

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Розвиток розосередженої генерації у вигляді газотурбінних
електростанцій, як умова підвищення надійності роботи
об'єднаної енергетичної системи України»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. 2ЕС-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні станції»

(інфр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


 Колотило Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСС

 Лесько В.О.
(прізвище та ініціали)

«11» 12 2023 р.


Опонент: доц. каф. ЕСС ЕШ, Ph.D.

 Коваленко Ю.Р.
(прізвище та ініціали)

«14» згрудно. 2023 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри ЕСС

 д.т.н., професор Комар В.О.

«11» згрудно. 2023 р.


Вінниця ВНТУ – 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., професор Комар В.О.

 "18" вересня 2023 року

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

Колотилу Дмитру Вячеславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розвиток розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій, як умова підвищення надійності роботи об'єднаної енергетичної системи України

Керівник роботи: к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС Лесько В.О.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 18.09.2023 року № 247



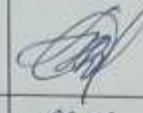

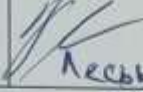

2. Строк подання студентом роботи 05 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи: 1. Розпорядження Кабінету міністрів України «Про схвалення енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»» від 18 серпня 2017 року №605-р. 2. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей НЕК «Укренерго» - 2019. 3. Проект Плану відновлення України: Матеріали робочої групи «Енергетична безпека». 4. Посилання на періодичні видання.

4. Зміст текстової частини: Вступ; 1 Огляд сучасного стану та проблем генеруючих потужностей в Об'єднаній енергетичній системі України; 2 Теорія розвитку розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій, як умова підвищення надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України; 3 Системне значення газотурбінних електростанцій в енергосистемі; 4 Техніко-економічне обґрунтування; 6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; Висновок; Список використаних джерел











5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 15 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Лесько В. О. к. т. н., доц., доцент каф. ЕСС		
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О. В. д.п.н., проф., завідувач каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 18 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		При
		Початок	Кінець	
1	Розроблення технічного завдання	21.09.23	23.09.23	
2	Огляд сучасного стану та проблем генеруючих потужностей в Об'єднаній енергетичній системі України	24.09.23	29.09.23	
3	Теорія розвитку розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій, як умова підвищення надійності роботи Об'єднаній енергетичній системі України	30.09.23	10.10.23	
4	Системне значення газотурбінних електростанцій в енергосистемі	11.10.23	28.10.23	
5	Техніко-економічна частина	29.10.23	05.11.23	
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	06.11.23	12.11.23	
7	Оформлення пояснювальної записки	13.11.23	21.11.23	
8	Виконання графічної/ілюстративної частини та оформлення презентації	22.11.23	27.11.23	
9	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	28.11.23	01.12.23	
10	Рецензування МКР	01.12.23	04.12.23	
11	Захист МКР	За графіком		

Студент

Керівник роботи


(підпис)

(підпис)

Д.В. Колотило
(прізвище та ініціали)

В.О. Лесько
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311

Колотило Дмитро Вячеславович «Розвиток розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій, як умова підвищення надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України». Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця: ВНТУ. 2023. 98 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 41 назв; рис.: 17; табл. 32.

В даній магістерській кваліфікаційній роботі запропоновано використання розосереджених джерел енергії у вигляді газотурбінних електростанцій. Здійснено аналіз генеруючих потужностей ОЕС України. Також здійснено техніко-економічний розрахунок балансування ОЕСУ з використанням газотурбінних електростанцій. Графічна частина складається з 15 плакатів із результатами роботи. В розділі охорони праці визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: газотурбінні електростанції, розосереджені джерела енергії, надійність, Об'єднана енергетична система України.

ABSTRACT

Kolotylo Dmytro "Development of dispersed generation in the form of gas turbine power plants as a condition for improving the reliability of the United energy system of Ukraine". Master's qualification work on specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics. Vinnytsia: VNTU. 2023. 98 c.

In Ukrainian. Bibliography: 41 titles; Figures: 17; Table 32.

This master's thesis proposes the use of dispersed energy sources in the form of gas turbine power plants. The analysis of the generating capacities of the UES of Ukraine is carried out. A technical and economic calculation of balancing the UESU with the use of gas turbine power plants was also carried out. The graphic part consists of 15 posters with the results of the work. The section on work safety defines the main provisions for the safe operation of the electrical complex under study in the conditions of emergency situations.

Keywords: gas turbine power plants, dispersed energy sources, solidity, United Energy System of Ukraine.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПРОБЛЕМ ГЕНЕРУЮЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ В ОБ'ЄДНАНІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМІ УКРАЇНИ	8
1.1 Передумови формування сучасної Об'єднаної енергетичної системи України.....	8
1.2 Аналіз структури генеруючих потужностей Об'єднаної енергетичної системи України	9
1.3 Огляд та аналіз недоліків Об'єднаної енергетичної системи України	11
1.4 Можливі шляхи розвитку Об'єднаної енергетичної системи України.....	12
1.5 Досвід інших країн у використанні розосередженої генерації	14
1.6 Висновок.....	16
2 ТЕОРІЯ РОЗВИТКУ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ У ВИГЛЯДІ ГАЗОТУРБІННИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ, ЯК УМОВА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ	17
2.1 Загальні відомості про надійність роботи Об'єднаної енергетичної системи України	17
2.1.1 Надійність роботи електрообладнання та імовірність його відключення.....	18
2.1.2 Надійність роботи по графіку навантаження електричної мережі	19
2.2 Застосування газотурбінних електростанцій для підвищення надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України.....	21
2.3 Загальні відомості про розосереджену генерацію Об'єднаної енергетичної системи України	22

2.4	Можливості і обмеження впровадження газотурбінних електростанцій, як розосередженої генерації в Об'єднану енергетичну систему України	24
2.5	Висновок.....	26
3	СИСТЕМНЕ ЗНАЧЕННЯ ГАЗОТУРБІННИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ.....	28
3.1	Принципи розміщення газотурбінних електростанцій	28
3.2	Підвищення надійності електропостачання за рахунок газотурбінних електростанцій.....	29
3.3	Вплив газотурбінних електростанцій на режими роботи Об'єднаної енергетичної системи України	30
3.4	Математична модель надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України.....	32
3.5	Моделювання математичної моделі надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України	33
3.6	Висновок.....	34
4	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	35
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	39
	ВИСНОВОК	59
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
	ДОДАТОК А.....	63
	ДОДАТОК Б.....	64
	ДОДАТОК В.....	68

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Енергетичний ландшафт Об'єднаної енергетичної системи України (ОЕСУ) вже тривалий час на “низькому старті” напередодні незворотних змін, покликаних на вирішення ряду викликів. Від зношеного енергетичного обладнання та аварійних ситуацій до нестачі маневрових потужностей та їх впливу на надійність роботи енергосистеми. Згідно з дослідженнями, розгортання кампанії з впровадження розосередженої генерації, зокрема газотурбінних електростанцій (ГТЕС) у ОЕСУ, може стати перспективним рішенням не тільки для раціонального підходу до вирішення нагальних потреб енергосистеми, а й для забезпечення фундаменту у досягненні стратегічних цілей як у технологічному, так і безпековому секторі, в тому числі із досягненням цілей сталого розвитку. Оскільки газотурбінні технології відзначаються високою ефективністю, низькими екологічними викидами та здатністю працювати в режимі часткового навантаження, вони можуть стати основою для створення гнучкої та надійної системи генерації електроенергії на відміну від існуючої централізованої моделі.

Об'єктом дослідження є розосереджені джерела енергії на базі газотурбінних електростанцій.

Предметом дослідження є газотурбінні електростанції як умова підвищення надійності роботи ОЕС України.

Мета і задачі дослідження. Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження впливу розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій (ГТЕС) на підвищення надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України (ОЕСУ).

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **основні завдання**:

- Провести аналіз сучасного стану та проблем генеруючих потужностей в ОЕС України;
- Провести дослідження можливих шляхів розвитку розосередженої генерації в ОЕС України на базі ГТЕС;

- Дослідити газотурбінні технології як ефективний засіб маневрування в енергосистемі;
- Провести дослідження впливу ГТЕС на надійність роботи ОЕС України.

Методи дослідження засновані на використанні методів теорії надійності, теорії та методів математичного моделювання, методів системних досліджень в енергетиці.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці механізмів підвищення надійності ОЕС України з використанням розосередженої генерації, які дозволяють оптимізувати режими роботи енергетичної системи з метою підвищення її ефективності, за рахунок газотурбінних технологій.

Практична цінність одержаних у роботі результатів полягає у наступному:

- розроблено сценарії подальшого розвитку надійності ОЕС України;
- проведено аналіз розроблених проектів подальшого розвитку ОЕС України та запроновано на їх основі новітні методи підвищення надійності ОЕСУ з використанням розосереджених джерел енергії, а саме – газотурбінних електростанцій.

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

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на «I Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2021)», «LI Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2022)», «КУСС-2022», «LII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2023)».

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 5 тез доповідей матеріалів конференцій:

1. Ефективність запровадження швидкодіючих маневрових електростанцій в енергосистему в умовах активного розвитку відновлювальних джерел енергії / В.О. Лесько, Д.В. Колотило, В.В. Нетребський – Матеріали

конференції «L Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2021)», Вінниця, 2021. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 3 с.

2. Газотурбінні електростанції в Об'єднаній енергетичній системі України в умовах інтеграції до Європейської мережі операторів системи передачі енергії/ Д.В. Колотило, В.О. Лесько, А.О. Гресько , В.В. Кравець – Матеріали конференції «LI Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2022)», Вінниця, 2022. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 3 с.

3. Застосування водневого палива у швидкодіючих маневрових газотурбінних електростанціях для покриття пікових навантажень в ОЕС України: досвід Японії / Д.В. Колотило, В.О. Лесько, Ю.В. Малогулко – Матеріали конференції «КУСС-2022», Вінниця, 2022. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 3 с.

4. Дієва експлуатація газотурбінних електростанцій / Д.В. Колотило, В.В. Тептя «LII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2023)», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 3 с.

5. Роль обслуговуючого персоналу в експлуатації газотурбінних електростанцій / Д.В. Колотило, В.В. Тептя «LII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2023)», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 3 с.

1 ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПРОБЛЕМ ГЕНЕРУЮЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ В ОБ'ЄДНАНІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМІ УКРАЇНИ

1.1 Передумови формування сучасної Об'єднаної енергетичної системи України

На початку 1920-х років було розроблено план електрифікації країни, за яким майже третину нових енергетичних потужностей планувалося ввести в Україні. У квітні 1928 року відбувся Всеукраїнський енергетичний з'їзд, на якому обговорено план електрифікації за проектом ГОЕЛРО. Зокрема підтверджено доцільність будівництва потужної гідроелектростанції на Дніпрі та промислових електростанцій на Донбасі.

Планом передбачалося звести в Україні низку районних і промислових електростанцій. До кінця 1940 р. потужність електростанцій України сягнула 2,63 ГВт, а виробництво електроенергії - 12,41 млрд кВт-год. Основою енергетики стали державні районні електростанції, які виробляли понад 85% електроенергії.

Централізація виробництва електроенергії і тепла стала важливою особливістю розвитку енергетики. Науково-технічний прогрес визначив потребу в об'єднанні зусиль фахівців. Створювалися проектні інститути, лабораторії, заклади освіти, розвивалась енергомашинобудівна промисловість.

Сьогодні ОЕС України - одне з найбільших енергооб'єднань Європи. Воно охоплює 7 регіональних енергосистем, пов'язаних лініями електропередачі 750 кВ і 330-500 кВ. До його структури належать різні електростанції, мережі. Режим роботи визначається на основі балансу виробництва та споживання е/е, ремонтів, ліквідації надзвичайних ситуацій.

16 березня 2022 року енергосистема України синхронізована з ENTSO-E на рік раніше запланованого терміну. Після синхронізації вона працює стабільно. Станом на лютий 2022 року українська енергетика була однією з найпотужніших у Європі і залишається такою, незважаючи на пошкодження під час війни.

1.2 Аналіз структури генеруючих потужностей Об'єднаної енергетичної системи України

Загальна встановлена потужність електричних станцій ОЕС України станом на кінець 2021 року становила 56,247 ГВт (без урахування енергогенеруючих об'єктів ТНКТ АР Крим, Донецької та Луганської областей). З них 49,7 % припадало на теплові електростанції, 24,6 % — на атомні, 11,2 % — на гідроелектростанції та гідроакumuлюючі електростанції, 14,5 % — на станції, що працюють на відновлюваних джерелах енергії — ВЕС, СЕС, БіоЕС.

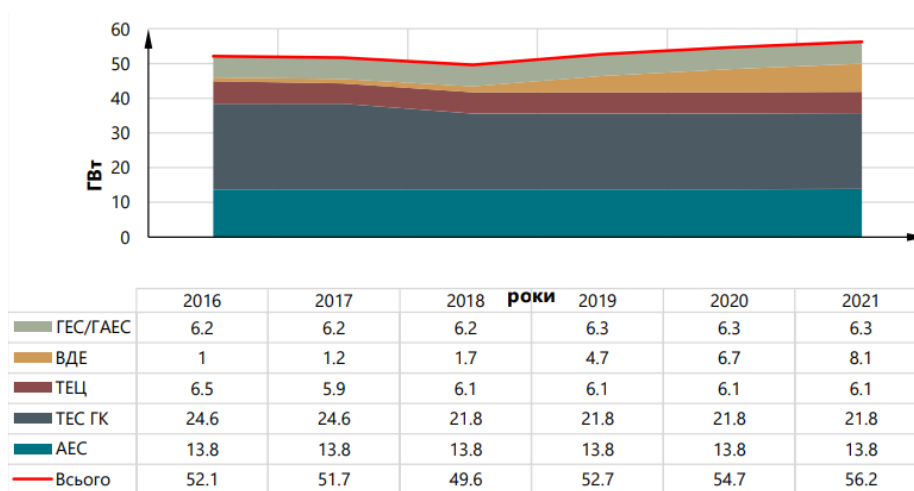


Рисунок 1.1 – Динаміка структури встановленої потужності електростанцій ОЕС України

Примітка: без урахування ТНКТ АР Крим, Донецької та Луганської областей

Основними маневровими потужностями в енергосистемі є ГЕС і ГАЕС та частково ТЕС. ГАЕС також дають змогу компенсувати нічне зниження споживання завдяки роботі в насосному режимі; при цьому їх коефіцієнт використання потужності (КВП) досягає 80%. Ускладнює ситуацію зростання частки СЕС та ВЕС, для яких потрібні швидкодіючі маневрові джерела.

Основні генеруючі потужності зосереджені на п'яти енергокомпаніях, що експлуатують 14 ТЕС, 3 ТЕЦ, на 4 АЕС ДП "Енергоатом", на 103 гідроагрегатах у складі ПАТ "Укргідроенерго".

Магістральні та міждержавні електромережі ОЕС України налічують 23 тис. км. Розподільчі мережі - близько 1 млн км і 200 тис. підстанцій.

ОЕС України синхронізовано з Європейською мережею системних операторів з передачі електроенергії (ENTSO-E).

Суттєвий вплив на роботу енергосистеми має війна. Через ряд чинників, в тому числі економічних та геополітичних, об'єкти критичної інфраструктури з числа енергетичних є цілями особливої «уваги» російської агресії. Так, за даними НЕК «Укренерго» близько 4% генеруючої потужності зруйновано під час бойових дій, ще 35% потужності знаходиться на окупованих територіях (рис. 1.2).



Джерело: Укренерго, аналіз робочої групи

Рисунок 1.2 – Розподіл операційної потужності об'єктів електрогенерації

Найбільша в Європі АЕС (Запорізька) наразі працює в енергосистемі України, але знаходиться під постійним тиском російських окупантів. Виробнича потужність цієї станції складає 6000 МВт, або 43% від загальної потужності усіх українських атомних електростанцій. Загалом зруйновано або знаходяться на окупованих територіях близько 50% теплової генерації, 30% сонячної генерації та понад 90% вітрогенерації. Видобуток газу скоротився на

10-12% за час повномасштабного вторгнення. Не працює жоден НПЗ (власне виробництво забезпечувало близько 30% нафтопродуктів), виникли логістичні складності з постачанням нафтопродуктів.

1.3 Огляд та аналіз недоліків Об'єднаної енергетичної системи України

У липні 2022 року Національна рада з відновлення України від наслідків війни опублікувала матеріали робочої групи з питань енергетичної безпеки у рамках Проекту Плану відновлення України.

Експерти вказують на ряд викликів перед ОЕС, які ускладнилися військовими діями. Позначимо деякі з них:

- **Відсутність ядерного палива.** Після початку повномасштабного вторгнення Росії в лютому 2022 року, постачання свіжого ядерного палива для українських АЕС з Росії було повністю припинено. Запасів палива вистачить до кінця 2023 року. Це створює ризики зупинки частини енергоблоків та різкого падіння виробництва е/е АЕС на 55-75% у 2024 році. Для відновлення постачань необхідно налагодити логістичні шляхи та укласти контракти з альтернативними постачальниками (Westinghouse та ін). Також потрібно оновити системи управління та захисту АЕС у відповідності до нових типів тепловидільних елементів (ТВЕЛ).

- **Пошкодження інфраструктури внаслідок дій.** В результаті воєнних дій з лютого 2022 року пошкоджено 25-40% підстанцій та ліній електропередач в Україні. Це спричинило масові тривалі відключення електроенергії для багатьох споживачів. Крім того, пошкоджено значну частину теплових мереж та котелень. Лише на відновлення електромереж потрібно 4-5 млрд євро. Для швидкого відновлення постачань необхідно закупити резервне обладнання, матеріали для ремонтів, налагодити виробництво опор ЛЕП на українських підприємствах.

- **Занепад галузі та вугілля.** Внаслідок окупації сходу України, в 2022 р. видобуток вугілля впав на 55%, а запаси скоротилися до критичного

рівня (1,9 млн тонн), виснаженість найбільших родовищ газу більше ніж на 75%. Це загрожує зупинками ТЕС через нестачу палива. Для стабілізації ситуації потрібно відновити логістичні шляхи постачання з вільних районів Донбасу. Також необхідно наростити імпорт газового вугілля та налагодити власне виробництво брикетів і пелет з відходів.

- **Зношеність обладнання ТЕС.** Фізичний знос основного обладнання українських ТЕС досяг критичних показників, що збільшує витрати палива та знижує ККД. За підрахунками фахівців, 83% енергоблоків ТЕС і ТЕЦ відпрацювали більше 200 тис. годин. Через брак інвестицій оновлення основних фондів не відбувається. Для підвищення надійності потужностей необхідна повна заміна парових турбін, котлоагрегатів, генераторів на більшості ТЕС - мін 5-7 млрд євро. Часткове оновлення також можливе - 1,5 млрд євро.

- **Брак інвестицій.** Через війну та макроекономічну кризу інвестиції у розвиток генеруючих потужностей та мережевого господарства України з боку держави, приватного сектору та міжнародних донорів скоротилися до мінімуму. Лєвова частка коштів йде на покриття дефіциту палива, закупівлю генераторів, ремонт пошкоджень. Для масштабної реконструкції ОЕС потрібні десятки мільярдів євро інвестицій, залучення яких можливе лише після завершення бойових дій та стабілізації економічної ситуації. Лише станом на середину червня 2022 р. прямі збитки, завдані інфраструктурі української енергетики та нафтогазового сектору, за попередніми оцінками, складають 47 млрд грн або 1,7 млрд доларів.

1.4 Можливі шляхи розвитку Об'єднаної енергетичної системи України

Одним з ключових завдань для подальшого розвитку енергетичного сектору країни є підвищення маневрових можливостей енергетичної системи. Станом на сьогодні у світі представлено низку технологій, що надають можливість вирішити проблеми забезпечення гнучкості (зокрема і

балансування) енергосистеми й водночас покращити технічну можливість подальшої інтеграції ВДЕ до складу енергосистем (рис. 1.3). До числа таких технологій відносяться:

- високоманеврова теплова генерація (газотурбінні установки або газопоршневі двигуни) з можливістю швидкого пуску/зупинки та широкими можливостями регулювання потужності, а також пусків-зупинок впродовж доби, сезону, року;
- високоманеврові ГАЕС та ГЕС;
- системи накопичення електричної енергії для підтримання та регулювання частоти (СНЧ);
- споживачі-регулятори на основі технологій акумулювання теплової енергії;
- малі модульні ядерні реактори;
- технології утилізації профіцитів електричної енергії в енергосистемі («Power to X»), в якості яких на сьогодні в Україні розглядаються, перш за все, впровадження підприємницької діяльності з виробництва водню, який виробляється методом електролізу («Power to Gas»);
- системи накопичення електричної енергії для перенесення потужності з періодів, де наявний її профіцит, до періодів, де наявний її дефіцит («Power to Power»), які по суті є електроакумулюючими електростанціями;
- механічні накопичувачі електричної енергії, які використовують сили гравітації та низка інших, менш поширених технологій.



Рисунок 1.3 – Ландшафт гнучкості української електроенергетики

Впровадження цих технологій формує передумови практично необмеженого розвитку електростанцій, які працюють на ВДЕ і водночас можуть повністю забезпечити потреби в енергоносіях за відповідного розвитку технологій споживання паливо-енергетичних ресурсів, тобто водню, однак вартість енергозабезпечення при впровадженні цих технологій буде надто високою.

Такий розвиток систем енергозабезпечення можуть дозволити лише найбільш розвинені країни, що самотужки на базі власних наукових та виробничих підприємств (машино- та приладобудування) можуть забезпечити розвиток виробництва і споживання водню (рис 1.4).

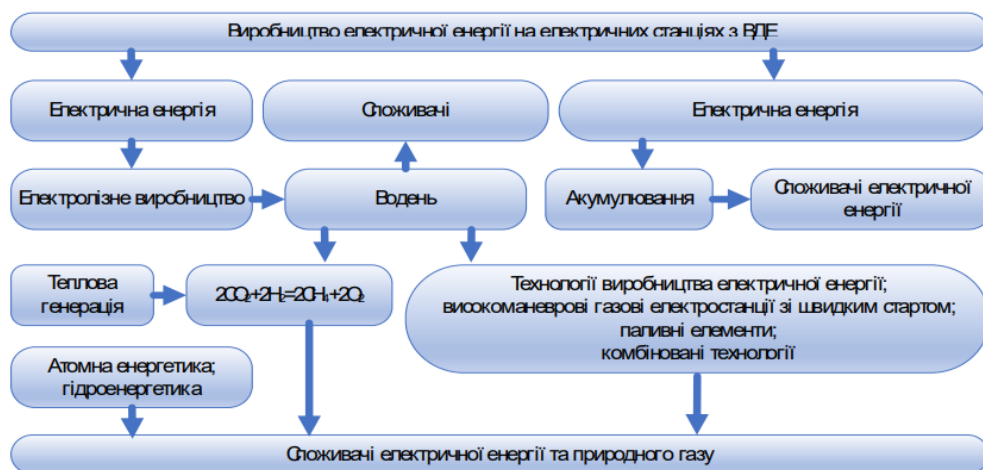


Рисунок 1.4 – Концепція виробництва електричної енергії без викидів парникових газів

1.5 Досвід інших країн у використанні розосередженої генерації

Понад 10 тис. газових турбін експлуатуються у 86 країн світу. Світовий випуск (в перекладі на сумарну електричну потужність) енергетичних ГТУ знаходиться на рівні 30-35 млн. КВт на рік.

Відповідно до європейського досвіду та з огляду на одночасність впливу погодних умов на роботу сонячних і вітрових електростанцій, оптимальним є впровадження розподілених джерел потужністю 5-30 МВт з приєднанням до розподільчої мережі. Це дозволить мінімізувати вартість схем видачі потужності та коливання генерації.

Для вибору підстанцій приєднання слід враховувати: пропускну здатність мереж, завантаження трансформаторів підстанцій, вимоги нормативних документів до проектування мереж тощо.

Енергетичні ГТУ активно розвиваються і впроваджуються зараз в Японії, Англії, Німеччині, Італії, США та інших країнах. Будуються ГТУ-ТЕЦ в Каліфорнії і Флориді (США) потужністю по 150-200 МВт, в Уельсі (Великобританія) електричною потужністю від 200 до 500 МВт. В Ірані експлуатується 174 енергетичних ГТУ загальною електричною потужністю 8167,8 МВт. В Італії фірма GE виробляє мікро ГТУ електричною потужністю від 45 до 200 кВт. Фірма PGT (Nuovo Pignona) випускає ГТУ потужністю від 10 до 21 МВт. Все виробництво фірми Audi (в Німеччині) забезпечують електричною і тепловою енергією два комплексу ГТУ-ТЕЦ марки "Taurus-60" сумарною електричною потужністю 10,4 МВт і теплової - 16 МВт. Фірма "Solar" пропонує ГТУ "під ключ" в діапазоні від 1 до 13 МВт марок: "Centaur", "Mercury", "Taurus", "Mars", "Titan".



Рисунок 1.5 – Резервна електростанція Fingrid потужністю 300 МВт у місті Форсса з двома газовими турбінами.

1.6 Висновок

З урахуванням зазначених вище проблем, можна зробити висновок, що існуючі в енергосистемі генеруючі джерела фактично знаходяться на стадії вичерпання фізичних можливостей для забезпечення добового регулювання та раціональних режимів роботи електростанцій, тому вже найближчим часом необхідне виконання їх реконструкції, а також введення нових високоманеврових потужностей. При цьому, значний вплив на збільшення регулюючих можливостей може бути забезпечений шляхом впровадження ринку допоміжних послуг.

2 ТЕОРІЯ РОЗВИТКУ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ У ВИГЛЯДІ ГАЗОТУРБІННИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ, ЯК УМОВА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

2.1 Загальні відомості про надійність роботи Об'єднаної енергетичної системи України

Якщо говорити саме про електроенергію, то надійність будь-якої ОЕС, можна поділити на такі категорії:

- Надійність роботи електрообладнання та імовірність його відключення;
- Надійність роботи по графіку навантаження електричної мережі.

Зазвичай ЕЕС проектують таким чином, щоб відмова окремих елементів за максимального навантаження не призводила до неприпустимих перевантажень інших елементів чи обмеження частини навантаження. Це детерміністський підхід, який не дає кількісної оцінки надійності. Перспективним є імовірнісний підхід, що аналізує ймовірності аварійних відключень елементів та їх наслідків.

Інтегральним показником надійності є ризик - добуток наслідку події та ймовірності її появи. Основна складність - оцінка цієї ймовірності. Для ЕЕС зі зношеним устаткуванням доцільно застосовувати методи статистичного моделювання обчислювальних експериментів з імітаційними моделями.

Статистика свідчить про тенденцію до зростання кількості порушень електропостачання відповідальних об'єктів, що пов'язано зі старінням устаткування, погіршенням кліматичних умов тощо. Тому актуальне ефективне управління надійністю і запобігання аваріям. З огляду на зниження надійності через старіння устаткування, зростає роль достовірної оцінки показників надійності та ризику.

Основна частка аварій припадає на електричні мережі. Важлива роль у локалізації аварій належить високовольтним вимикачам. Тому актуальним є

прогнозування ресурсу і ймовірності відмови електроустаткування, зокрема вимикачів.

Реалізація концепції Smart Grid значною мірою залежить від технічного стану устаткування та рівня надійності ЕЕС. Важливо визначати елементи з найбільшою ймовірністю відмов, що можуть спричинити ланцюговий розвиток аварії, для їх пріоритетного контролю, прогнозування відмов та запобігання.

2.1.1 Надійність роботи електрообладнання та ймовірність його відключення

За процесом надійності роботи електрообладнання в цілому відповідає така дисципліна, як діагностика. Технічна діагностика – це дисципліна, зміст якої вивчення чи визначення дійсного технічного стану об'єкта та характеру його змін з часом.

З цього означення формується й визначення надійності, як один з об'єктів дослідження технічної діагностики. Надійність – властивість об'єкта виконувати задані функції в заданому часі, або об'ємі при визначених умовах функціонування.

В загальному, надійність електрообладнання та ймовірність його відключень, характеризується такими параметрами:

- Ймовірність безвідмовної роботи;
- Ймовірність відмови;
- Нормальний закон розподілу ймовірності відмови.

Так, ймовірність безвідмовної роботи, визначається за наступною формулою:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (2.1)$$

де λ - інтенсивність відмов за проміжок часу від 0 до t .

Ймовірність відмови, відповідно з (4.1), можна визначити, як:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}, \quad (2.2)$$

А, нормальний закон розподілу ймовірності відмови, буде мати наступний вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (2.3)$$

де m_x - математичне очікування (середнє вибіркоче);

σ - середнє квадратичне відхилення.

За (2.1-2.3), можна визначити ймовірності відмови та нормальний закон розподілу лише для одного параметру усієї системи. Якщо система складається з 2-ох і більше параметрів, що відноситься майже до будь-якої системи в електроенергетиці, то потрібно використовувати комплексний метод визначення надійності системи.

Відповідно, системи можуть бути: послідовні, паралельні, змішані, складні.

В цілому, якщо система є послідовною, то знаходять частоту відмов, як суму усіх частот відмов кожного елемента. Якщо система є паралельною, то частота відмови усієї системи, буде знаходитись, як добуток усіх частот відмов кожного елемента, помножений на час та поділений на суму часу кожного елемента відмови. В змішаному методі, використовують комбінацію методу послідовного і паралельного з'єднання елементів.

При складних системах, якими є більшість електричних систем, потрібно знайти мінімальні перетини елементів та знайти нижню межу надійності, як надійність послідовно з'єднаних мінімальних перетинів. Так, одним з методів пошуку мінімальних перетинів, є метод графа, або метод «віток та границь».

2.1.2 Надійність роботи по графіку навантаження електричної мережі

При виробництві, розподілі та споживанні електричної енергії, користуються поняттям: графік навантаження електричної мережі. Графік навантаження електричної мережі – розподіл навантаження електроенергії в кВт, від часу за добу, місяць, рік, тощо.

Типовий добовий графік навантаження, з покриттям різних типів електростанцій, представлений на рисунку 2.1.

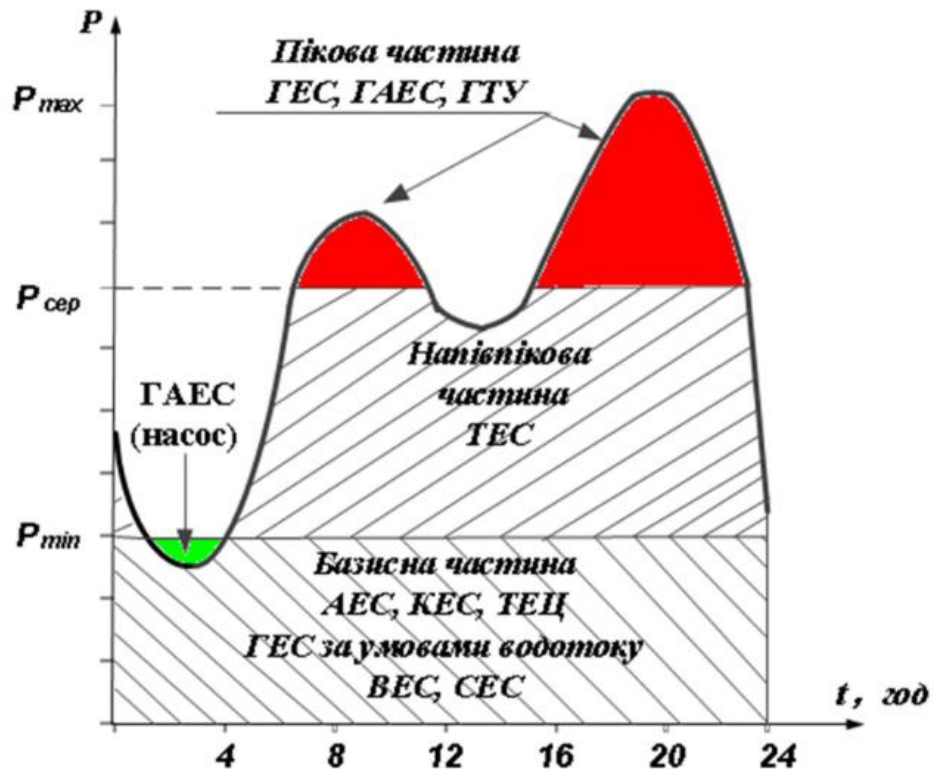


Рисунок 2.1 – Типовий добовий графік навантаження електричної мережі, з покриттями різними типами електростанцій

Ілюстрований на рисунку 2.1 добовий графік навантаження електричної мережі, демонструє нічний провал споживання e/e , який зокрема зумовлений структурою генерації створеної за радянських часів і реалізованої як єдина енергетична система країни. Такі умови відповідно європейських норм вимагають забезпечення маневровими потужностями, не менше ніж 20%..

На рисунку 2.1, зображені пікові частини споживання вранці, та ввечері, котрі представляють собою перенавантаження електросистеми. Наслідки таких перевантажень долаються завдяки залученню вискоманеврових/пікових електростанцій.

Так, за добовим графіком навантаження електричної мережі, можна скласти надійність роботи електроенергетичного комплексу. Іншими словами, стабільність подачі електроенергії, в усі часові періоди за добу.

Пікові частини добового графіку навантаження, покриваються за допомогою ГЕС, ГАЕС та ГТУ (ГТЕС). Якщо, говорити про ГЕС та ГАЕС, то їхній ввід в систему подачі електроенергії, та синхронізація з мережею, є довшою в порівнянні з ГТЕС. Також, ГЕС та ГАЕС, не завжди здатні покрити усю мережу споживачів по регіону подачі електроенергії.

Релевантною є потреба дослідити застосування ГТЕС, та принцип їх роботи, як спосіб підвищення надійності роботи електромережі (стабільності) по графіку навантаження електричної мережі.

2.2 Застосування газотурбінних електростанцій для підвищення надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України

Газотурбінна електростанція (ГТЕС) – це тип електростанції на базі газотурбінних установок, які зазвичай використовуються, за рахунок швидкого запуску та синхронізацію з мережею, як засіб для балансування мережі, або задля покриття пікових навантажень.

Описані методи застосування ГТЕС, є одними з найраціональніших методів для підвищення надійності української енергосистеми, в покритті та постійній подачі електроенергії протягом усього проміжку добового навантаження.

Причиною підвищення надійності, є швидкодія, забезпечена технічними можливостями газотурбінних двигунів та установок, на базі яких, і будуються згадані ГТЕС.

Важливою перевагою газотурбінних електростанцій є можливість одночасного використання двох видів енергії - електричної і теплової. Причому отримана споживачем кількість виробленої теплової енергії в два-три рази більше, ніж кількість електричної енергії. Такий процес називається когенерацією і стає можливим при модифікації спеціальним обладнанням у вигляді котла утилізатора на вихлопі турбіни.

Використовуючи газотурбінні електростанції, можливо створити автономні децентралізовані енергетичні комплекси, які здатні вирішувати декілька завдань одночасно, включно, але не обмежуючись наведеними:

- Забезпечити електроенергією приватні та промислові об'єкти;
- Перетворити газ із сміттєзвалищ у електроенергію і тепло;
- Обігріти технічні приміщення та житлові корпуси побічним теплом.

Все це дозволяє значно мінімізувати витрати на забезпечення балансу в енергосистемі, створити оптимальні умови для роботи персоналу, сконцентрувати матеріальні засоби і капітал на розширення структури генеруючих потужностей та як наслідок, підвищити надійність ОЕС України.

2.3 Загальні відомості про розосереджену генерацію Об'єднаної енергетичної системи України

Розосереджена генерація (РГ) – це невеликі за обсягом електричні станції, які знаходяться близько до споживача.

В Україні розосереджені джерела енергії (РДЕ), представлені переважно сонячними, вітровими, малими гідроелектростанціями та установками на біопаливі і біогазі, де-не-де представлені газотурбінні електростанції.

В українському контексті, коли мова йде про РДЕ, мають на увазі саме ВДЕ, які використовують для децентралізації виробництва.

ВДЕ як вид РДЕ, спрощує негативний вплив на електричну мережу, у вигляді коливань напруги, збільшенням кількості вищих гармонік в мережі, дисбалансу потоків потужності тощо.

Протилежна ситуація з використанням ГТЕС, як виду РДЕ. Адже притаманні негативні впливи ВДЕ на електричну мережу, у випадку з ГТЕС будуть, або відсутні, або мінімальні. Це пояснюється, за рахунок характеристик газотурбінних електростанцій, які мають кращі показники, ніж більшість відновлювальних джерел енергії.

Також, газотурбінні установки, можуть працювати на паливі з водневими домішками та на водневому паливі, що робить ГТЕС, на базі таких водневих газотурбінних установок, також частиною «зеленої» генерації. Можна припустити, що використання ГТЕС на водневому паливі буде конкурентоспроможним з ВДЕ як вид РДЕ.

Розосереджена генерація відіграє значну роль у функціонуванні ОЕСУ. Особливо, зважаючи на нещодавнє виконання вимог НЕК «Укренерго» Каталогу заходів для повного завершення синхронізації з ENTSO-E (рис. 2.2).

Масова тенденція на розбудову потужностей розосередженої генерації в Україні, дозволить щонайменше позбутись небалансів у енергосистемі, а в перспективі – кардинально змінити структуру генеруючих потужностей ОЕС України. Одним з вирішальних чинників вдатися до такої тенденції є успадкований від СРСР замкнутий цикл проектування, випробувань і серійного виробництва газотурбінних двигунів (ГТД) різної потужності й призначення, а також редукторів і газотурбінних установок на базі радянського проектного бюро “Машпроект” і Південного турбінного заводу “Зоря”

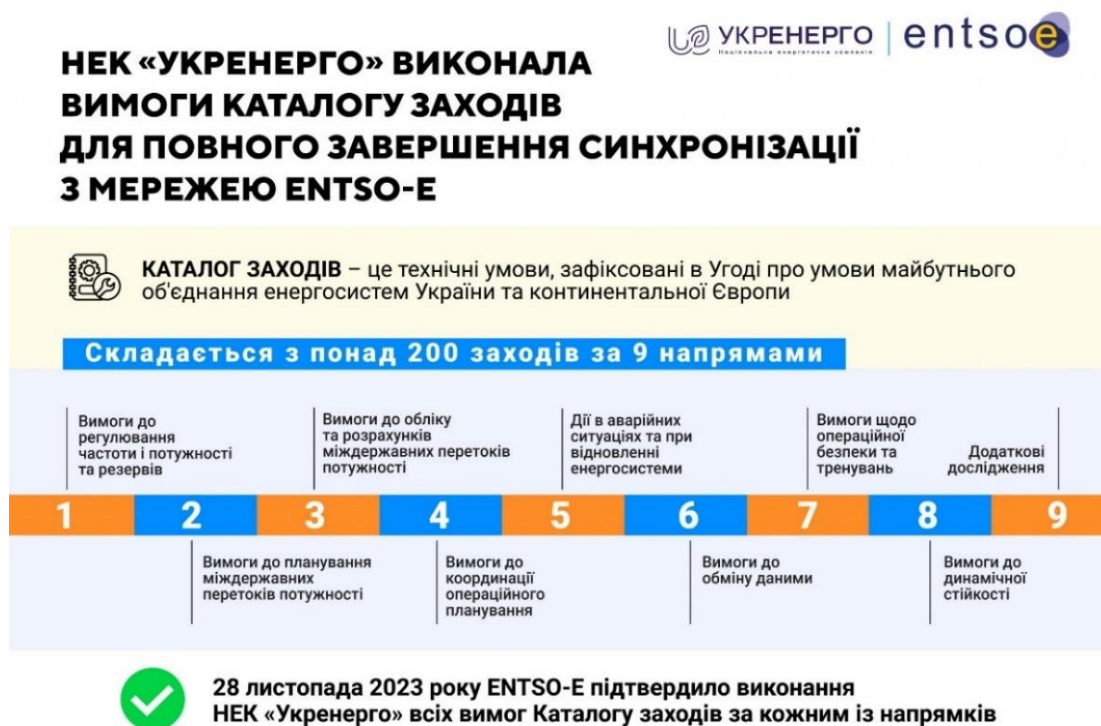


Рисунок 2.2 – Вимоги Каталогу заходів для повного завершення синхронізації з ENTSO-E

2.4 Можливості і обмеження впровадження газотурбінних електростанцій, як розосередженої генерації в Об'єднану енергетичну систему України

Існуючий спектр розосередженої генерації, не покриває більшості споживачів. Тому запропоновано збільшення впливу розосередженої генерації в Україні, за рахунок встановлення мобільних газотурбінних електростанцій.

Підхід акцентований на збільшення РГ є особливо актуальним в часи руйнування енергетичної інфраструктури внаслідок воєнних дій з боку росії, та буде не менш актуальним під час відновлення та відбудови України.

Розглянемо декілька сценаріїв застосування ГТЕС, як виду розосередженого джерела енергії:

- ***Сценарій 1. Встановлення ГТЕС для покриття потреб районних споживачів.***

Висока увага цьому сценарію приділяється, під час можливих відключень електроенергії через пошкодження або руйнування міських та центральних розподільчих ліній, внаслідок застосування зброї. В результаті підключення ГТЕС до районної мережі, буде відбуватись безперебійна подача електроенергії не тільки до усього району, оскільки відповідно до умов експлуатації газотурбінних електростанцій, найбільш ефективно їх використання (ККД), буде за умови, що ГТЕС працює в умовах навантаження на усі 100%.

Встановивши ГТЕС для потреб району зі встановленою потужністю більшою, ніж розрахована верхня межа споживання району можна перерозподілити електроенергію також й на інших споживачів в інших районах. Цей фактор, є також ефективним, якщо привести фактичний розподіл по лініям електропередач інших районів.

Також, газотурбінні електростанції можуть бути модифіковані. Модифікація полягає у встановленні рекупераційного обладнання, та передачі

теплових відходів ГТЕС на потреби споживачів, задля гарячого водопостачання, або віддачі у централізоване опалення.

- ***Сценарій 2. Використання газотурбінних електростанцій, як основного джерела виробництва електроенергії для підприємств.***

За цим сценарієм, основна увага приділяється саме підприємствам, які за потреби можуть перерозподіляти електроенергію споживачам навколо підприємства. Суть сценарію в тому, щоб відділити підприємства від центральної енергетичної мережі, за рахунок розосередженої генерації в вигляді ГТЕС.

Такий метод допоможе усій енергетичній системі України, за рахунок зменшення віддачі в енергосистему реактивної потужності. Це призведе до зменшення відхилень в напрузі та частоті, разом з зменшенням впливу вищих гармонік на центровану енергетичну систему України.

Відповідно до цього методу, потрібно розробити підстанції на базі ГТЕС, які будуть подавати електроенергію та, можливо, теплову енергію на підприємство.

Недоліком такого сценарію, є подача газу, або іншого палива, до таких підстанцій на базі ГТЕС. Тобто для роботи ГТЕС, яка буде покривати усі потреби підприємства, потрібна постійна подача палива, на відмінно з сценарієм №1. За попереднім сценарієм, можна, припустити, що паливо береться з вже прокладених енергетичних систем міст (районів), та не потребують особливих додаткових інвестицій, для прокладення нових.

Цей сценарій, потребує додаткових інвестицій, не тільки в плані електричних підстанцій, а ще й в плані доступу палива до цих підстанцій.

Одним з найбільших переваг, які можна віднести за цим сценарієм, це можливість роботи оборонного сектору, в будь-який час, в не залежності від прив'язки до центральної мережі електропостачання. Звичайно, по мимо оборонного сектору, працювати буде й цивільний сектор, що дозволить, навіть в такі важки часи, працювати економіці України.

- ***Сценарій 3. Застосування газотурбінних електростанцій на майданчиках атомних електростанцій.***

З розрахунку цього сценарію, можливо не просто забезпечити збільшення розосередженої генерації, а й підвищити надійність, ефективності функціонування ОЕС України та посилити стабільність роботи та безпеки експлуатації АЕС.

Створення мережі маневрових потужностей на АЕС, у вигляді газотурбінних станцій з можливим використанням водневого палива та подальшою модернізацією енергетичних установок (підвищення як електричного, так і теплового ККД установок шляхом встановлення додаткових модулів). Рациональність даного рішення пояснюється екологічністю та високою концентрацією електроенергії виробленої атомною генерацією, що дозволяє створити систему швидкодіючих маневрових потужностей. Це дозволить не зменшувати потужність генерації, як це сталося у 2020 році в Україні через зменшення споживання, а навпаки, її надлишок шляхом електролізу перетворювати на водень, а в періоди найбільшої потреби – генерувати з нього електроенергію вже згаданими маневровими газотурбінними установками.

2.5 Висновок

Масштабування газотурбінних технологій у ОЕС України з подальшим поглибленням співпраці, як у наукових дослідженнях, так і впровадженні новітніх технологічних рішень виробництва дасть можливість покращити балансувальну спроможність ОЕС України, а за умови розосередженої генерації – підвищити стабільність та безпеку експлуатації підприємств, окремих типів електростанцій, районних електричних мереж тощо.

Наявний потенціал вітчизняного енергетичного машинобудування здатний задовольнити внутрішні потреби, а саме створення мобільних, сучасних та екологічних газотурбінних енергетичних установок для

розосередження генерації електроенергії та балансування «пікових» навантажень в ОЕС. Тому, вітчизняне виробництво газотурбінних електростанцій – це реальна і поки що єдина можливість у короткий термін забезпечити необхідну стабільність енергозабезпечення та підвищити енергетичну та національну безпеку. В свою чергу, використання власного науково-виробничого потенціалу в галузі газотурбінних та водневих технологій – це шлях створення нових робочих місць в державі та можливість технологічного розвитку за рахунок інвестицій у власну економіку, й з високою ймовірністю масштабуватися у рамках співпраці з представниками Європейської мережі системних операторів передачі електроенергії (ENTSO-E) та в унісон працювати над розбудовою спроможності ОЕСУ, як частини ENTSO-E.

3 СИСТЕМНЕ ЗНАЧЕННЯ ГАЗОТУРБІННИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ

3.1 Принципи розміщення газотурбінних електростанцій

В умовах значних небалансів добових графіків навантаження в об'єднаних енергосистемах саме ГТЕС, які володіють високою маневреністю й широким діапазоном регулювання, швидким пуском й зупинкою, виконують одне з найважливіших завдань забезпечуючи баланс у ОЕС України - покривають найбільш складну пікову й напівпікову частини графіку навантажень.

З досвіду зарубіжних енергосистем, ГТЕС оптимально будувати поблизу джерел газопостачання для скорочення витрат на транспортування палива, розміщувати переважно у великих містах та промислових центрах для задоволення попиту на електроенергію без транзитних передач, враховувати можливість підключення до мереж для видачі електроенергії та забезпечення необхідних потужностей короткого замикання.

Залежно від розташування, ГТЕС можуть надавати певні специфічні переваги, особливо в аварійних ситуаціях:

- ГТЕС поблизу АЕС, крім стандартних функцій, можуть глибше впливати на оптимізацію режимів ОЕС.
- Невеликі ГТЕС на периметрі або всередині мегаполісів можуть підвищити надійність енергопостачання міст, зокрема критичної інфраструктури під час аварій.
- У ізольованих енергосистемах без інших маневрових потужностей ГТЕС можуть виконувати таку роль.

Таким чином, технічна необхідність розвитку газотурбінної генерації не викликає сумніву, оскільки ГТЕС сприяють забезпеченню нормативної якості електроенергії в нормальних режимах, зниженню перетоків потужності по міжсистемних зв'язках, підвищенню надійності і живучості енергосистем, а також – у ряді випадків – полегшенню умов післяаварійного відновлення

енергосистем у разі великої системної аварії, а також мають позитивний вплив на господарські процеси в країні, позбавивши їх залежності від централізованого енергопостачання.

3.2 Підвищення надійності електропостачання за рахунок газотурбінних електростанцій

Електроенергетика включає три ключові сфери:

- виробництво та збут електроенергії;
- передача й розподіл електроенергії;
- забезпечення якості та надійності електропостачання.

На газотурбінні електростанції покладено роль забезпечення якості та надійності електропостачання споживачів електроенергії. Доцільність використання газотурбінних технологій в Україні обумовлено власним науково-виробничим потенціалом, зрештою світові тенденції зростання рівня споживання електричної енергії, загострення проблем у сфері екології та забезпечені енергоресурсами, військових конфліктів, в тому числі безпосередньо в Україні – підвищують таку доцільність. За кордоном використання ГТЕС для вирівнювання добових графіків навантаження практикується вже тривалий час, причому пріоритетно їх залучення відбувається в години пікового навантаження. Незважаючи на широко представлені технологічні можливості ГТЕС (регулювання добового графіка навантаження, регулювання частоти і напруги, забезпечення оперативного і аварійного 60 резерву), всі вони є похідними одного параметра – високоманевровою (регулюючою) потужністю генерації. Висока надійність електропостачання може бути забезпечена за рахунок наявності в ОЕСУ достатнього резерву маневреної потужності. Оперативні (швидкодіючі) резервні потужності застосовують в різних країнах, але по відношенню до них можуть бути сформульовані деякі загальні визначення.

Існує чотири рівні резерву потужності, які розрізняють за оперативністю реалізації:

- **Перший рівень** може бути швидко реалізований автоматично за допомогою регулювання частоти обертання агрегатів. До нього також відноситься зниження дефіциту потужності за рахунок автоматичного впливу на роботу ГАЕС.
- **Другий рівень** може бути швидко реалізований автоматично або вручну, компенсуючи частину першого рівня або своєчасно вводячи в роботу агрегати з урахуванням майбутніх змін режиму. Типовим прикладом автоматичної або напівавтоматичної реалізації цього резерву є пуск при спрацьовуванні мінімального реле частоти агрегатів ГТЕС, ГАЕС і ГЕС або зміна вручну уставок автоматичного регулювання частоти і обмінної потужності.

Третій і четвертий рівні можуть потребувати певного часу на реалізацію - хвилин, годин або днів. Вони призначені для заміни попередніх рівнів резерву або ліквідації прогнозованого дефіциту потужності.

Третій рівень забезпечується за рахунок завантаження пущених агрегатів ГТЕС, ГЕС і ГАЕС, зміни навантаження ТЕС, синхронізації агрегатів з гарячого резерву, аварійної взаємодопомоги.

Четвертий рівень - прискорення готовності "холодних" агрегатів, організація додаткових постачань, зниження навантаження споживачів за спеціальними угодами.

Завдання вибору рівня резерву вирішується на різних часових інтервалах - від довгострокового планування до оперативного управління.

3.3 Вплив газотурбінних електростанцій на режими роботи Об'єднаної енергетичної системи України

ОЕС України має певні вразливі елементи, реакція яких на зміни режимів роботи є критичною та негативно впливає на працездатність усієї системи. У

таких слабких місцях при перехідних режимах зростає ймовірність відхилень параметрів, що можуть спричинити погіршення якості, надійності та економічних показників.

Наявність слабких місць обмежує технічні можливості ОЕС, ефективність управління нею та часто призводить до порушень стійкості і системних аварій.

Визначення слабких місць дозволяє розробити заходи для їх посилення шляхом зміни схеми мережі, структури та розміщення генераторів, установки компенсуючих пристроїв тощо. Визначальним є забезпечення оптимальної структури генеруючих потужностей з необхідним регулюванням.

Добові графіки навантаження енергосистем характеризуються високою нерівномірністю, що ускладнює покриття піків та проходження "ям" у споживанні. Це посилюється через збільшення частки великих неманеврених блоків на АЕС.

В Україні для зимового максимального добового графіка характерні два піки навантаження - вечірній та ранковий, а також два провали - нічний та денний. Річні графіки залежно від умов можуть або знижуватись влітку, або зростати.

Основні передумови розвитку ГТЕС - потреба у маневровій потужності, швидкому резерві, регулюванні режимних параметрів для забезпечення якості електроенергії. Їх функціональні можливості поділяються на стандартні системні та специфічні послуги залежно від розташування ГТЕС.

Стандартні функціональні можливості ГТЕС у різних режимах представлені нижче.

1. Нормальний режим:

- регулювання балансу потужності (навантаження і генерації);
- регулювання частоти;
- оперативне резервування потужності.

2. Аварійний режим:

- Аварійне (швидке) резервування потужності.
3. Післяаварійний режим:
- оперативне резервування потужності (навантаження і генерації).

3.4 Математична модель надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України

Математична модель надійності роботи ОЕС України – це система диференціальних рівнянь, які описують імовірність відмови важливих елементів системи, які заживляють важливі системи, або велику кількість споживачів, що робить ремонткування та досліджування цих систем найпершим та найголовнішим пріоритетом.

Для полегшення задачі, візьмемо однорідну марковську модель, яку використовують у своїх розрахунках науковці кафедри Електричних станцій і систем ВНТУ надійності системи за рівняннями Колмогорова – Чепмена:

$$\begin{cases} \frac{dp_1(t)}{dt} = -\mu_2 \cdot p_1(t) + \lambda_2 \cdot p_2(t), \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = -(\lambda_2 + \mu_1) \cdot p_2(t) + \lambda_1 \cdot p_3(t), \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = -\lambda_1 \cdot p_3(t) + \mu_1 \cdot p_2(t) + \mu_2 \cdot p_1(t). \end{cases}, \quad (3.1)$$

де $p_i(t)$ - функції імовірності;

λ_1, λ_2 - інтенсивність переходів відмов;

μ_1, μ_2 - інтенсивність переходів відновлення.

Якщо задати математичну модель Колмогорова – Чепмена в матричній формі, то отримаємо наступні рівняння:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} p(t) = A \cdot p(t), \\ y(t) = C \cdot p(t). \end{cases}, \quad (3.2)$$

де $p(t)$ - матриця функції імовірності;

A – матриця функції імовірності працездатності станів;

C – матричний параметр;

$y(t)$ - вектор характеристик надійності.

Також, для моделювання математичної матричної моделі за (3.2), потрібно задатись початковими даними по $p(0)$. Якщо задатись ними, як комбінація можливостей, тобто вектор розміром 3×3 , то вийде промоделювати увесь спектр роботи системи.

3.5 Моделювання математичної моделі надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України

Для моделювання математичної моделі надійності роботи ОЕС України за системою диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена, в однорідній марковській моделі, використаємо програмне середовище Matlab (Simulink).

Так, модель представлена на рисунку 3.1, яка повністю описує всі процеси, що відбуваються в математичній моделі за (3.1).

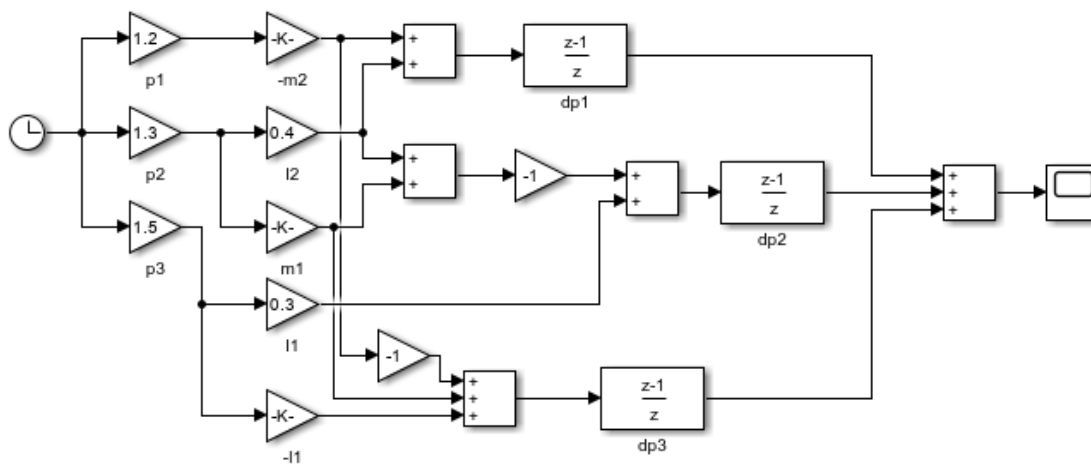


Рисунок 3.1 – Вигляд однорідної марковської моделі за Колмогорова – Чепмена в програмному середовищі Matlab Simulink

Відповідно до цього, на рисунку 3.2, представлено результати моделювання, яка відображає суму вірогідності відмов на деякому проміжку часу, разом з відновленням. Величини що більше 0 відповідають вірогідності

відмови а величини, що менші нуля, відповідно, вірогідності відновлення. За цією залежністю, видно, що ці вірогідності будуть наростати, при цьому вірогідність відмов, буде перебільшувати, тому що при відключенні одного апарату системи, буде відмова усієї системи, за даною математичною моделлю.

Відповідно до цього, можна припустити, що система потребує додаткових заходів по підвищенню надійності.

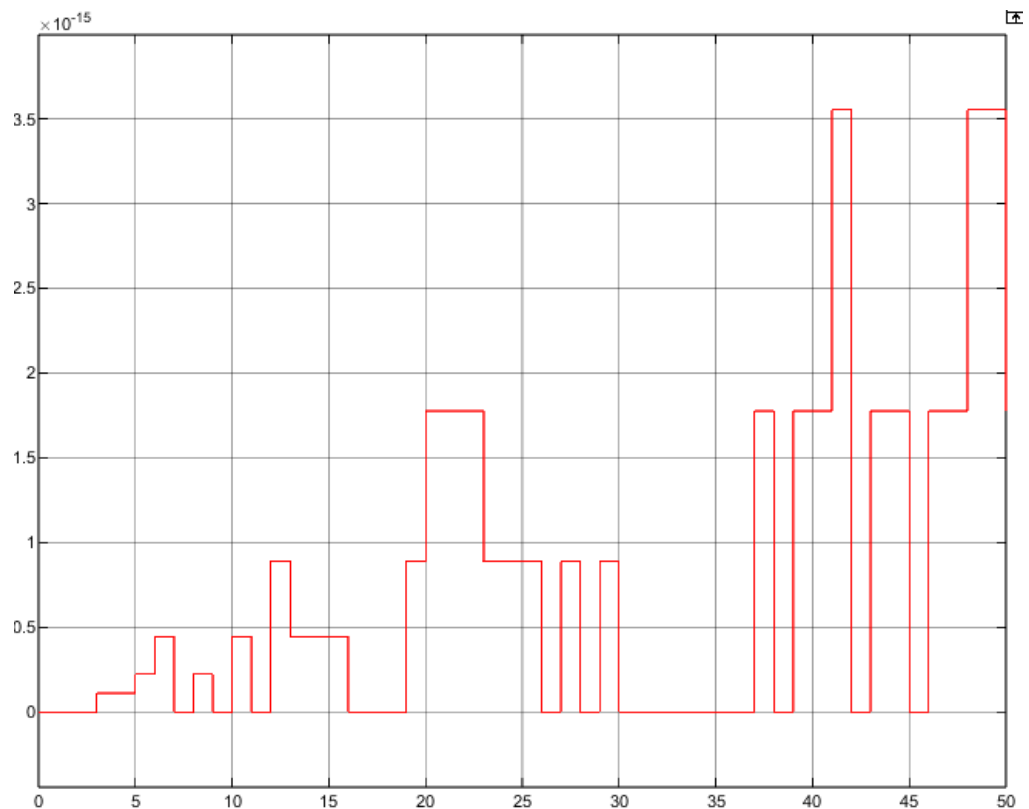


Рисунок 3.2 – Результат моделювання вірогідності відмов та відновлення на деякому проміжку часу

3.6 Висновок

Проаналізувавши системне значення ГТЕС в ОЕС України, можна стверджувати про доцільність їх використання в Україні зважаючи на світові тенденції та військові виклики. На тлі даної ситуації запропоновано використання газотурбінних маневрових потужностей для підвищення надійності ОЕСУ, в тому числі задля балансування графіку навантаження.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Відповідно до довоєнного прогнозного балансу на 2022 рік зазначимо збільшення частки як теплової генерації, так і збільшення потужностей поновлюваних джерел енергії (див. рисунок 4.1.а) та рисунок 4.1.б)). Так, частка ТЕС зростає на 7,6%, до 42,1 млн МВт*год, ТЕЦ - на 8,2%, до 9,8 млн МВт*год, ВДЕ на 17,2% - до 14,9 млн МВт*год, найбільше зростання планується у ВЕС - на 43% (до 5,8 млн МВт*год), та БіоТЕЦ - на 10% (до 1,1 млн МВт*год).



Рисунок 4.1 – Прогнозний довоєнний баланс електроенергії на 2022 рік:

4.1.а) зміна основних показників балансу та виробництва е/е за видами генерації; 4.1.б) зміна місячних показників виробництва та зовнішньої торгівлі е/е

Відповідно до наведеного аналізу вище, можна зазначити що потреба у високоманвреній генерації буде лише зростати. В свою чергу, даний вид генерації в ОЕСУ повинен забезпечувати:

- технологічність;
- економічність;
- екологічність;

- високу маневреність;
- короткий пусковий час;
- незначні капітальні витрати на побудову;
- швидкий монтаж та підключення відповідно до умов на об'єкті.

Посилаючись на висунуті вимоги пропонується розглянути газотурбінні електростанції, які набувають нових смислів у контексті інтеграції до європейського оператора системи передачі ENTSO-E.

Виробництво таких електричних станцій є і в Україні та реалізується ДП НКВГ «Зоря»-«Машпроект» (таблиця 4.1).

Тип ГТУ	Потужність, кВт (ISO 2314)	ККД, % (ISO2314)
UGT 5000	5250	32,0
UGT 6000	6360	31,0
UGT 15000	16900	35,0
UGT 25000	26200	36,3
UGT 32000*	33400	38,4

Таблиця 4.1 – Газотурбінні установки для енергетики, розроблені ДП НКВГ «Зоря»-«Машпроект»

Широкий ряд газотурбінних установок одиничною потужністю 5, 6, 16, 25, а в недалекому майбутньому і 32 МВт дозволяє створювати маневрені електростанції необхідної потужності для системи розподіленої енергетики і, перш за все, для покриття «пікових» навантажень. Можливість швидкого пуску і набору навантаження з виходом на номінальний режим відпрацьована при створенні високоманеврових енергетичних установок для сучасних бойових кораблів. Останнім часом мобільна газотурбінна електростанція стала широко застосовуватися і в міських умовах завдяки низькому рівню виробленого шуму, вібрації і токсичності вихлопних газів. Її доцільно використовувати у випадках, коли з підключенням до енергомережі міста виникають труднощі або

вартість останнього занадто висока. Невиключено використання даного типу електростанцій для шелтерів у поєднанні із ВДЕ у вигляді СЕС.

Оснoву таких станцій становить силовий газотурбінний двигун внутрішнього згорання газоподібного палива, який пов'язаний із електрогенератором. Газотурбінний двигун є найпотужнішим ДВЗ, що у поєднанні з можливістю функціонування на різних видах палива робить його використання у ОЕСУ надзвичайно рентабельним. В якості пального можна використовувати горючий матеріал різного походження (природній, синтезований тощо), який можна мілко подрібнити і застосувати в газоподібному вигляді. Прикладом такого пального може бути:

- бензин;
- дизельне пальне;
- мазут;
- нафта;
- природній газ;
- біогаз;
- спирт;
- подрібнене вугілля;
- водень тощо.

Крім цього вони можуть забезпечувати роботу на двох видах палива з автоматичним переходом з одного виду палива на інший на будь-якому режимі роботи.

В умовах зростаючого попиту на використання водневих технологій та підготовки Водневої стратегії України майже не вводяться нові регулюючі потужності у потрібному обсязі, хоча вже сьогодні існують мультиформатні проєкти, які поєднують розвиток як водневих технологій, так і ВДЕ. При подальшому збільшенні частки негарантованих потужностей ВЕС та СЕС (таблиця 4.2) прямопропорційно повинна збільшуватись і частка маневрової генерації, задля забезпечення балансу між споживанням та виробництвом

електроенергії. В ОЕСУ маневрова генерація реалізована з використанням ГЕС та ГАЕС, які добре себе показали у вирішенні нічних провалів споживання.

Технологія ВДЕ	Приріст по відношенню до попереднього року ВДЕ 2013-2020 рр., МВт							
	роки							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ВЕС	48,2	112	4,4	10,9	27,9	60,6	636	86,2
СЕС	240,1	15,9	6,6	98,9	300,4	466,4	2 565,9	1 807,2
БіоЕС	0	35,4	17	10,2	34,3	1,8	43,8	57

Таблиця 4.2 – Динаміка введення в експлуатацію об'єктів генеруючих потужностей по ВДЕ

На графіку добового балансу електроенергії (рисунок 3), зображена ситуація коливань виробництва електроенергії спричинена особливостями функціонування відновлювальних джерел енергії у об'єднаній енергетичній системі України.

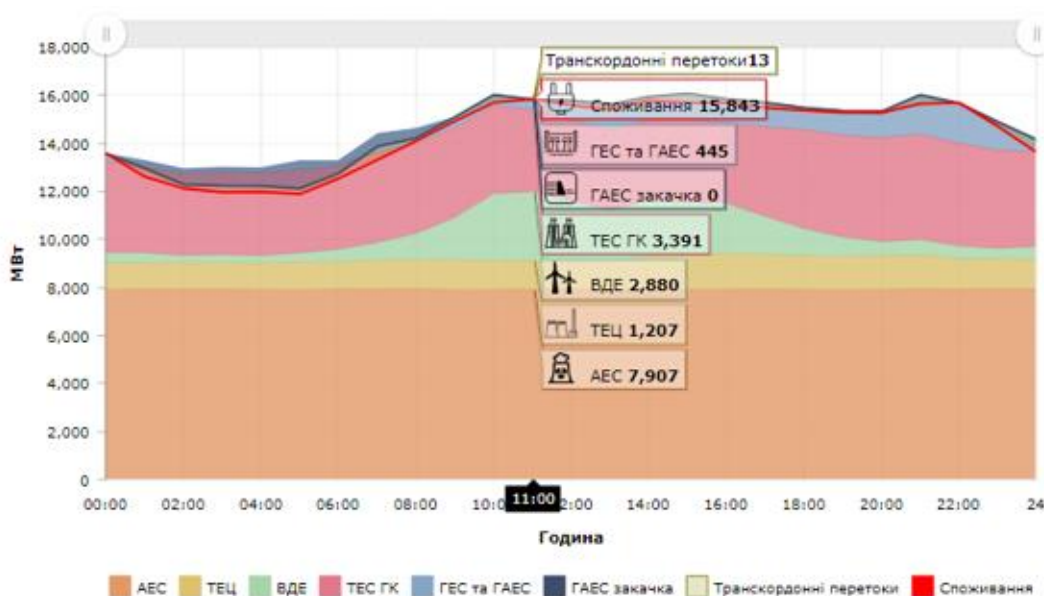


Рисунок 4.3 – Добовий графік виробництва/споживання е/е за 13.07.2020

З рисунку 4.3 бачимо нестабільність роботи відновлювальних джерел енергії, а саме зниження генерації від ВДЕ о 13:00, що спричинило збільшення потужності генерування ГЕС та ГАЕС. Для підтримки стабільної роботи енергосистеми потрібно залучати і інші високоманеврені потужності, такі як газотурбінні електростанції.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Забезпечення безпечних умов праці є основною пріоритетною задачею з моменту заснування нашої компанії. Ми вважаємо життя та здоров'я наших працівників найвищою цінністю і прикладаємо значні зусилля для їх захисту. Питання безпеки праці включає всіх, починаючи з членів Наглядової ради і закінчуючи звичайними співробітниками. Кожного року ми проводимо комплекс заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці та зниження рівня професійного травматизму. Нам необхідні всі необхідні фінансові ресурси для цього.

Основні напрями інвестицій в галузі охорони праці та промислової безпеки залишаються незмінними та включають:

- створення безпечних робочих умов на всіх робочих місцях;
- забезпечення працівників ефективними засобами індивідуального захисту;
- навчання та підвищення рівня знань персоналу з питань безпеки праці;
- забезпечення медичного обслуговування персоналу;
- узгодження основних фондів з вимогами нормативно-правових актів з охорони праці.

На сьогоднішній день, розвиток культури безпеки праці серед всього персоналу та посилення лідерських якостей і прихильності керівників до питань безпеки є ключовими напрямками. Для досягнення цих цілей, була розроблена спеціальна програма ініціатив з охорони праці, яка активно впроваджується у всіх бізнес-блоках компанії. Протягом реалізації цієї програми проводиться постійний моніторинг на рівні Правління та Наглядової Ради, щоб забезпечити ефективність та успішність програми.

Головна мета роботи над підвищенням безпеки праці на виробництві полягає у захисті працівників і запобіганні виникненню надзвичайних ситуацій. Це досягається шляхом використання всіх доступних можливостей. З

одного боку, це включає впровадження нових стандартів техніки безпеки для забезпечення

безпечних умов праці. З іншого боку, використовуються мотиваційні інструменти для стимулювання дотримання правил безпеки. Це може включати розробку системи заохочень та винагород за безпечну поведінку на робочому місці.

З метою підвищення відповідальності працівників у галузі безпеки праці на ГТЕС, застосовуються жорсткі правила, згідно з якими порушники несуть дисциплінарну відповідальність, включаючи можливість звільнення.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Електроустановками називається комплекс технічних засобів, що включає машини, апарати, лінії передачі, споруди та приміщення, спеціально призначені для виробництва, трансформації, передачі, розподілу електричної енергії та її перетворення в інші види енергії. Електроустановки включають в себе всі необхідні компоненти і обладнання, необхідні для безпечної та ефективної роботи з електричною енергією, і зазвичай складаються з розподільних шаф, генераторів, трансформаторів, кабелів, перемикачів, захисних пристроїв та інших компонентів, які використовуються для забезпечення потреб у електроенергії.

Діюча електроустановка визначається як електроустановка або її частина, яка знаходиться під напругою або на яку може бути подана напруга в будь-який момент шляхом увімкнення комутаційних апаратів. Вона також включає повітряну лінію, яка знаходиться в зоні дії зазначеної напруги або перетинається з існуючою повітряною лінією. У діючій електроустановці існує потенційна небезпека від електричного струму, оскільки вона знаходиться в стані готовності до роботи та може негайно увімкнутися. Отже, виконання відповідних заходів безпеки є особливо важливим при роботі з діючими електроустановками.

Електроустановки, які не мають захисту від впливу атмосфери будівлею і

знаходяться на відкритому повітрі, називаються відкритими або зовнішніми електроустановками. Ці електроустановки можуть бути захищені тільки за допомогою навісу, сітчастої огорожі або інших захисних засобів, які надають обмежений захист від зовнішніх впливів. Оскільки вони знаходяться під відкритим небом, ці електроустановки можуть бути піддані впливу атмосферних умов, таких як опади, вітер, сонячне випромінювання і т.д.

Електроустановки, розташовані всередині будівель і захищені від атмосферних впливів, називаються закритими або внутрішніми електроустановками.

Згідно з вимогами щодо електробезпеки, електроустановки поділяються на дві категорії залежно від напруги: електроустановки з напругою до 1000 В та електроустановки з напругою понад 1000 В.

Керівник підприємства має зобов'язання забезпечити безпечну експлуатацію електроустановок працівниками. Ось деякі конкретні обов'язки керівника у цьому контексті:

- забезпечити належний рівень охорони праці та безпеки електроустановок на робочих місцях;
- здійснювати систематичні перевірки стану електроустановок, включаючи проведення технічного обслуговування та ремонту;
- розробити та впровадити відповідні інструкції та процедури безпеки для експлуатації електроустановок;
- забезпечити, щоб працівники отримували необхідну підготовку та навчання з питань безпеки електрообладнання та процедур, пов'язаних з його експлуатацією;
- переконатися, що працівники мають доступ до необхідних засобів індивідуального захисту та знають, як їх правильно використовувати;
- встановити процедури реагування на аварійні ситуації та надати необхідні інструкції стосовно евакуації та надання першої допомоги;

забезпечити виконання всіх вимог і нормативів, пов'язаних з безпекою експлуатації електрообладнання, включаючи дотримання норм технічної

безпеки та електробезпеки.

Ці обов'язки допомагають забезпечити безпечні умови роботи з електрообладнанням та мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій та травматизму серед працівників.

Під час експлуатації електроустановок необхідно дотримуватись вимог, що встановлені Правилами пожежної безпеки в Україні, з метою забезпечення пожежної безпеки.

Особа, відповідальна за електрогосподарство, повинна вживати ряд організаційних і технічних заходів з охорони праці для забезпечення безпеки працівників.

Організаційні заходи:

1. розробка та впровадження політики охорони праці, що передбачає встановлення чітких правил, процедур і стандартів безпеки в електрогосподарстві;
2. проведення оцінки ризиків для виявлення потенційних небезпек і розробка плану заходів щодо усунення цих ризиків;
3. проведення навчання та підготовки працівників з питань безпеки робіт з електроустановками, включаючи правила безпеки, процедури експлуатації та ремонту;
4. встановлення системи контролю за дотриманням правил безпеки, включаючи проведення регулярних перевірок, аудитів та оглядів стану електроустановок;
5. забезпечення наявності необхідних документів, включаючи інструкції з безпеки, паспорти електроустановок та документи, що підтверджують проведення регулярного технічного обслуговування та перевірок.

Технічні заходи:

1. встановлення та регулярне обслуговування безпечних електроустановок, що відповідають вимогам нормативних документів;
2. забезпечення надійності електрообладнання шляхом використання

відповідних заходів захисту, таких як автоматичні вимикачі, розрядники, захисні пристрої тощо;

3. проведення періодичних перевірок електроустановок на виявлення можливих несправностей, перегляду і ремонту обладнання, а також калібрування параметрів електричних мереж (напруга, струм, опір тощо) для забезпечення їх нормальної роботи;

4. встановлення систем аварійного відключення та захисту від перевантажень та короткого замикання;

5. постійний моніторинг та вимірювання електричних параметрів для виявлення можливих проблем та запобігання аваріям;

6. забезпечення правильного заземлення електроустановок для забезпечення безпеки в разі виникнення непередбачених струмів;

7. регулярне обслуговування та перевірка електричного інструменту та обладнання для підтримання його надійності та безпеки в роботі.

Окрім особи, яка є відповідальною за електрогосподарство, виконання вимог безпеки покладається на весь електротехнічний персонал, який має допуск до експлуатації електроустановок.

Працівники, які порушили вимоги Правил пожежної безпеки (ПБЕ), підлягають відстороненню від роботи та несуть відповідальність згідно з чинним законодавством, що може бути дисциплінарною, адміністративною або навіть кримінальною.

5.2 Технічні рішення з гігієни і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

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

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою ($t^{\circ}\text{C}$) і відносною вологістю повітря ($W, \%$), швидкістю його переміщення (м/с), потужністю теплових випромінювань (Вт/м^2). При

цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та граничне допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони Тяжкість роботи розділяється на категорії в залежності від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота оператора технологічної лінії відноситься до легкої фізичної роботи - категорія Ia, бо оператор практично весь свій робочий час проводить сидячи. Нормування проводиться відповідно до основних параметрів мікроклімату: t , °C - температура; W , % - відносна повітря; швидкість переміщення повітря (м/с). Параметри мікроклімату в кабіні крана наведено в таблиці 6.1

Таблиця 5.1 Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Допустимі параметри		
		t , °C	W , %	V , м/с
Теплий	Легка Ia	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	Легка Ia	21-25	75	до 0,1

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

- в холодну пору року використання системи водяного опалення від котельні заводу;
- в літню пору застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву;
- провітрювання кабіни.

При цьому варто відзначити, що при спалюванні твердого палива на котельні заводу, остання є джерелом шкідливих викидів пилю газоподібної суміші у атмосферу. Тому для зменшення її навантаження на навколишнє середовище та підвищення ККД використання органічного палива рекомендується

використання фізичних методів очистки промислових пило газових сумішей із застосуванням вітротурбін.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

В процесі експлуатації технологічної лінії на робочому місці оператора можливе забруднення повітря робочої зони.

Процес роботи протягом зміни супроводжується значною зміною концентрації іонів у повітрі робочої зони. Концентрація легких позитивних іонів різко збільшується, а середніх та важких негативних іонів знижується.

Для організму людини пил є небезпечним, тому що погано затримується слизовими оболонками верхніх дихальних шляхів і потрапляє далеко в легеневу тканину. Це призводить до атрофічних, гіпертрофічних, гнійних, виразкових та інших змін слизових оболонок, бронхів, легень, шкіри, що веде до катару верхніх дихальних шляхів, виразкового захворювання носової перетинки, бронхіту, пневмонії, кон'юнктивіту, дерматиту та іншим захворюванням.

Побічна дія пилу на людину полягає в тому, що при підвищеній запиленості повітря змінюється спектр інтенсивності сонячної радіації, знижується освітленість.

Нормативні значення рівнів позитивних і негативних іонів в приміщенні при роботі на ЕОМ приведені до таблиці 6.2

Таблиця 5.2 Допустимі рівні іонів та концентрація шкідливих речовин

Число іонів в 1 см ³ повітря	n ⁺	400 - 50000
	n ⁻	600 - 50000
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м ³	0,5-0,15

Для забезпечення складу повітря робочої зони проектом передбачені такі рішення: обладнане місцевою витяжною вентиляцією.

5.2.3 Виробниче освітлення

Серед чинників зовнішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі праці, світлу відводиться одне із чільних місць. Адже відомо, що майже 90% всієї інформації про довкілля людина отримує через органи зору.

Вплив світла на життєдіяльність людини вивчений досить добре. Воно впливає не лише на функцію зору, а й на діяльність організму в цілому: посилюється обмін речовин, збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу. Відомий сприятливий вплив природного освітлення на скелетну мускулатуру.

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення.

Освітлення виробничих приміщень характеризується кількісними та якісними показниками. До основних кількісних показників відносяться: світловий потік, сила світла, яскравість і освітленість. До основних якісних показників зорових умов роботи можна віднести: фон, контраст між об'єктом і фоном, видимість.

Для створення сприятливих умов зорової роботи, які б виключали швидку втомлюваність очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення повинно відповідати таким вимогам:

- створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;
- не повинно бути засліплюючої дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частотої переадаптації

органів зору;

- не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);
- повинен бути достатній, для розрізнення деталей, контраст поверхонь, що освітлюються;
- не створювати небезпечних та шкідливих виробничих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпечне ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпека світильників);
- повинно бути надійним і простим в експлуатації, економічним та естетичним.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути природним, штучним і суміщеним.

Природне освітлення

Природне освітлення має важливе фізіолого-гігієнічне значення для працюючих. Воно сприятливо впливає на органи зору, стимулює фізіологічні процеси, підвищує обмін речовин та покращує розвиток організму в цілому. Сонячне випромінювання зігріває та знезаражує повітря, очищуючи його від збудників багатьох хвороб (наприклад, вірусу грипу). Окрім того, природне світло має і психологічну дію, створюючи в приміщенні для працівників відчуття безпосереднього зв'язку з довкіллям.

Природному освітленню властиві і недоліки: воно непостійне в різні періоди доби та року, в різну погоду; нерівномірно розподіляється по площі виробничого приміщення; при незадовільній його організації може викликати засліплення органів зору.

Природне освітлення поділяється на бокове (одно- або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє, що здійснюється через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване – поєднання верхнього та бокового освітлення.

На рівень освітленості приміщення при природному освітленні впливають такі чинники: світловий клімат; площа та орієнтація світлових

отворів; ступінь чистоти скла в світлових отворах; пофарбування стін та стелі приміщення, глибина приміщення; наявність предметів, що заступають вікно як зсередини, так і ззовні приміщення.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні. При періодичному нагляді за ходом виробничого процесу під відкритим небом ділянці освітленість повинна складати не менше 50 лк. Оскільки в приміщенні знаходяться вимірювальні прилади та система управління, то їх освітленість має складати 300 лк. Рівень аварійного освітлення складає 15 % освітленості основної роботи.

Приміщення оператора забезпечене природним освітленням в світлий період доби, але в темний період постає потреба в штучному освітленні.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці кабіни. Приміщення відноситься до розряду зорової праці, розряду середньої точності. Наведемо норми при штучному та комбінованому освітленні в таблиці 5.3

В приміщенні кабіни, особливо в зимовий період, коли світловий день досить короткий, природного освітлення може бути недостатньо, тому використовується місцеве штучне освітлення. Штучне освітлення здійснюється з використанням пристрою для автоматичного управління учбових та виробничих приміщень (патент України №70907 від 25.06.2012р.), що автоматично підтримує необхідний рівень освітленості приміщення.

Нормоване значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) для даного виробничого приміщення розраховується за формулою:

$$e_N = e_n \cdot m_N, \quad (5.1)$$

де e_n - коефіцієнт природного освітлення (1,5);

m_N - коефіцієнт світлового клімату (0,85, при орієнтації вікон на схід або південь).

$$e_N = 1,5 \cdot 0,85 = 1,275 (\%).$$

Таблиця 5.3 Норми освітленості робочих поверхонь у виробничих приміщеннях

Характеристика зорової роботи		Малої точності
Мінімальний розмір об'єкту розпізнавання, мм		1 - 5
Розряд зорової роботи		V
Підрозряд зорової роботи		б
Контраст об'єкту розпізнавання з фоном		Середній
Характеристика фону		Темна
Штучне освітлення	Загальне	150
	Комбіноване	200
КЕО		
Природне освітлення		1
Сумісне освітлення		0,6

Для підтримання на робочій поверхні раціонального освітлення а також надійної і безперебійної роботи освітлювальних приладів виконується якісне обслуговування:

- очищення скла кабіни оператора від пилу і налиплих частинок бруду;
- очищення пристроїв штучного освітлення;
- проведення профілактичних оглядів;
- швидкий ремонт зламаного обладнання.

5.2.4 Виробничий шум

Шум є результатом безладного поєднання звуків різної частоти та інтенсивності. Він виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких та газоподібних середовищах. Основним джерелом шуму на технологічній лінії є обертові частини та електричні двигуни, які виробляють шум, що поширюється як у повітрі (повітряний шум), так і передається через конструкції

(структурний шум).

Довготривала дія інтенсивних шумів може призвести до часткової, а іноді і повної втрати слуху. Шум є причиною зниження працездатності, ослаблення пам'яті, уваги, гостроти зору, що може призвести до травматизму та аварії під час роботи лінії.

Основне значення в розвитку шумової патології має інтенсивність шуму, а також його частотний склад, тривалість щоденного впливу, індивідуальна чутливість. У деяких людей суттєве ушкодження слуху може настати протягом перших місяців впливу, у інших зниження слуху розвивається поступово протягом всього періоду роботи в шумних умовах. Шум з рівнем тиску до 30 - 35 дБ не турбує людину. Підвищення рівня звукового тиску до 40 - 70 дБ зумовлює значне навантаження на нервову систему, спричиняючи погіршення самопочуття, зниження продуктивності праці особливо розумової.

Для постійного шуму допустимі рівні звуку приведені в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 Допустимі рівні шуму

Робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ в однакових смугах з середньогеометричними частотами							
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000
Робочі місця за пультом в кабінах	103	91	83	77	73	70	69	66

Якщо вимірний спектр шуму на деяких частотах перевищує граничнодопустимий спектр, то висновок про відповідність виміряного шуму граничнодопустимому роблять порівнюючи рівні звукового тиску в дБ.

Мета захисту людини від шуму – зниження рівнів звукового тиску до величини, що не перевищує гранично допустимих значень. Для зниження шуму робочого органу проектом пропонуються такі методи:

- забезпечення звукоізоляції кабіни оператора;
- акустична обробка місця розташування електричних машин звукопоглинальним матеріалом;
- зменшення шуму на шляху його розповсюдження. Шум на шляху його розповсюдження зменшують застосуванням звукопоглинальних перешкод, огорож, кожухів, екранів.

5.2.5 Виробнича вібрація

В охороні праці вібрацією називають механічні коливання системі (обладнання, пристрою, інструменту та ін.), які сприймаються в безпосередньому: контакті людини з поверхнею, що вібрує.

Основним джерелом вібрації в технологічній лінії виступають двигуни. Виробнича вібрація виступає як шкідливе явище відносно самих машин, оскільки інтенсифікує зношення, знижує їх надійність та довговічність, підвищує рівні випромінюваного шуму. Розповсюджуючись по конструкціях, вібрація впливає на інші об'єкти, викликає руйнування допоміжних електричних апаратів та приладів крана, погіршує їх роботу.

В разі контакту людини з поверхнями, що вібрують, виникає ряд специфічних негативних проблем – підвищення втомлюваності, підвищення кров'яного тиску, порушення роботи серця, викликає спазми кров'яних судин серця та кінцівок, приводить до зниження працездатності та якості праці, а також розвитку професійного захворювання – віброхвороби. Показник перевищення вібраційного навантаження на оператора визначають за формулою:

$$\Delta L_a = L_{at} - L_{am}, \quad (5.2)$$

де L_{at} - значення спектрального показника вібраційного навантаження на машиніста в конкретних виробничих умовах, дБ;

L_{am} - санітарна норма, для конкретних умов праці, коли тривалість робочої зміни 8 годин, дБ.

Рациональна організація праці за зміну повинна передбачити: тривалість

робочої зміни не більше 8 год; встановлення регламентованих перерв; обідню перерву тривалістю не менше 30 хв. Приблизно всередині міни.

Допустимі рівні вібрації згідно даним приведенні в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 Допустимі значення вібрації

Види вібрації	Октанові полюси з середньо геометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна										
Вібрація на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	1,3 108	0,45 99	0,22 93	0,2 92	0,2 92	0,2 92	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Для колективного віброзахисту використовуються основні методи, такі як зниження вібрації шляхом впливу на джерело виникнення. Це може включати відстрочку від резонансного режиму, динамічне гасіння коливань, заміну конструктивних елементів, уставок і будівельних конструкцій.

Щодо засобів індивідуального захисту, вони поділяються на засоби для ніг, рук та тіла працюючого. Це можуть бути спеціальні амортизуючі підшви для взуття, амортизуючі рукавички або ремені, а також спеціальні підкладки або протигази для захисту тіла від вібраційного впливу.

5.3 Дослідження безпеки роботи газотурбінних електростанцій в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Електростанції є важливими об'єктами для надання безперебійного електропостачання військовим частинам та цивільному населенню. Через свою значущість, під час воєнних дій, вони можуть бути високопріоритетними цілями для ворожих бомбардувань з метою підриву обороноздатності країни. Це може призвести до потрапляння електростанцій у зону дії іонізуючого випромінювання та електромагнітного імпульсу.

Вплив радіації на матеріали та обладнання залежить від типу випромінювання, дози опромінення та умов навколишнього середовища. Електронне обладнання, яке використовується в системах контролю та управління, є особливо чутливим до іонізуючого випромінювання. В технологічній лінії виробництва вершкового масла таким обладнанням можуть бути блоки живлення, транзистори, сенсори та інше. В результаті впливу радіації у цих системах можуть виникати замикання, що може призвести до їх неправильної роботи або вийти з ладу.

Після опромінення радіацією, системи можуть відчувати зміни в струмі, коефіцієнтах підсилення регуляторів, напрузі пробою та опорі витoku конденсаторів, провідності та внутрішнього нагрівання. Тому важливо приділити увагу запобіганню впливу цього фактору на електричне та електронне обладнання.

Електромагнітний імпульс великої напруженості поля також є серйозною загрозою для обладнання. Його вплив перш за все призводить до виходу з ладу низьковольтних вторинних колів, що може спричинити повний вихід системи з ладу.

5.3.1 Дослідження безпеки роботи в умовах дії ІВ

Іонізуюче випромінювання або іонізуюча радіація включає потоки електромагнітних хвиль або частинок речовини, які при взаємодії з речовиною здатні утворювати в ній іони. До іонізуючого випромінювання відносяться альфа-, бета-, гамма-промені, рентгенівське випромінювання, а також інші високоенергетичні заряджені частинки, такі як протони та іони, отримані у прискорювачах. Нейтрони не іонізують атоми речовини при проходженні через неї, але іонізація відбувається внаслідок вторинних процесів, таких як поглинання нейтронів ядрами, вибивання протонів або розпад нейтронів на протон та електрон або на антипротон та позитрон.

Максимально допустимий потік нейтронів Φ_n , експозиційна доза D_γ або потужність експозиційної дози P_γ гамма-випромінювання є критерієм стійкості роботи електронних і електронно-оптичних систем і приладів під час впливу проникаючої радіації і радіоактивного зараження. Ці значення вказують на рівень радіаційного впливу, при якому починаються зміни параметрів елементів, але робота системи ще не порушується. Вимірювання Φ_n , D_γ або P_γ дозволяють оцінити ступінь впливу радіації на систему і забезпечити її стабільну та надійну роботу в умовах радіаційного середовища.

Оцінку безпеки проводять в такій послідовності:

1. Визначаємо елементи від яких залежить функціонування системи електропостачання з потрібною якістю;
2. Визначаємо граничні значення експозиційних доз ($D_{гр}$, P) і заносимо до таблиці 5.6.
3. По мінімальному значенні $D_{гр}$, визначаємо межу стійкості приладу в цілому по системі електропостачання: $D_{гр}=10^3 P$.
4. По мінімальному значенні $D_{гр}$, визначаємо межу стійкості приладу в цілому по системі електропостачання: $D_{гр}=10^3 P$.

Визначаємо можливу дозу опромінення: для блоку управління:

$$D_{гр} = \frac{2 \cdot P_{1max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{II}})}{K_{осл}}, \quad (5.3)$$

де P_{1max} – максимальне значення рівня радіації (8,2 Р/год), яке очікується на об'єкті через встановлений час $t_k=87600$ годин (10років);

$K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, ($K_{осл} = 1$).

Для блоку живлення:

$$D_{гр} = \frac{2 \cdot 8,2 \cdot (\sqrt{87600} - \sqrt{1})}{1} = 3743,45 \quad (P)$$

Оскільки $D_{гр} < D_m$, тому електрична мережа є не стійкою.

За умови що $D_{гр} < D_m$, робота системи керування не є стійкою, а дія іонізуючого випромінювання викликатиме збої. Потребу у підвищенні стійкості, можна задовільнити розмістивши в приміщенні з $K_{осл}=4$.

Таблиця 5.6 Граничні значення експозиційних доз

№	Блоки	Елементи РЕА	$D_{i гр}, P$	D_{ip}, P	$D_{гр}, P$
1	Блок управління	Автоматичні вимикачі	10^5	10^3	10^3
		Транзистори	10^5		
		Резистори	10^3		
		Мікросхеми	10^5		
		Сенсори	10^4		
2	Блок живлення	Нормований перетворювач напруги	10^5	10^4	10^3
		Діоди	10^4		
3	Блок підсилення	ПД-регулятор швидкості	10^5	10^5	10^3
		Конденсатори К73-17-2.4мкФ	10^5		

5.3.2 Дослідження безпеки роботи системи в умовах дії ЕМІ

При оцінці впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) на струмопровідні елементи, важливо враховувати, що ЕМІ мають горизонтальну та вертикальну складові напруженості електричного поля. Тому необхідно визначати значення напруги на вертикальних та горизонтальних ділянках ліній, зокрема на 1 –

блоку управління, 2 – блоку живлення та 3 – блоку підсилення.

За критерієм стійкості роботи електронних, енергетичних систем або окремих їх елементів в умовах дії електромагнітного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки:

$$KB_{(B,\Gamma)} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{\text{доп}}}{U_{(B,\Gamma)}} \right), \quad (5.4)$$

де $U_{\text{доп}}$ – допустиме коливання напруги живлення (В); $U_{(B,\Gamma)}$ – напруга, наведена за рахунок електромагнітних випромінювань у вертикальних струмопровідних частинах (В).

На кожній ділянці визначаємо максимальну довжину вертикальної та горизонтальної струмопровідної частини:

$$l_{B1} = 1,4 \text{ м}; l_{B2} = 1,5 \text{ м}; l_{B3} = 1,3 \text{ м};$$

$$l_{\Gamma1} = 1,2 \text{ м}; l_{\Gamma2} = 1,3 \text{ м}; l_{\Gamma3} = 1,1 \text{ м}.$$

Стійкість роботи системи в цілому визначається мінімальними значеннями коефіцієнта безпеки через те, що окремі елементи цих систем можуть мати різні значення коефіцієнтів безпеки.

Визначаємо допустиму напругу живлення:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (5.5)$$

де $U_{\text{ж}}$ - напруга живлення (В);

N – допустимі коливання (%).

Значення допустимих напруг:

- для блоку управління – 231 (В)
- для блоку живлення – 399 (В)
- для блоку підсилення – 12,6 (В)

Визначаємо горизонтальну складову напруженості:

$$E_{\Gamma} = E_{B} \cdot 10^{-3} = 11,4 \cdot 10^{-3} = 11,4 \text{ (В/м)}.$$

За наступною формулою визначаємо напруги ЕМІ:

$$U_{\Gamma} = E_{\Gamma} \cdot l_{\Gamma}, \quad (5.6)$$

$$U_{\text{В}} = E_{\text{В}} \cdot l_{\text{В}}, \quad (5.7)$$

Та за формулою (5.4), заносимо дані в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 Розрахунок напруженостей наводки у струмопровідних частинах

№	Блоки елементів РЕА	E_{Γ} , кВ/м	$E_{\text{В}}$, кВ/м	КБ $_{\Gamma}$,дБ	КБ $_{\text{В}}$,дБ	U_{Γ} , кВ	$U_{\text{В}}$, кВ
1	Блок управління	$11,4 \cdot 10^{-3}$	11,4	83,76	22,78	0,16	15,96
2	Блок живлення	$11,4 \cdot 10^{-3}$	11,4	89,09	27,35	0,014	17,1
3	Блок підсилення	$11,4 \cdot 10^{-3}$	11,4	60	-1,83	0,012	14,82

Зважаючи на вплив електромагнітного випромінювання, система стає нестійкою. У зв'язку з цим, для забезпечення надійності системи важливо прийняти заходи щодо модернізації технологічної лінії з метою підвищення її стійкості.

5.4 Розробка заходів по забезпеченню безпеки роботи пристроїв в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Для підвищення стійкості системи до дії ІВ достатньо вжити заходів до збільшення коефіцієнту ослаблення капітальних стін до «4».

Для того, щоб технологічна лінія була стійкою в умовах дії ЕМІ, необхідно, щоб коефіцієнт безпеки знаходився в межах від 0 до 40 (дБ). Так як по вертикальній складовій для усіх розглянутих блоків $КБ_{\text{В}} < 40$ дБ то апаратура буде нестійкою у роботі і необхідно застосовувати екранування.

Будемо використовувати захисті екрани зі сталі. Розрахуємо перехідні затухання енергії електричного поля екранами та товщини стінок екранів для блоку управління. Результати розрахунків для інших блоків виконуються аналогічно і представлені в таблиці 5.8.

$$A = K_{\text{Б.ном}} + K_{\text{Б.мін}}, \quad (5.8)$$

де $K_{\text{Б.ном}}$ - номінальний коефіцієнт безпеки ($K_{\text{Б.ном}} = 40$ дБ);

$K_{\text{Б.мін}}$ - мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунку.

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.9)$$

де f – найбільша частота при ЕМІ ($f = 15$ кГц).

Таблиця 5.8 Дані розрахунку захисного екрану по різним блокам

№	Блоки елементів РЕА	$A_{\text{екр}}$, (дБ)	T_1 , (см)
1	Блок управління	17,22	0,027
2	Блок живлення	12,65	0,02
3	Блок підсилення	41,83	1

Для забезпечення стійкості системи до ЕМІ, рекомендується вжити такі заходи: встановити захисний екран зі сталі, який має стінки товщиною 1 (см), на входах і виходах пульта управління; також встановити швидкодіючий пристрій вимкнення. Ці заходи допоможуть забезпечити надійну роботу автоматичних систем навіть в умовах, коли впливають іонізуюче випромінювання та електромагнітний імпульс, забезпечуючи їх працездатність.

ВИСНОВОК

У роботі проведено аналіз сучасного стану генеруючих потужностей ОЕС України. Виявлено основні проблеми - застарілість обладнання, низька гнучкість, залежність від імпорту палива.

Запропоновано розвиток розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій як один з найперспективніших напрямків. Розглянуто їх переваги - маневреність, швидкий запуск, використання вітчизняного палива.

Досліджено можливості підвищення надійності ОЕС за рахунок ГТЕС. Розроблено математичну модель для оцінки впливу розосередженої генерації.

Проаналізувавши об'єднану енергетичну систему України, в якій частка АЕС та ТЕС складає близько 80%, варто відзначити необхідність якнайшвидшої модернізації маневрових генеруючих потужностей, на тлі проблем викликаних воєнними діями. Врахувавши техніко-економічні показники ГТЕС, стан електроенергетичного сектору та його ролі в економіці України, запропоновано використання ГТЕС, як пріоритетний елемент балансування електричної енергії, що зможе покривати потреби добового графіку відповідно до ситуації. В результаті проведеного дослідження відповідно до мети роботи було проаналізовано методи підвищення надійності роботи ОЕС України з використанням газотурбінних електростанцій і визначено актуальність газотурбінної маневрової генерації, як можливість за короткий проміжок часу забезпечити необхідну стабільність роботи енергосистеми ОЕСУ. Оскільки світова тенденція на "зелену енергетику" стає з кожним роком все актуальніша, та зважаючи на особливості структури генеруючих потужностей ОЕС України, що робить впровадження ВДЕ у енергосистему складним технічним завданням, виникає доречність використання власної науково-дослідної та виробничо-технічної спроможності в галузі газотурбінних технологій, що сприятиме інвестиційній привабливості економіки, поліпшенню ситуації на ринку праці, розвитку водневих технологій тощо. Впровадження газотурбінних технологій може забезпечити енергетичну

безпеку України, та покрити потреби в енергоносіях. Вартість генерації при цьому буде залежати від багатьох економічних чинників у забезпеченні реалізації даної технології.

Таким чином доведено ефективність розвитку ГТЕС для підвищення надійності ОЕС України. Рекомендовано при формуванні стратегії розвитку ОЕС передбачити збільшення частки газотурбінних електростанцій до 30% від загальної потужності ВДЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. План розвитку Об'єднаної енергетичної системи України на 2016-2025 роки – Режим доступу - <http://surl.li/nvgqo>
2. Проект Плану відновлення України: Матеріали робочої групи «Енергетична безпека» – Режим доступу - <http://surl.li/dfwrr>
3. Ефективність запровадження швидкодіючих маневрових електростанцій в енергосистему в умовах активного розвитку відновлювальних джерел енергії / В.О. Лесько, Д.В. Колотило, В.В. Нетребський – Матеріали конференції «L Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2021)», Вінниця, 2021. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 3 с.
4. Газотурбінні електростанції в Об'єднаній енергетичній системі України в умовах інтеграції до Європейської мережі операторів системи передачі енергії/ Д.В. Колотило, В.О. Лесько, А.О. Гресько , В.В. Кравець – Матеріали конференції «LI Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2022)», Вінниця, 2022. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 3 с.
5. Застосування водневого палива у швидкодіючих маневрових газотурбінних електростанціях для покриття пікових навантажень в ОЕС України: досвід Японії / Д.В. Колотило, В.О. Лесько, Ю.В. Малогулко – Матеріали конференції «КУСС-2022», Вінниця, 2022. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 3 с.
6. Дієва експлуатація газотурбінних електростанцій / Д.В. Колотило, В.В. Тептя «LII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2023)», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 3 с.
7. Роль обслуговуючого персоналу в експлуатації газотурбінних електростанцій / Д.В. Колотило, В.В. Тептя «LII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2023)», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. URL: – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 3 с.
8. Лежнюк П.Д. Оперативне діагностування високовольтного обладнання в задачах оптимального керування режимами 107 електроенергетичних систем / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, О.В. Нікіторович // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 35–36.
9. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей – 2019 НЕК «УКРЕНЕРГО» – Режим доступу - <http://surl.li/flfaz>

10. Міністерство енергетики: історія енергетики – Режим доступу - <http://surl.li/oevuw>
11. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text>
12. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>
13. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>
14. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1002-01#Text>
15. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2127-13#Text>
16. URL: [https://expro.com.ua/statti/loran-shmtt-ukrana-neodmnno-vigra-
vd-ntegrac-v-entso-e-na-fon-zrostayucho-dol-vde](https://expro.com.ua/statti/loran-shmtt-ukrana-neodmnno-vigra-
vd-ntegrac-v-entso-e-na-fon-zrostayucho-dol-vde)
17. URL: [https://ua-energy.org/uk/posts/balans-elektroenerhii-2022-shcho-
zminytsia](https://ua-energy.org/uk/posts/balans-elektroenerhii-2022-shcho-
zminytsia)
18. URL: [https://energy-security.org.ua/2020/07/vykorystannya-
gazoturbinyh-tehnologij-klyuch-do-energetychnoyibezpeky-ukray](https://energy-security.org.ua/2020/07/vykorystannya-
gazoturbinyh-tehnologij-klyuch-do-energetychnoyibezpeky-ukray)
19. URL: <http://surl.li/oevvk>
20. URL: <http://surl.li/oevvq>
21. URL: <http://surl.li/oevvv>
22. URL: <http://surl.li/oevwf>
23. URL: <http://surl.li/oevwh>
24. URL: <http://surl.li/oevwn>
25. URL: <http://surl.li/oevwo>
26. URL: <http://surl.li/oevwy>
27. URL: <http://surl.li/oevwy>
28. URL: <http://surl.li/oevxc>
29. URL: <http://surl.li/oevwo>
30. URL: <http://surl.li/oevxcg>

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ

ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ

ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Розвиток розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій, як умова підвищення надійності роботи Об'єднаної енергетичної стсьеми України»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unischek

Оригінальність _____ Схожість _____

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Вишневський С. Я.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unischek щодо роботи.

Автор роботи _____
(підпис)

Колотило Д. В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Лесько В.О.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б

Технічне завдання МКР

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В.О.
(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

_____ (підпис)

" _____ " _____ 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

**Розвиток розосередженої генерації у вигляді газотурбінних
електростанцій, як умова підвищення надійності роботи**

Об'єднаної енергетичної системи України

08-21.МКР.018.00.004 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н.

_____ Лесько В. О.
(підпис)

Магістр групи ЕС-22м

_____ Колотило Д. В.
(підпис)

Вінниця 2023 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) Актуальність досліджень.

Електроенергетика є базовою галуззю економіки України, від якої залежить ефективне функціонування всіх секторів промисловості та комунальної інфраструктури. Надійне та безперебійне постачання електроенергії є критично важливим для національної безпеки.

Однак наразі Об'єднана енергетична система України характеризується фізичним та моральним зносом генеруючих потужностей. Це збільшує ризики системних аварій та великомасштабних збоїв в електропостачанні.

Розвиток розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій (ГТЕС) може суттєво поліпшити надійність ОЕСУ, підвищити енергетичну безпеку регіонів та дати значний поштовх до модернізації галузі.

б) наказ ректора ВНТУ № 247 від 18 вересня 2023 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

а) Мета даної магістерської кваліфікаційної роботи - дослідження впливу розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій (ГТЕС) на підвищення надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України (ОЕСУ);

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. Лежнюк П.Д. Оперативне діагностування високовольного обладнання в задачах оптимального керування режимами 107 електроенергетичних систем / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, О.В. Нікіторович // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 35–36.

2. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво «Форт», 2017. 760 с.

3. Проект Плану відновлення України: Матеріали робочої групи «Енергетична безпека»– Режим доступу - <http://surl.li/dfwrr>

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Передбачається використання газотурбінних електростанцій для підвищення надійності роботи ОЕС України.

5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники роботи газотурбінної електростанції і на основі їх аналізу зробити висновок про використання такої станції, в тому числі з використанням водневого палива.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	21.09.23	23.09.23	формування технічного завдання
2	Огляд сучасного стану та проблем генеруючих потужностей в Об'єднаній енергетичній системі України	24.09.23	29.09.23	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Теорія розвитку розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій, як умова підвищення надійності роботи Об'єднаній енергетичній системі України	30.09.23	10.10.23	розділ 2 ПЗ
4	Системне значення газотурбінних електростанцій в енергосистемі	11.10.23	28.10.23	розділ 3 ПЗ
5	Техніко-економічна частина	29.10.23	05.11.23	розділ 4 ПЗ
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	06.11.23	12.11.23	розділ 5 ПЗ
7	Оформлення пояснювальної записки	13.11.23	21.11.23	розділ 6 ПЗ
8	Виконання графічної/ілюстративної частини та оформлення презентації	22.11.23	27.11.23	пояснювальна записка
9	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	28.11.23	01.12.23	Результат перевірки на плагіат, відгук керівника
10	Рецензування МКР	01.12.23	04.12.23	Відгук опонента
11	Захист МКР	Перша декада грудня		Доповідь та відповіді на запитання

7. Очікувані результати

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи очікується одержання результатів аналізу перспектив розвитку розосереджених джерел

енергії у вигляді газотурбінних електростанцій, які можуть використовуватись в ОЕС України з метою підвищення надійності її роботи.

8. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР (паперовий екземпляр), ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук опонента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, протокол перевірки МКР на наявність текстових запозичень.

9. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником та завідувачем кафедри ЕСС згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

10. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021 р.

11. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

ДОДАТОК В

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

Розвиток розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій, як умова підвищення надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем

Розвиток розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій, як умова підвищення надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України

МАГІСТЕРСЬКА
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Виконав: студент групи 2ЕС-22м
Д.В. Колотило
Науковий керівник: к.т.н., доцент., доц. кафедри ЕСС
В.О. Лесько



Актуальність та мета роботи

В роботі проведено дослідження впливу розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій (ГТЕС) на підвищення надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України (ОЕСУ). Енергетичний ландшафт ОЕС України вже тривалий час на "низькому старті" напередодні незворотних змін, покликаних на вирішення ряду викликів. Від зношеного енергетичного обладнання та аварійних ситуацій до нестачі маневрових потужностей та їх впливу на надійність роботи енергосистеми. Згідно з дослідженнями, розгортання кампанії з впровадження розосередженої генерації, зокрема газотурбінних електростанцій (ГТЕС) у ОЕСУ, може стати перспективним рішенням не тільки для раціонального підходу до вирішення нагальних потреб енергосистеми, а й для забезпечення фундаменту у досягненні стратегічних цілей як у технологічному, так і безпековому секторі, в тому числі із досягненням цілей сталого розвитку. Оскільки газотурбінні технології відзначаються високою ефективністю, низькими екологічними викидами та здатністю працювати в режимі часткового навантаження, вони можуть стати основою для створення гнучкої та надійної системи генерації електроенергії на відміну від існуючої централізованої моделі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці механізмів підвищення надійності ОЕС України з використанням розосередженої генерації, які дозволяють оптимізувати режими роботи енергетичної системи з метою підвищення її ефективності, за рахунок газотурбінних технологій.



СТРУКТУРА ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ ОЕС УКРАЇНИ



Рисунок 1.1 – Розподіл операційної потужності об'єктів електрогенерації

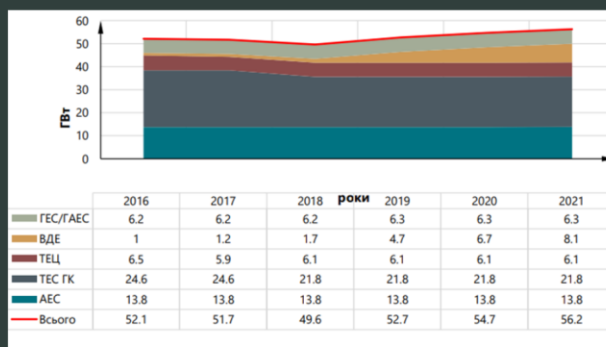


Рисунок 1.2 – Динаміка структури встановленої потужності електростанцій ОЕС України
Примітка: без урахування ТНКТ АР Крим, Донецької та Луганської областей

Основні генеруючі потужності зосереджені на п'яти енергокомпаніях, що експлуатують 14 ТЕС, 3 ТЕЦ, на 4 АЕС ДП "Енергоатом", на 103 гідроагрегатах у складі ПАТ "Укргідроенерго".

Основні генеруючі потужності ОЕС України зосереджені в:

П'ять енергогенеруючих компаній – ПАТ «ДТЕК Дніпроенерго», ПАТ «Донбасенерго», ПАТ «Центренерго», ПАТ «ДТЕК Західенерго», ПАТ «ДТЕК Східенерго», які загалом експлуатують 14 ТЕС із блоками одиничною потужністю 150, 200, 300 і 800 МВт, та на трьох великих ТЕЦ (Харківська ТЕЦ-5, Київські ТЕЦ-5 і 6) з енергоблоками 100 (120) МВт та 250 (300) МВт інших компаній. Загальне число енергоблоків на ТЕС і ТЕЦ становить 106 одиниць, у тому числі потужністю: 100 (120) МВт – 4, 150 МВт – 6, 200 МВт – 42, 250 МВт – 5, 300 МВт – 42, 800 МВт – 7 одиниць;

ДП «НАЕК «Енергоатом», на чотирьох атомних електростанціях якого перебуває в експлуатації 15 енергоблоків, з яких 13 – з реакторами ВВЕР-1000 потужністю по 1 000 МВт і 2 – з реакторами ВВЕР-440 потужністю 415 та 420 МВт. Крім того, на балансі компанії знаходиться Ташлицька ГАЕС, що наразі експлуатує два гідроагрегати та Олександрівська ГЕС (2 гідроагрегати).

ПАТ «Укргідроенерго», яке має у своєму складі каскади гідроелектростанцій на річках Дніпро й Дністер із загальним числом гідроагрегатів – 103 одиниць.

Магістральні та міждержавні електричні мережі ОЕС України нараховують 23,0 тис. км, з них 4,9 тис. км припадає на мережі з напругою 400–800 кВ, 13,4 тис. км – напругою 330 кВ, 4,0 тис. км – напругою 220 кВ і 0,7 тис. км – напругою 35–110 кВ, а також 137 підстанцій загальної трансформаторною потужністю 78,6 тис. МВА.

Розподільчі електричні мережі нараховують близько 1 млн. км повітряних і кабельних ліній електропередачі напругою 0,4–150 кВ і близько 200 тис. трансформаторних підстанцій напругою 6–150 кВ.

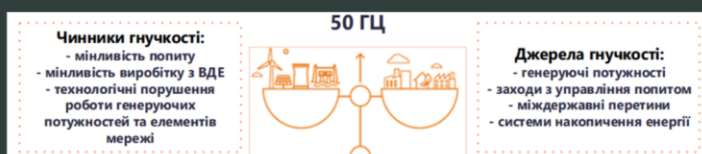


Рисунок 1.3 – Ландшафт гнучкості української електроенергетики

ТЕОРІЯ РОЗВИТКУ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ У ВИГЛЯДІ ГАЗОТУРБІННИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ, ЯК УМОВА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ОЕС УКРАЇНИ

Зазвичай ЕЕС проєктують таким чином, щоб відмова окремих елементів за максимального навантаження не призводила до неприпустимих перевантажень інших елементів чи обмеження частини навантаження. Це детерміністський підхід, який не дає кількісної оцінки надійності. Перспективним є ймовірнісний підхід, що аналізує ймовірності аварійних відключень елементів та їх наслідків.

Інтегральним показником надійності є ризик – добуток наслідку події та ймовірності її появи. Основна складність – оцінка цієї ймовірності. Для ЕЕС зі зношеним устаткуванням доцільно застосовувати методи статистичного моделювання обчислювальних експериментів з імітаційними моделями.

Статистика свідчить про тенденцію до зростання кількості порушень електропостачання відповідальних об'єктів, що пов'язано зі старінням устаткування, погіршенням кліматичних умов тощо. Тому актуальне ефективне управління надійністю і запобігання аваріям. З огляду на зниження надійності через старіння устаткування, зростає роль достовірної оцінки показників надійності та ризику.

Основна частка аварій припадає на електричні мережі. Важлива роль у локалізації аварій належить високовольтним вимикачам. Тому актуальним є прогнозування ресурсу і ймовірності відмови електроустаткування, зокрема вимикачів.

Реалізація концепції Smart Grid значною мірою залежить від технічного стану устаткування та рівня надійності ЕЕС. Важливо визначити елементи з найбільшою ймовірністю відмов, що можуть спричинити ланцюговий розвиток аварії, для їх пріоритетного контролю, прогнозування відмов та запобігання.

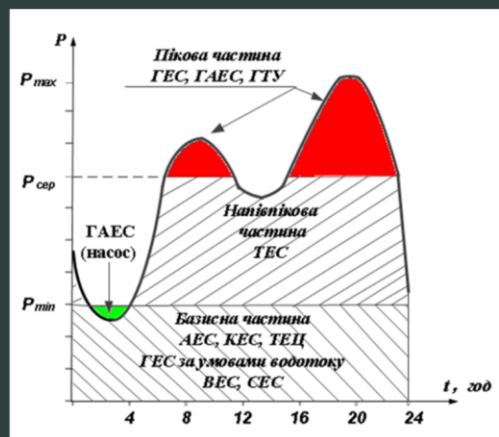


Рисунок 2.1 – Типовий добовий графік навантаження електричної мережі, з покриттями різними типами електростанцій

Застосування газотурбінних електростанцій для підвищення надійності роботи ОЕС України

Газотурбінна електростанція (ГТЕС) – це тип електростанції на базі газотурбінних установок, які зазвичай використовуються, за рахунок швидкого запуску та синхронізацію з мережею, як засіб для балансування мережі, або задля покриття пікових навантажень.

Описані методи застосування ГТЕС, є одними з найраціональніших методів для підвищення надійності української енергосистеми, в покритті та постійній подачі електроенергії протягом усього проміжку добового навантаження.

Причиною підвищення надійності, є швидкодія, забезпечена технічними можливостями газотурбінних двигунів та установок, на базі яких, і будуються згадані ГТЕС.

Важливою перевагою газотурбінних електростанцій є можливість одночасного використання двох видів енергії – електричної і теплової. Причому отримана споживачем кількість виробленої теплової енергії в два-три рази більше, ніж кількість електричної енергії. Такий процес називається когенерацією і стає можливим при модифікації спеціальним обладнанням у вигляді котла утилізатора на вихлопі турбіни.

Використовуючи газотурбінні електростанції, можливо створити автономні децентралізовані енергетичні комплекси, які здатні вирішувати декілька завдань одночасно, включно, але не обмежуючись наведеними:

- Забезпечити електроенергією приватні та промислові об'єкти;
- Перетворити газ із сміттєзвалищ у електроенергію і тепло;
- Обігріти технічні приміщення та житлові корпуси побічним теплом.

Все це дозволяє значно мінімізувати витрати на забезпечення балансу в енергосистемі, створити оптимальні умови для роботи персоналу, сконцентрувати матеріальні засоби і капітал на розширення структури генеруючих потужностей та як наслідок, підвищити надійність ОЕС України

Загальні відомості про розосереджену генерацію ОЕС України

Розосереджена генерація (РГ) – це невеликі за обсягом електричні станції, які знаходяться близько до споживача. В Україні розосереджені джерела енергії (РДЕ), представлені переважно сонячними, вітровими, малими гідроелектростанціями та установками на біопаливі і біогазі, де-не-де представлені газотурбінні електростанції.

В українському контексті, коли мова йде про РДЕ, мають на увазі саме ВДЕ, які використовують для децентралізації виробництва. ВДЕ як вид РДЕ, спрощує негативний вплив на електричну мережу, у вигляді коливань напруги, збільшення кількості вищих гармонік в мережі, дисбалансу потоків потужності тощо. Протилежна ситуація з використанням ГТЕС, як виду РДЕ. Адже притаманні негативні впливи ВДЕ на електричну мережу, у випадку з ГТЕС будуть, або відсутні, або мінімальні. Це пояснюється, за рахунок характеристик газотурбінних електростанцій, які мають кращі показники, ніж більшість відновлювальних джерел енергії.

Також, газотурбінні установки, можуть працювати на паливі з водневими домішками та на водневому паливі, що робить ГТЕС, на базі таких водневих газотурбінних установок, також частиною «зеленої» генерації. Можна припустити, що використання ГТЕС на водневому паливі буде конкурентоспроможним з ВДЕ як виду РДЕ.

Масова тенденція на розбудову потужностей розосередженої генерації в Україні, дозволить щонайменше позбутись небалансів у енергосистемі, а в перспективі – кардинально змінити структуру генеруємих потужностей ОЕС України. Одним з вирішальних чинників єдатися до такої тенденції є успадкований від СРСР замкнений цикл проєктування, виробувань і серійного виробництва газотурбінних двигунів (ГТД) різної потужності й призначення, а також редукторів і газотурбінних установок на базі радянського проєктного бюро "Машпроект" і Підприємств турбінного заводу "Зоря"

Розосереджена генерація відіграє значну роль у функціонуванні ОЕСУ. Особливо, зважаючи на нещодавні виконання вимог НЕК «Укренерго» Каталогу заходів для повного завершення синхронізації з ENTSO-E (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Вимоги Каталогу заходів для повного завершення синхронізації з ENTSO-E

Можливості і обмеження впровадження ГТЕС, як розосередженої генерації в ОЕС України

Існуючий спектр розосередженої генерації, не покриває більшості споживачів. Тому запропоновано збільшення впливу розосередженої генерації в Україні, за рахунок встановлення мобільних газотурбінних електростанцій. Підхід акцентований на збільшення РГ є особливо актуальним в часи руйнування енергетичної інфраструктури внаслідок воєнних дій з боку росії, та буде не менш актуальним під час відновлення та відбудови України. Розглянемо декілька сценаріїв застосування ГТЕС, як виду розосередженого джерела енергії:

Сценарій 1. Встановлення ГТЕС для покриття потреб районних споживачів.

Висока увага цьому сценарію приділяється, під час можливих відключень електроенергії через пошкодження або руйнування міських та центральних розподільчих ліній, внаслідок застосування зброї. В результаті підключення ГТЕС до районної мережі, буде відбуватись безперебійна подача електроенергії не тільки до усього району, оскільки відповідно до умов експлуатації газотурбінних електростанцій, найбільш ефективне їх використання (ККД), буде за умови, що ГТЕС працює в умовах навантаження на усі 100%.

Встановивши ГТЕС для потреб району зі встановленою потужністю більшою, ніж розрахована верхня межа споживання району можна перерозподілити електроенергію також й на інших споживачів в інших районах. Цей фактор, є також ефективним, якщо привести фактичний розподіл по лініям електропередач інших районів.

Також, газотурбінні електростанції можуть бути модифіковані. Модифікація полягає у встановленні рекуперационного обладнання, та передачі теплових відходів ГТЕС на потреби споживачів, задля гарячого водопостачання, або віддачі у централізоване опалення.

Сценарій 2. Використання газотурбінних електростанцій, як основного джерела виробництва електроенергії для підприємств.

За цим сценарієм, основна увага приділяється саме підприємствам, які за потреби можуть перерозподіляти електроенергію споживачам навколо підприємства. Суть сценарію в тому, щоб відділити підприємство від центральної енергетичної мережі, за рахунок розосередженої генерації в вигляді ГТЕС.

Такий метод допоможе усій енергетичній системі України, за рахунок зменшення віддачі в енергосистему реактивної потужності. Це призведе до зменшення відхилень в напрузі та частоті, разом з зменшенням впливу вищих гармонік на центральну енергетичну систему України.

Відповідно до цього методу, потрібно розробити підстанції на базі ГТЕС, які будуть подавати електроенергію та, можливо, теплову енергію на підприємство. Недоліком такого сценарію, є подача газу, або іншого палива, до таких підстанцій на базі ГТЕС. Тобто для роботи ГТЕС, яка буде покривати усі потреби підприємства, потрібна постійна подача палива, на відміну з сценарієм №1. За попереднім сценарієм, можна, припустити, що паливо береться з вже прокладених енергетичних систем міст (районів), та не потребують особливих додаткових інвестицій, для прокладення нових.

Цей сценарій, потребує додаткових інвестицій, не тільки в плані електричних підстанцій, а ще й в плані доступу палива до цих підстанцій.

Одним з найбільших переваг, які можна віднести за цим сценарієм, це можливість роботи оборонного сектору, в будь-який час, в не залежності від прив'язки до центральної мережі електропостачання. Звичайно, по мимо оборонного сектору, працювати буде й цивільний сектор, що дозволить, навіть в такі важкі часи, працювати економіці України.

Сценарій 3. Застосування газотурбінних електростанцій на майданчиках атомних електростанцій.

З розрахунку цього сценарію, можливо не просто забезпечити збільшення розосередженої генерації, а й підвищити надійність, ефективності функціонування ОЕС України та посилити стабільність роботи та безпеки експлуатації АЕС.

Створення мережі маневрових потужностей на АЕС, у вигляді газотурбінних станцій з можливим використанням водневого палива та подальшою модернізацією енергетичних установок (підвищення як електричного, так і теплового ККД установок шляхом встановлення додаткових модулів). Рациональність даного рішення пояснюється екологічністю та високою концентрацією електроенергії виробленої атомною генерацією, що дозволяє створити систему швидкодіючих маневрових потужностей. Це дозволить не зменшувати потужність генерації, як це сталося у 2020 році в Україні через зменшення споживання, а навпаки, її надлишок шляхом електролізу перетворювати на водень, а в періоди найбільшої потреби – генерувати з нього електроенергію вже згаданими маневровими газотурбінними установками.

Підвищення надійності електропостачання за рахунок ГТЕС

Залежно від розташування, ГТЕС можуть надавати певні специфічні переваги, особливо в аварійних ситуаціях:

- ГТЕС поблизу АЕС, крім стандартних функцій, можуть глибше впливати на оптимізацію режимів ОЕС.
- Невеликі ГТЕС на периметрі або всередині мегаполісів можуть підвищити надійність енергопостачання міст, зокрема критичної інфраструктури під час аварій.
- У ізольованих енергосистемах без інших маневрових потужностей ГТЕС можуть виконувати таку роль.

В умовах значних небалансів добових графіків навантаження в об'єднаних енергосистемах саме ГТЕС, які володіють високою маневреністю й широким діапазоном регулювання, швидким пуском й зупинкою, виконують одне з найважливіших завдань забезпечуючи баланс у ОЕС України – покривають найбільш складну пікову й напівпікову частини графіку навантажень.

З досвіду зарубіжних енергосистем, ГТЕС оптимально будувати поблизу джерел газопостачання для скорочення витрат на транспортування палива, розміщувати переважно у великих містах та промислових центрах для задоволення попиту на електроенергію без транзитних передач, враховувати можливості підключення до мереж для видачі електроенергії та забезпечення необхідних потужностей короткого замикання.

Електроенергетика включає три ключові сфери:

- виробництво та збут електроенергії;
- передача й розподіл електроенергії;
- **забезпечення якості та надійності електропостачання.**

На газотурбінні електростанції покладено роль забезпечення якості та надійності електропостачання споживачів електроенергії. Незважаючи на широку представлені технологічні можливості ГТЕС (регулювання добового графіка навантаження, регулювання частоти і напруги, забезпечення оперативного і аварійного 60 резерву), всі вони є похідними одного параметра – високоманевровою (регулюючою) потужністю генерації. Висока надійність електропостачання може бути забезпечена за рахунок наявності в ОЕСУ достатнього резерву маневреної потужності. Оперативні (швидкодіючі) резервні потужності застосовують в різних країнах, але по відношенню до них можуть бути сформульовані деякі загальні визначення.

Міжнародний досвід використання ГТЕС для підвищення надійності роботи енергосистем

Понад 10 тис. газових турбін експлуатуються у 86 країні світу

Світовий випуск (в перекладі на сумарну електричну потужність) енергетичних ГТУ знаходиться на рівні 30-35 млн. кВт на рік

Енергетичні ГТУ активно розвиваються і впроваджуються зараз в Японії, Англії, Німеччині, Італії, США та інших країнах. Будуються ГТУ-ТЕЦ в Каліфорнії і Флориді (США) потужністю по 150-200 МВт, в Уельсі (Великобританія) електричною потужністю від 200 до 500 МВт. В Ірані експлуатується 174 енергетичних ГТУ загальною електричною потужністю 8167,8 МВт. В Італії фірма GE виробляє мікро ГТУ електричною потужністю від 45 до 200 кВт. Фірма PCT (Nuovo Pignone) випускає ГТУ потужністю від 10 до 21 МВт. Все виробництво фірми Audi (в Німеччині) забезпечують електричною і тепловою енергією два комплексу ГТУ-ТЕЦ марки "Taurus-60" сумарною електричною потужністю 10,4 МВт і тепловою - 16 МВт. Фірма "Solar" пропонує ГТУ "під ключ" в діапазоні від 1 до 13 МВт марок: "Centaur", "Mercury", "Taurus", "Mars", "Titan".



Рисунок 3.1 – Резервна електростанція Fingrid потужністю 300 МВт у місті Форсса з двома газовими турбінами

Балансування ОЕСУ

Основними маневровими потужностями в енергосистемі країни є ГЕС і ГАЕС із залученням до регулювання генерації частини блоків ТЕС. ГАЕС також дозволяють частково компенсувати нічний провал споживання, працюючи в насосному режимі; при цьому їх коефіцієнт використання потужності (КВП) досягає 80% (див. табл.4.1). Ускладнює ситуацію зростання частки негарантованих джерела енергії ВЕС та СЕС, які повинні бути забезпечені високоманевровими джерелами генерації. При подальшому нарощуванні частки негарантованих потужностей СЕС і ВЕС з урахуванням впливу воєнних дій на роботу ОЕСУ неминуче повинна збільшуватися розосереджена генерація, що дозволить в оперативному режимі забезпечувати баланс між споживанням і виробництвом електричної енергії, іншими словами – забезпечувати надійну роботу енергосистеми.

Генеруючі потужності	Встановлена потужність на кінець 2020 р., МВт	КВП, %	Вироблення електроенергії, %	Собівартість електроенергії, коп/кВт*год
АЕС	13835	48...80	53,9	65
ТЕС ГК	21842	11...40	29,2	140
ТЕЦ	6070	8...41	8,2	140
ГЕС і ГАЕС	1811	30...75	5,1	100
ГАЕС	1488	47...80	-	-
ВЕС	1037+4368	9...28	3,6	307
СЕС				482

Таблиця 4.1 – Експлуатаційні параметри генеруючих потужностей України

Відповідно до довоєнного прогнозного балансу на 2022 рік, зазначимо збільшення частки як теплової генерації, так і збільшення потужностей поновлених джерел енергії (див. рисунок 4.1). Так, частка ТЕС зростає на 7,6%, до 42,1 млн МВт*год, ТЕЦ – на 8,2%, до 9,8 млн МВт*год, ВДЕ на 17,2% – до 14,9 млн МВт*год, найбільше зростання планується у ВЕС – на 43% (до 5,8 млн МВт*год), та БіоТЕЦ – на 10% (до 1,1 млн МВт*год).

Відповідно до Матеріалів робочої групи «Аудиту збитків, понесених внаслідок війни» загалом зруйновано або знаходяться на окупованих територіях близько 50% теплової генерації, 30% сонячної генерації та понад 90% вітрогенерації. Виробуток газу скоротився на 10-12% за час повномасштабного вторгнення. Не працює жоден НПЗ (власне виробництво забезпечувало близько 30% нафтопродуктів), виникли логістичні складнощі з постачанням нафтопродуктів



Рисунок 4.1 – Прогнозний довоєнний баланс електроенергії на 2022 рік: зміна основних показників балансу та виробництва е/е за видами генерації (а); зміна місячних показників виробництва та зовнішньої торгівлі е/е (б)

Вплив ГТЕС на режими роботи ОЕС України

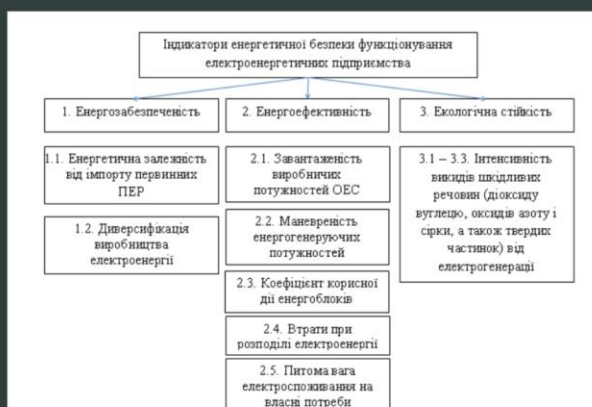


Рисунок 5.1 – Індикатори енергетичної безпеки в сфері електроенергетики

Стандартні функціональні можливості ГТЕС у різних режимах представлені нижче.

1. Нормальний режим:

- регулювання балансу потужності (навантаження і генерації);
- регулювання частоти;
- оперативне резервування потужності.

2. Аварійний режим:

- Аварійне (швидке) резервування потужності.

3. Післяаварійний режим:

- оперативне резервування потужності (навантаження і генерації).

ОЕС України має певні вразливі елементи, реакція яких на зміни режимів роботи є критичною та негативно впливає на працездатність усієї системи. У таких слабких місцях при перехідних режимах зростає ймовірність відхилення параметрів, що можуть спричинити погіршення якості, надійності та економічних показників.

Наявність слабких місць обмежує технічні можливості ОЕС, ефективність управління нею та часто призводить до порушень стійкості і системних аварій.

Визначення слабких місць дозволяє розробити заходи для їх посилення шляхом зміни схеми мережі, структури та розміщення генераторів, установки компенсуючих пристроїв тощо. Визначальним є забезпечення оптимальної структури генеруючих потужностей з необхідним регулюванням.

Добові графіки навантаження енергосистем характеризуються високою нерівномірністю, що ускладнює покриття піків та проходження "ям" у споживанні. Це посилюється через збільшення частки великих неманеврених блоків на АЕС.

В Україні для зимового максимального добового графіка характерні два піки навантаження – вечірній та ранковий, а також два провали – нічний та денний. Річні графіки залежно від умов можуть або знижуватись влітку, або зростати.

Основні передумови розвитку ГТЕС – потреба у маневровій потужності, швидкому резерві, регульованні режимних параметрів для забезпечення якості електроенергії. Їх функціональні можливості поділяються на стандартні системні та специфічні послуги залежно від розташування ГТЕС.

Висновок

У роботі проведено аналіз сучасного стану генеруючих потужностей ОЕС України. Виявлено основні проблеми – застарілість обладнання, низька гнучкість, залежність від імпорту палива.

Запропоновано розвиток розосередженої генерації у вигляді газотурбінних електростанцій як один з найперспективніших напрямків. Розглянуто їх переваги – маневреність, швидкий запуск, використання вітчизняного палива.

Досліджено можливості підвищення надійності ОЕС за рахунок ГТЕС. Розроблено математичну модель для оцінки впливу розосередженої генерації.

Проаналізувавши об'єднану енергетичну систему України, в якій частка АЕС та ТЕС складає близько 80%, варто відзначити необхідність якнайшвидшої модернізації маневрових генеруючих потужностей, на тлі проблем викликаних воєнними діями. Врахувавши техніко-економічні показники ГТЕС, стан електроенергетичного сектору та його ролі в економіці України, запропоновано використання ГТЕС, як пріоритетний елемент балансування електричної енергії, що зможе покривати потреби добового графіку відповідно до ситуації. В результаті проведеного дослідження відповідно до мети роботи було проаналізовано методи підвищення надійності роботи ОЕС України з використанням газотурбінних електростанцій і визначено актуальність газотурбінної маневрової генерації, як можливість за короткий проміжок часу забезпечити необхідну стабільність роботи енергосистеми ОЕСУ. Оскільки світова тенденція на "зелену енергетику" стає з кожним роком все актуальніша, та зважаючи на особливості структури генеруючих потужностей ОЕС України, що робить впровадження ВДЕ у енергосистему складним технічним завданням, виникає доречність використання власної науково-дослідної та виробничо-технічної спроможності в галузі газотурбінних технологій, що сприятиме інвестиційній привабливості економіки, поліпшенню ситуації на ринку праці, розвитку водневих технологій тощо. Впровадження газотурбінних технологій може забезпечити енергетичну безпеку України, та покрити потреби в енергоносіях. Вартість генерації при цьому буде залежати від багатьох економічних чинників у забезпеченні реалізації даної технології.

Таким чином доведено ефективність розвитку ГТЕС для підвищення надійності ОЕС України. Рекомендовано при формуванні стратегії розвитку ОЕС передбачити збільшення частки газотурбінних електростанцій до 30% від загальної потужності ВДЕ.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

СЛАВА УКРАЇНІ!!