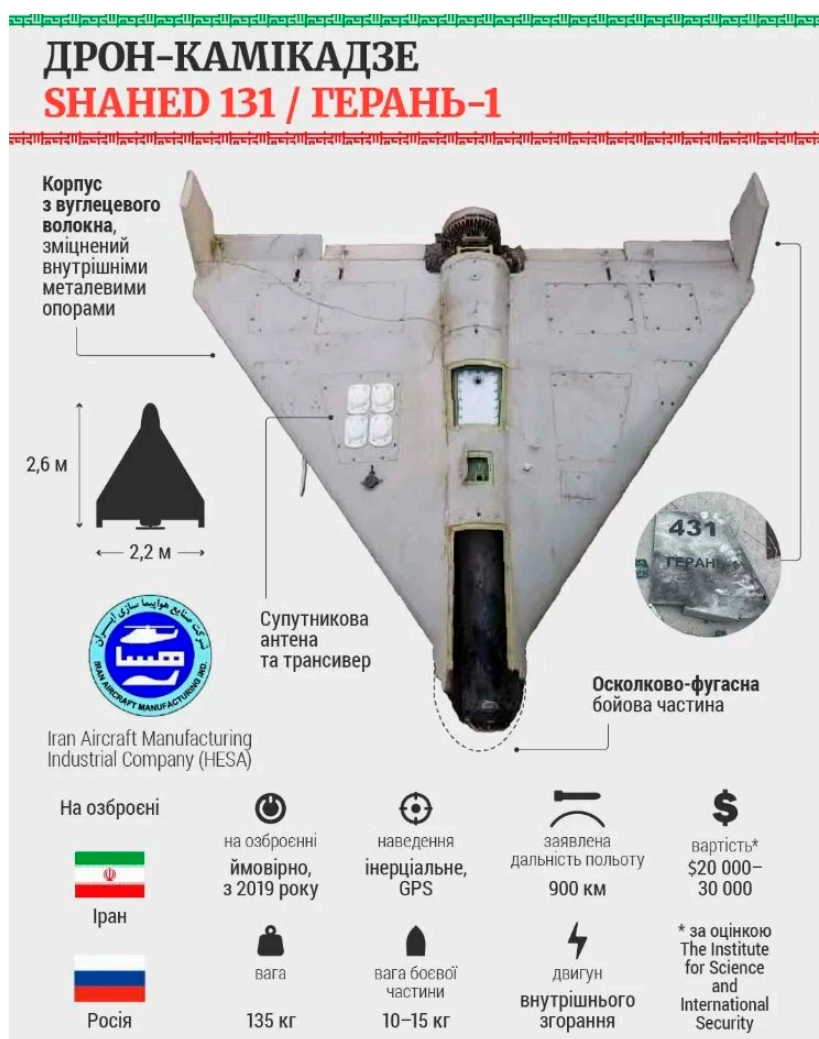


Рисунок 2.2 – Інфографіка БПЛА Shahed-131

Крім дронів-камікадзе російська сторона використовує крилаті ракети різних типів. На відміну від дронів вони набагато швидше маючи дозвукову або надзвукову швидкість і літаючи на малих висотах з обгинанням рельєфу. У таблиці представлені характеристики крилатої ракети повітряного базування Х-101

Таблиця 2.3 – Характеристики ракети Х-101

Довжина, мм	7450
Діаметр, мм	742
Розмах крила, м	3
Стартова вага, кг	2200-2400
Маса бойової частини, кг	400
Маса палива, кг	1250
Швидкість, м/с, крейсерська	190-200
Швидкість, м/с, максимальна	250-270
Максимальна дальність, км	3000-5000-5500 (за різними даними)
Профіль польоту	змінний
Висота профілю польоту, м	змінюється від 30-70 до 10 000
ЕПР, м ²	0,01
Тип ГСН	оптоелектронна система корекції + ТВ (ЗМІ) ІНС + лазерний висотомір /оптичне зображення за еталонами ділянок корекції

Хоча це не єдиний тип ракет, що використовуються проти енергетичної інфраструктури, всі[14] вони мають приблизно однакову за масою бойову

частину в районі 400-500 кг (Калібр 3М-14 450 кг, Х-555 410 кг, Іскандер-К 480 кг), а тому сила вибуху буде приблизно однаковою.

2.2. Підземне розміщення підстанцій

Такий спосіб розміщення обладнання має допомогти забезпечити підстанції від прямих попадань ворожих ракет. Тепер забезпечити від цього обладнання неможливо – пряме влучення призведе до руйнувань. Цей спосіб має такі недоліки:

- Високу вартість будівництва
- Довге будівництво
- Обмежена вентиляція
- Складність експлуатації

Проте попри всі мінуси таке розміщення буде добре захищати від ракет та дронів-камікадзе

Розрахуємо потрібну товщину даху, який витримає попадання боєприпасу. Для рівняння [15] візьмемо залізобетон марки 400 із жорстким противідколом

Глибина проникнення снаряда у захисну перешкоду

$$N_{\text{прон.}} = K_{\text{пр.}} \cdot K_{\text{ф.}} \cdot K_{\text{к.}} \cdot M \cdot V \cdot \cos((\beta \cdot n + \beta)/2) / D^2$$

$$= \frac{0,0000008 * 1 * 1,4 * 1600 * 270 * \cos(\frac{45 * 1 + 45}{2})}{0,742^2} = 0,19 \text{ м}$$

де:

V - Швидкість снаряда, м / с;

K_{ф.} - коефіцієнт форми головної частини снаряда:

1,3 - для бетонобійного у разі проникнення в бетон, залізобетон та скелю,

1,0 - для всіх інших випадків;

K_{к.} - коефіцієнт калібру (діаметра) снаряда:

калібри 37 - 57 мм Кк. = 0,9;

76 - 155 мм: 1;

203-240 мм: 1,1;

250-280 мм: 1,2;

350 мм та вище: 1,3;

0,5 м: 1,3; 0,6 м: 1,35;

0,7 м: 1,4;

0,84 м: 1,45;

1 м: 1,5

n – коефіцієнт можливості зміни траєкторії снаряда в процесі проникнення:

1,5 – бетонобійний снаряд у бетон;

1 – в інших випадках.

β – кут між траєкторією падіння та перпендикуляром до перешкоди.

Кпр. – Коефіцієнт податливості проникнення матеріалу, див додаток 1

D – діаметр (калібр) снаряда, м;

M – маса боєприпасу кг

V – швидкість боєприпасу м/с

Радіус вибуху (радіус сфери стиснення: порожнього простору, що утворюється навколо центру вибуху, з якого вибухові гази витіснили матеріал перекриття)

$$R_{\text{раз.}} = K_{\text{взр.}} \cdot K_{\text{заб.}} \cdot C^{1/3} = 0,13 * 1 * 250^{\frac{1}{3}} = 10,8 \text{ м}$$

Квзр. – Коефіцієнт податливості матеріалу вибуху, див. Додаток 1

Кзаб. – Коефіцієнт забивання, чим краще забивання, тим сильніший вплив вибуху на перешкоду:

С – Кількість вибухової речовини в заряді

Також треба зазначити що хоч в характеристиках боєприпасів вказана одне значення маси бойової[16] частини, в реальності маса вибухової речовини приблизно складає 50%, інша частина іде на корпус, обчислювальні датчики та сенсори.

Розрахуємо для крилатих ракет (КР)

Глибина вирви:

$$H_{вор.} = H_{прон.} + R_{раз.} - Ц = 0,19 + 10,8 - 1,5 = 9,49 \text{ м}$$

Ц - відстань від центру заряду ВР до "носа" снаряда, якщо він вибухає стоячи на поверхні, м (для Х-101 приблизно 1,5 м)

Проти КР буде гарний захист у вигляді підземного розміщення ТП, хоча у разі прориву ракети і після першого влучення доведеться конструкцію відновлювати. Але якщо будуть дрони, які мають меншу бойову частину, бетонне покриття зможе витримати кілька попадань.

2.3. Побудова мікромережі

У випадку, коли ворожі боєприпаси пошкодять енергетичну інфраструктуру, швидше за все, відбудеться відключення мережі. Тому для локального забезпечення електроенергією будуть потрібні власні джерела енергії.

Як джерело навантаження візьмемо систему власних потреб (ВП) Дніпрогес, тому що потрібно підтримувати не лише енергетичну, але й структурну цілісність цього об'єкта.

Витрата електроенергії на ВП залежить від типу та одиничної потужності агрегатів, встановлених на електростанції, а також від кількості від кількості споживачів, що використовуються для підтримки її в робочому стані. Максимальне навантаження ВП електростанцій може приблизно оцінюватися у відсотках встановленої потужності:

Таблиця 2.4 – Порівняльна витрата електроенергії на власні потрібні атомних, газотурбінних та гідравлічних електростанцій, %

Потужність, МВт	Електростанція		
	Атомна	Газотурбінна	Гідравлічна
До 200	-	0,6 - 1,7	0,5 - 2
Понад 200	5 - 7	-	0,2 - 0,4

Тому в залежності від розміру ГЕС, необхідна потужність для ВП може досягати від десятків кіловат, до кількох мегават.

Таблиця 2.5 – Коефіцієнт попиту приймачів власних потреб

Найменування приймача	Коефіцієнт попиту
Освітлення ОРУ:	
при одному	0,5
при кількох	0,35
Освітлення приміщень	0,6-0,7
Охолодження трансформаторів	0,8-0,85

Продовження таблиці 2.5

Компресори	0,4
Зарядно-підзарядні пристрої	0,12
Електропідігрів вимикачів та електроопалення	1

Витрати на ВП – 2,5 МВт

Нормативний коефіцієнт попиту (K_c) – 0,7

Розрахункова потужність

$$P_p = P_n \times K_c = 2,5 \times 0,7 = 1,75 \text{ МВт} = 1750 \text{ кВт}$$

В якості джерела електричного струму оберемо дизельний генератор RID 2500 E-SERIES S. Дизельне паливо доволі розповсюджене і тому проблем з постачанням палива [17] для генератора проблем не має бути.

Вартість 25000000 грн

Таблиця 2.6 – RID 2500 E-SERIES S

Виробник	RID
Країна виробник	Німеччина
Захист від КЗ	Так
Захист від перевантаження	Так
Кількість фаз	3
Конструкція	Стационарна
Коефіцієнт потужності	0.8
Максимальна потужність	2200 кВт
Об'єм паливного бака	1000 л
Напруга	400 В



Рисунок 2.3 – Зображення генератора RID 2500 E-SERIES S

Витрата палива при навантаженні 100/75% – 502 / 372 (л/год)

Час безперервної роботи при повному баку при 75% навантаженні.

$$t_{\text{роб}} = \frac{V_{\text{бака}}}{q(75\%)} = \frac{1000}{372} = 2,69 \text{ год.}$$

Час безперервної роботи при повному баку при 100% навантаженні.

$$t_{\text{роб}} = \frac{1000}{502} = 1,99 \text{ год}$$

Добове споживання палива при 75%.

$$t_{\text{доб1}} = q * 24 = 8928 \text{ л}$$

Добове споживання палива при 100%

$$t_{\text{доб2}} = q * 24 = 12048 \text{ л}$$

Вартість дизельного палива (на грудень 2023 року) – 54,27 грн/л

Добова вартість дизельного палива (75%) – 484520 грн

Добова вартість дизельного палива (100%) – 653840 грн

Даний генератор може використовуватися в якості резервного джерела електроенергії при аваріях на підстанції або ТВП. Використання в якості основного джерела електроенергії бажано з меншими навантаженнями через високу вартість палива.

Також можна зробити блок АКБ який працюватиме як буферне джерело живлення, якщо в основній мережі або в генераторі відбудеться збій. Схема буде складатися з 48 АКБ, 8 послідовно з'єднані в 6 паралельні ряди.

В якості прикладу обран АКБ Merlion LiFePO4 51.2V 202Ah BMS 150A Strong вартістю 115 120 грн за одиницю.

Як буферний накопичувач енергії був обраний літій-залізо-фосфатний акумулятор через низку переваг:

- LiFePO4 забезпечує більш тривалий термін служби, ніж інші літій-іонні аналоги приблизно 10-15 років.
- Мають дуже стабільну напругу розряду.
- LiFePO4 акумулятори мають нижчу швидкість розряду, ніж свинцево-кислотні або літій-іонні.
- LiFePO4 елементи повільніше втрачають ємність, ніж літій-іонні

Таблиця 2.7 – Специфікації АКБ

Напруга, В	51,2
Мін./Макс. Напруга, В	36,8/58,4

Продовження таблиці 2.7

Макс. вихідний струм, А	150
Ємність, А·год	202
Макс. струм заряду, А	100
Ресурс, циклів	2000>
Діапазон робочих температур, °С	-20...+60



Рисунок 2.4 - Зображення АКБ Merlion LiFePO4 51.2V 202Ah BMS 150A
Strong

Наведені нижче формула визначає взаємовідносини між струмом, який віддає батарея в навантаження, її ємністю і відносною швидкістю розряду:

$$C_{\text{розр}} = \frac{I_{\text{батр}}}{C_{\text{батр}}} = \frac{150}{202} = 0,74$$

$C_{\text{розр}}$, де:

$I_{\text{батр}}$ – струм в амперах, що віддається в навантаження однією батареєю,

$C_{\text{батр}}$ – номінальна ємність батареї в ампер-годинник (означає твір амперів на годинник), яка зазвичай маркується на батареї,

$C_{\text{розр}}$ – відносна [18]швидкість розряду батареї, що визначається як розрядний струм, поділений на теоретичний струм, які батарея може віддавати протягом однієї години і при цьому буде повністю витрачено її ємність.

Час роботи t та відносна швидкість розряду батареї ($C_{\text{розр}}$) пов'язані зворотною пропорційною залежністю:

$$t = \frac{1}{C_{\text{розр}}} = \frac{1}{0,74} = 1,35 \text{ год.} = 81 \text{ хв.}$$

Треба зазначити, що це теоретичний час роботи. У зв'язку з різноманітними зовнішніми факторами, реальний час роботи буде приблизно на 30% менше за розрахований за цією формулою. Слід також врахувати, що допустима глибина розряду акумулятора ще більше обмежує час її роботи.

Номінальна енергія, що запасається в батареї, у ват-годинах:

$$E_{\text{батр}} = V_{\text{батр}} \times C_{\text{батр}} = 51,2 \times 202 = 10324 \text{ Вт/год} = 10,32 \text{ кВт/год}$$

$E_{\text{батр}}$, де:

$E_{\text{бат}}$ — номінальна енергія, що запасається в батареї, у ват-годинах.

Номінальна напруга блоку батарей у вольтах визначається за формулою:

$$V_{\text{блок}} = V_{\text{бат}} \times N_{\text{посл}} = 51,2 \times 8 = 409,8 \text{ В}$$

$V_{\text{блок}}$, де:

$V_{\text{бат}}$ – номінальна напруга батареї у вольтах,

$V_{\text{блок}}$ – номінальна напруга блоку батарей у вольтах

$N_{\text{посл}}$ — кількість батарей в одній із кількох груп послідовно з'єднаних батарей

Ємність блоку батарей в ампер-годинах, $C_{\text{банк}}$ визначається за формулою:

$$C_{\text{блок}} = C_{\text{бат}} \times N_{\text{парл}} = 202 \times 6 = 1212 \text{ А} \cdot \text{год}$$

$C_{\text{блок}}$, де:

$C_{\text{блок}}$ – ємність блоку батарей

$C_{\text{бат}}$ – номінальна ємність батареї (А·год)

$N_{\text{парл}}$ – кількість груп з'єднаних послідовно батарей, з'єднаних паралельно

Номінальна енергія у ват-годинах $E_{\text{блок}}$, що зберігається в блоці:

$$E_{\text{блок}} = E_{\text{батр}} \times N_{\text{посл}} \times N_{\text{парл}} = 10,32 \times 8 \times 6 = 495,36 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Струм розряду блоку батарей $I_{\text{блок}}$:

$$I_{\text{блок}} = I_{\text{батр}} \times N_{\text{парл}} = 150 \times 6 = 900 \text{ А}$$

Час роботи блоку батарей при 100% навантаженні $t_{\text{блок}}$:

$$t_{\text{блок}} = t_{\text{батр}} \times N_{\text{парл}} = 81 \times 6 = 486 \text{ хв.} = 8,1 \text{ год}$$

3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ

Мета цієї роботи – дослідження впливу доступних параметрів для розвитку енергетичної системи, керуючись можливими рішеннями, заходами та досягненнями узгоджених цілей та розробляючи економічну моделі для кожного рішення.

3.1. Встановлення генератора без блоку АКБ

Установка генератора із відсутнім блоком акумуляторів. Перевагою буде нижча вартість через встановлення одного генератора. Недоліком же буде те, що при перебоях з постачанням дизельного палива, він простоюватиме не забезпечуючи електроенергії необхідні системі.

Порахуємо витрати на паливо протягом 6 місяців з урахуванням що генератор буде працювати 48 годин на тиждень що являє собою збої в енергомережі приблизно по 3,5 години на день.

Вартість генератора

$$Q_1 = t_{\text{доб1}} * 2 * 54,27 = 8928 * 2 * 54,27 = 969045 \text{ грн}$$

3.2. Генератор з блоком АКБ

В даному випадку якщо генератор простоюватиме деяке навантаження можна буде підключити до блоку акумуляторних батарей, який формують собою буферне джерело енергії. Однак тоді проект набагато зростає у вартості.

Вартість АКБ – 115120 грн

Кіл-ть – 48 шт.

Вартість проекту = 30525760 грн

Як видно з таблиці хоть і вартість проекту відрізняється в 1,5 рази, другий проект в ході його експлуатації був першим подорожчає на 15%, що все ж не відміняє нужду від серйозних капіталовкладень.

До того ж розрахунки тут представлені за теоретичним сценарієм, де генератор з метою економії навантажувався на 75% і працював стабільно по 48 годин на тиждень. Тому вартість обслуговування може змінюватися з кожним днем у залежності від ситуації на полі бою, погоди та пори року.

ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі зроблено аналіз заходів для підвищення надійності енергосистеми.
2. Запропоновані рішення щодо підвищення надійності можуть дозволити підвищити автономність систем.
3. Зроблено вибір обладнання для подальшої установки на об'єкт
4. В роботі запропоновано та розроблено ряд технічних заходів, які дозволять зробити систему більш автономною, що в свою чергу підвищить надійність використання обладнання.

При складанні фінансової оцінки проекту було враховано найважливіші аспекти (закупівля компонентів, установка, техобслуговування). Вартість впровадження заходу в залежності від вибору проекту складає 1) 25 млн. грн. та 2) 30,5 млн. грн відповідно.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Чиж А. М. Теоретична складова поняття енергетичної безпеки. Мінськ : Центр міжнар. дослідж. ФМВ БДУ, 2012. 112 с.
2. Б.Н. Неклепаев, И.П.Крючков Электрическая часть электростанций и подстанций: Довідкові матеріали для курсового та дипломного проектування. Москва, Энергоатомиздат. 1989. 608с.
3. Электрическая часть электростанций: Энергетика Оборудование Документация: веб-сайт. URL: <https://forca.ru/knigi/arhivy/elektricheskayachast-elektrostanciy.html> (дата зверення: 23.11.2023).
4. Рожкова Л.Д., Козулин В.С., Электрооборудования станций и подстанций: навч. посібник. Москва, Энергоатомиздат, 1987. 648 с.
5. Енергетична безпека України: методологія системного аналізу та стратегічного планування : аналіт. доп. /за заг. ред. О. М. Суходолі. Київ : НІСД, 2020. 178 с.
6. Габіони: ВЕСТХЕМ ГРУП: веб-сайт. URL: <https://westhem.group/ru/gabionu/#:~:text=Габрионы%20подразделяются%20на%20следующие%20типы,армирующей%20панелью%2C%20матрасные%2C%20цилиндрические.> (дата зверення 21.11.2023)
7. А.А Федорова. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. Москва : Энергоатомиздат, 1986. 592 с.
8. Суходоля О. М. Проблеми визначення сфери регулювання енергетичної безпеки. Стратегічні пріоритети.2019. No 1. С. 5–17.
9. КОГЕНЕРАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАЛІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ / В. А. Маляренко та ін. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекет., 2018. 455 с.

10. Малий модульний реактор: Вікіпедія: Веб-сайт: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Малый_модульный_реактор (дата звернення 29.10.2023)
11. How a microgrid work: Howstuffworks: Веб-сайт: URL: <https://science.howstuffworks.com/environmental/energy/microgrid.htm> (дата звернення 12.11.2023)
12. Erdal Irmak, Ersan Kabalci, Yasin Kabalci. Digital Transformation of Microgrids: A Review of Design, Operation, Optimization, and Cybersecurity. Базель, 2023. 58 с.
13. ОСНОВНІ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БПЛА “SHAHED-136”: G7: Веб-сайт: URL: <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/rekomendacii-pidrozdilam-shhodo-borotbi-z-bezpilotnimi-litalnimi-aparatami-kamikadze-shahed-136-geran-2> (дата звернення 13.11.2023)
14. X-101: Вікіпедія: Веб-сайт: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/X-101> (дата звернення 13.11.2023)
15. Фортифікаційні розрахунки: Вікіпедія: Веб-сайт: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Фортификационные_расчёты#:~:text=Фортификационные%20расчёты%20—%20эмпирические%20формулы%20для,и%20манёвров%20для%20взятия%20укреплений. (дата звернення 25.11.2023)
16. Покровський Г. І. Вибух та його дія. Москва : Воєніздат, 1954. 56 с.
17. RID 2500 E-SERIES S: RID: Веб-сайт: URL: <https://rid-generator.com.ua/ua/p1256841749-rid-2500-series.html> (дата звернення 29.11.2023)
18. Каталог АКБ: Вибір АКБ: веб-сайт. URL: <https://voltmarket.ua/litievye-akkumulyatory/merlion/lifepo4512v202ahbms150astrong?gclid=CjwKCAjw77W>

VBhBuEiwAJ-YoJDAfo_-7KfsyAUzWf-

qTWPq29ptZDruAsyThlnPE0lrwAb8YUED-gxoCkxgQAvD_BwE (дата
звернення 30.11.2023)

19. Звіти у сфері науки та техніки, структура та правила оформлення / В. Земцева та ін. Київ : Укр. ін-т науково-техн. і екон. інформації, 2016. 31 с.

20. Башлій С.В, Коваленко В.Л, Артемчук В.В. ВИМОГИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ. Запоріжжя, 2023. 40с.

21. Постнов О.В. Підвищення надійності електроенергетичної системи в умовах бойових дій. Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», Запоріжжя : ЗНУ, 2023. с. 41-42.

ДОДАТОК А

Коефіцієнти податливості матеріалів

Матеріал	Коефіцієнт проникнення	Коефіцієнт руйнування	Коеф. вибуху	Коеф. відколу
Залізобетон марки вище 250.	0,000 000 7			
Залізобетон марки 400 с жостким протівідколом	0,000 000 8	0,42	0,13	/0,33
Залізобетон марки 400 с гнучким протівідколом	0,000 000 8	0,52	0,13	/0,42
Фортифікаційний бетон марки 400	0,000 001 0	0,6	0,16	
Бетон армований та бетонобійний снаряд	0,000 000 9		0,13	0,52/0,42
Залізобетон марки 250	0,000 001 0	0,6	0,13	0,52/0,42
Залізобетон марки 200	0,000 001 1	0,6	0,14	
Бетон армований та фугасний снаряд	0,000 001 2		0,13	0,52/0,42
Бетон армований		0,6-0,7	0,13	0,47
Бетон складу 1:1,5:3			0,15	0,52
Бетон високої якості складу 1:2:4 на гранітному щебені.	0,000 001 0	0,77	0,175	0,6
Бетон марки 200	0,000 001 3	0,65	0,18	
Бетон марки 160	0,000 001 3	0,7	0,175	0,6
Бетон складу 1:3:7			0,19	0,65

Продовження додатку А

Бетон литий складу 1:2:4 с гравієм			0,21	
Бетон	0,000 001 3	0,87	0,175	
Тюфяк збірний із залізобетонних плит	0,000 001 5	0,7		
Бутобетон	0,000 001 6	0,7	0,18	
Гранітна та гнейсова скеля без тріщин	0,000 001 6	0,86	0,2	
Вапнякова або пісковикова скеля без тріщин	0,000 002 0	0,92	0,25	
Кам'яна кладка на цементному розчині	0,000 002 0	0,84	0,2	
Кам'яна мурована кладка насухо	0,000 002 5		0,25	
Цегляна кладка на цементі (червона повнотіла цегла початку 20-го століття)	0,000 002 5	0,86	0,25	0,88
Кам'яна або цегляна кладка насухо	0,000 003 0	0,96	0,25	
Дуб, бук, ясьень	0,000 004	0,6	0,3	
Сосна (?)	0,000 005 0	0,6	0,3	
Сосна (в пластинах та колодах)	0,000 006 0	0,6	0,3	
Тополь	0,000 007 5			
Глина з супіском, кам'янистий ґрунт, кам'яна кладка середньої якості		0,96		
Хрящуватий пісок	0,000 004 0			
Пісок щільний чистий	0,000 004 5	1,04	0,5	
Пісок	0,000 004 5	0,97	0,45	
Супісок	0,000 005 0	1	0,5	

ДОДАТОК Б

Демонстраційні матеріали до захисту дипломної роботи

Підвищення надійності електроенергетичної системи в умовах бойових дій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет

Інженерний навчально-науковий Інститут

ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електротехніки та енергоефективності

ТЕМА: «ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ В
УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ»

Студент: Постнов О.В., гр. 6.1412-2

Науч. кер. к.т.н. доц. Башлій С.В.

Поняття енергетичної безпеки

2

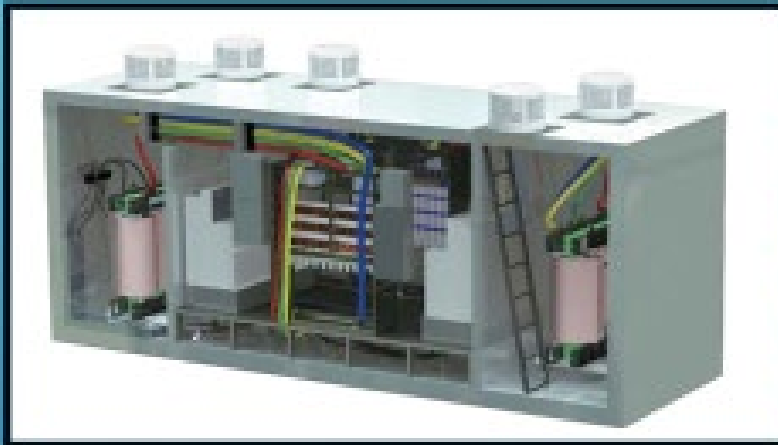
Енергетична безпека - це стан, у якому забезпечується надійне та стійке функціонування енергетичної системи країни чи регіону. Це означає, що доступ до енергетичних ресурсів та послуг забезпечується без переривань, загроз чи втручання, і при цьому гарантується економічна, екологічна та соціальна стійкість енергетичної інфраструктури.

Поняття енергетичної безпеки

2

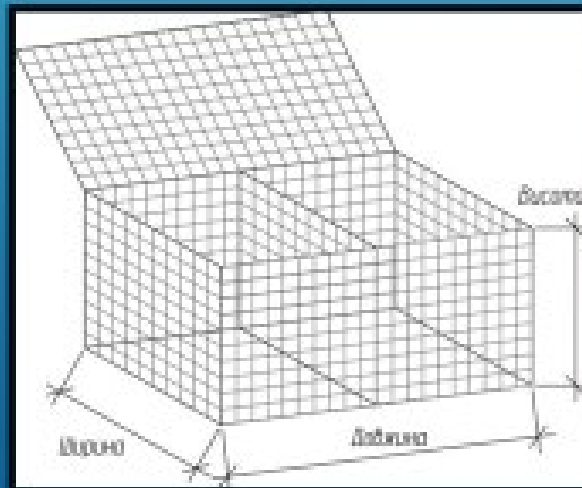
Енергетична безпека - це стан, у якому забезпечується надійне та стійке функціонування енергетичної системи країни чи регіону. Це означає, що доступ до енергетичних ресурсів та послуг забезпечується без переривань, загроз чи втручання, і при цьому гарантується економічна, екологічна та соціальна стійкість енергетичної інфраструктури.

Фізичний захист інфраструктури



Фортифікації енергетичної інфраструктури з метою захисту від ракетних ударів і ударів дронами, включають

- Зміцнення будівель і споруд
- Детектори та системи попередження:
- Активна оборона
- Географічне розподілення



Розподілена генерація та резервні джерела живлення

5

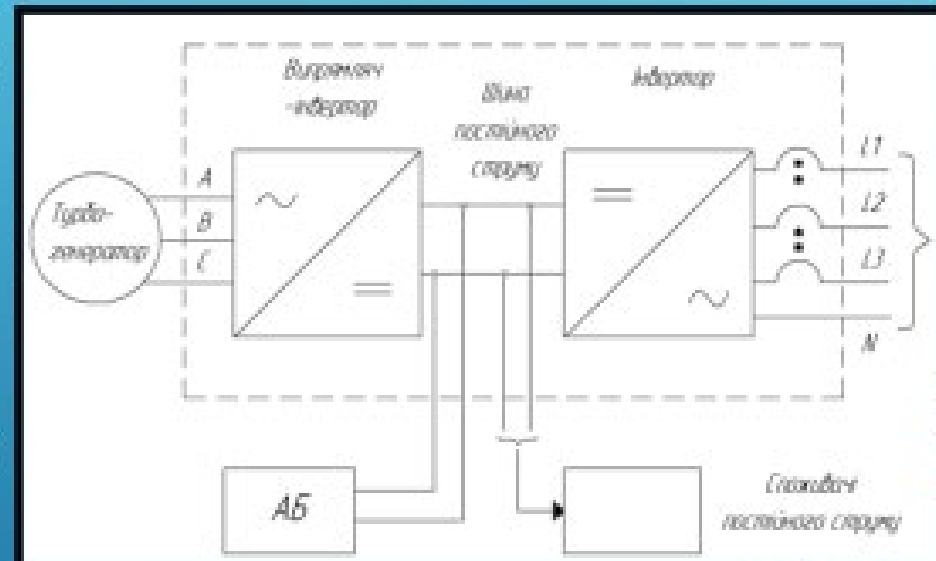
В традиційній енергетиці за функціональним призначенням

та територіальним

розташуванням, можна чітко

виділити три сегменти:

- Центри виробництва електроенергії
- Лінії електропередач великої потужності
- Зони споживання електроенергії та місцеві розподільчі мережі

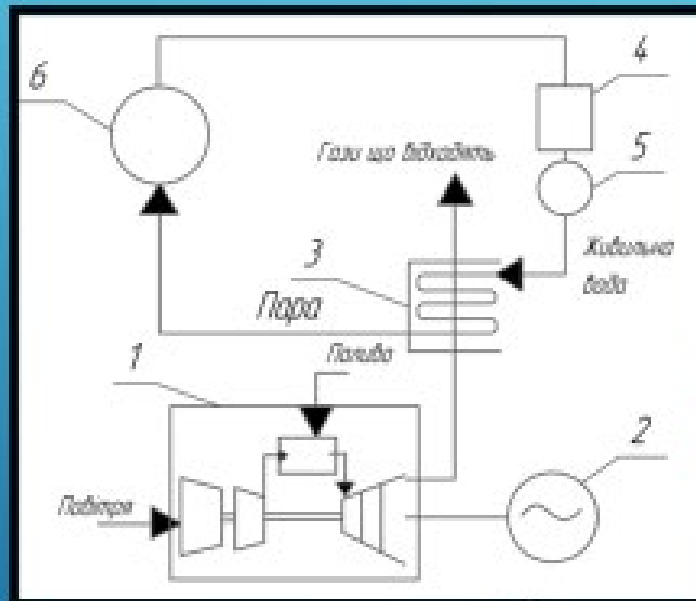


Сонячна панель Aitek ASP-260P

6

Можна виділити такі технології розподіленої малої енергетики:

- Газопоршневі електростанції
- Газотурбінні електростанції
- Мікротурбінні електростанції
- Парові котли
- Відновлювана енергетика (сонячні батареї, вітрові генератори)
- Паливні елементи
- Когенераційні установки (КМУ).



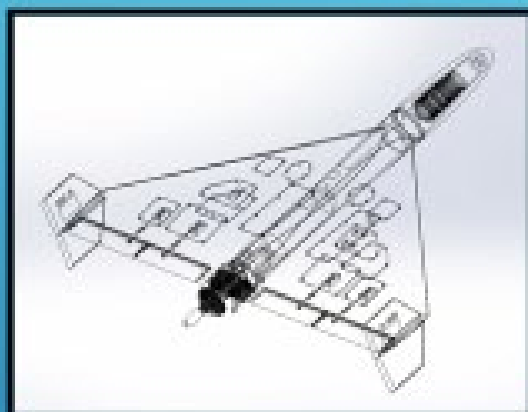
Використання мікромереж

7

Тип	Переваги	Недоліки
Мікромережа, підключена до мережі	Може забезпечити резервне живлення під час відключення електроенергії. Може допомогти зменшити навантаження на основне живлення мережі в пік. Використовує існуючу мережу інфраструктури.	Потрібне надійне підключення до магістралі енергосистеми. Можливо, не зможе працювати самостійно тривалі періоди часу.
Острівна мікромережа	Може працювати повністю незалежно від головної електромережі, що забезпечує живлення віддалених районах. Може стати надійним джерелом енергії під час катастроф. Потенційно може бути надійнішим, ніж мережеві мікромережі.	Вимагає значних початкових інвестицій в інфраструктурі. Може бути менш рентабельним, ніж мережеві мікромережі, оскільки потрібна її власна інфраструктура.
Гібридна мікромережа	Може забезпечити резервне живлення під час відключення електроенергії. Може працювати незалежно від основної електромережі протягом тривалого часу. Може бути надійнішим, ніж підключення до мережевої мікромережі, оскільки має резервні джерела живлення.	Потрібне надійне підключення до магістралі енергосистеми. Може бути складнішим і дорожчим, ніж інші типи мікромереж. Потрібна додаткові інвестиції.

Основні загрози

8



ДРОН-КАМИКАДЗЕ SHAHED 131 / ГЕРАНЬ-1

Корпус з вуглецевими волокнами, захищений спеціальним спеціальним матеріалом

2,4 м

2,2 м

Сучасна авіоніка та трансмісія

Високо-функціональна бойова машина

Iran Aircraft Manufacturing Industrial Company (IRAS)

На виробництво	Матеріали	Матеріали	Дальність польоту	Вартість
Іран	Вуглець, з 70% алюмінію	Вуглець, епоксидна смола, GFR	до 1000 км	\$20 000 – 30 000
Росія	Іран	Іран, Росія	Діяльність внутрішнього програм	* за даними The Institute for Science and International Security
	130 м	10–15 м		

Підземне розміщення підстанцій

Підземне розміщення підстанцій

Такий спосіб розміщення обладнання має допомогти убезпечити підстанції від прямих попадань ворожих ракет. Тепер убезпечити від цього обладнання неможливо – пряме влучення призведе до руйнувань. Цей спосіб має такі недоліки:

- Високу вартість будівництва
- Довге будівництво
- Обмежена вентиляція
- Складність експлуатації

ПОБУДОВА МІКРОМЕРЕЖІ

10



Виробник	ВІД
Країна виробник	Німеччина
Захист від КЗ	Так
Захист від перевантаження	Так
Кількість фаз	3
Конструкція	Стационарна
Коефіцієнт потужності	0,8
Максимальна потужність	2200 кВт
Об'єм паливного бака	1000 л
Напруга	400 В

Напруга, В	51,2
Мін./Макс. Напруга, В	36,8/58,4
Макс. вихідний струм, А	150
Ємність, А год	202
Макс. струм заряду, А	100
Ресурс, циклів	2000>
Діапазон робочих температур, °С	-20...+60

ВИТРАТИ НА ПРОЕКТИ

11

Тиждень	Витрати, тис. грн		Кумулятивний потік
	Обладання	Техобслуговування	
0	25000	0	-25000
1	0	969	-25969
2	0	969	-26938
3	0	969	-27907
4	0	969	-28876
5	0	969	-29845
6	0	969	-30814
7	0	969	-31783
8	0	969	-32752
9	0	969	-33721
10	0	969	-34690
11	0	969	-35659
12	0	969	-36628
13	0	969	-37597
14	0	969	-38566
15	0	969	-39535
16	0	969	-40504
17	0	969	-41473
18	0	969	-42442
19	0	969	-43411
20	0	969	-44380
21	0	969	-45349
22	0	969	-46318
23	0	969	-47287
24	0	969	-48256
25	0	969	-49225
26	0	969	-50194

Тиждень	Витрати, тис. грн		Кумулятивний потік
	Обладання	Техобслуговування	
0	30520	0	-30520
1	0	969	-31489
2	0	969	-32458
3	0	969	-33427
4	0	969	-34396
5	0	969	-35365
6	0	969	-36334
7	0	969	-37303
8	0	969	-38272
9	0	969	-39241
10	0	969	-40210
11	0	969	-41179
12	0	969	-42148
13	0	969	-43117
14	0	969	-44086
15	0	969	-45055
16	0	969	-46024
17	0	969	-46993
18	0	969	-47962
19	0	969	-48931
20	0	969	-49900
21	0	969	-50869
22	0	969	-51838
23	0	969	-52807
24	0	969	-53776
25	0	969	-54745
26	0	969	-55714

Висновки

12

- ▶ В кваліфікаційній роботі зроблено аналіз заходів для підвищення надійності енергосистеми.
- ▶ Запропоновані рішення щодо підвищення надійності можуть дозволити підвищити автономність систем.
- ▶ Зроблено вибір обладнання для подальшої установки на об'єкт
- ▶ В роботі запропоновано та розроблено ряд технічних заходів, які дозволять зробити систему більш автономною, що в свою чергу підвищить надійність використання обладнання.
- ▶ При складанні фінансової оцінки проекту було враховано найважливіші аспекти (закупівля компонентів, установка, техобслуговування). Вартість впровадження заходу в залежності від вибору проекту складає 1) 25 млн. грн. та 2) 30,5 млн. грн відповідно.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ

ДОПОВІДЬ ЗАКІНЧЕНО