

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістр

(освітній ступінь)

на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ**

08-17.МКР.001.01.021 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕСЕ-20м
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Бажура В.С.

Керівник: д.т.н. професор Бурбело М.Й.

« ____ » _____ 2021р.

Опонент:

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ
д.т.н. професор Бурбело М.Й.

« ____ » _____ 2021р.

Вінниця 2021

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ОП «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ
проф. Бурбело М.Й.

«24» вересня 2021 р

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Бажури Володимира Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення точності прогнозування виробітку електроенергії відновлюваними джерелами

керівник роботи Бурбело Михайло Йосипович, д.т.н., проф.

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

затвержені наказом вищого навчального закладу від “24” вересня 2021 року № 277

2. Термін подання студентом роботи “15” грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: відомості про генерацію об'єктів ВДЕ, технічні характеристики об'єктів ВДЕ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Об'єкт дослідження. Аналіз методів прогнозування. Аналіз похибок прогнозування. Пропозиція збільшення кількості метеопостів. Прогнозування виробітку об'єктів ВДЕ та розрахунок витрат на небалансів. Розробка СТАРТАП проекту. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

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

Графіки загальної потужності ВДЕ. Графіки результатів прогнозування. Графіки поденних витрат на врегулювання небалансів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Наукова частина	Бурбело М.Й., зав., каф. ЕСЕЕМ, д.т.н., професор		
Економічна частина	Шулле Ю.А., доц., каф. ЕСЕЕМ к.т.н.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання 24.09.21

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Задача прогнозування потужності генерації ВДЕ	18.09.21	
2	Прогнозування виробітку ВДЕ	12.10.21	
3	Стартап проекту	24.11.21	
4	Охорона праці	08.12.21	
5	Оформлення роботи	15.12.21	

Студент _____
(підпис)

Бажура В. С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бурбело М. Й.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
(підпис)

Войтюк Ю. П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бажура В.С. Підвищення точності прогнозування виробітку електроенергії відновлюваними джерелами. Магістерська кваліфікаційна робота. 141. ФЕЕЕМ. Кафедра ЕСЕЕМ, – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 100 с.

У даній магістерській роботі досліджено проблеми прогнозування об'єктів ВДЕ та наведено шляхи їх вирішення. У ході досліджень було запропоновано свою модель прогнозування ВДЕ, на основі якої проведено розрахунок виробітку та кінцевої вартості врегулювання небалансів такого прогнозу. Запропоновано заміну формули розрахунку вартості небалансів та проведено економічну доцільність її заміни.

Ключові слова: ВДЕ, прогнозування, машинне навчання, небаланс.

рис.: 20 табл.: 23 бібл.: 32

ANNOTATION

V.S. Bazhura. Improving the accuracy of forecasting electricity generation by renewable sources. Master's qualification work. 141. FEEEM. Department of ESEEM, Vinnitsa: VNTU, 2021 - 100 p.

In this master's thesis the problems of forecasting RES objects and the way of their solution are investigated. In the course of research, a model for forecasting RES was proposed, on the basis of which the calculation of production and the final cost of settling imbalances in such a forecast was performed. It is proposed to replace the formula for calculating the value of imbalances and the economic feasibility of its replacement.

Key words: RES, forecasting, machine learning, imbalance

figures: 20 tables: 23 libraries: 32

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ЗАДАЧА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ ВДЕ.	8
1.1 Об'єкт дослідження.....	8
1.2 Вплив метеопараметрів на вироблення електроенергії сонячними панелями	10
1.3 Аналіз методів прогнозування.....	12
1.4 Аналіз похибок прогнозування ВДЕ.....	17
1.5 Збільшення кількості метеопостів як вирішення проблеми прогнозування в Україні	21
РОЗДІЛ 2 ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ ВДЕ.....	24
2.1 Задача прогнозування виробленої електроенергії ВДЕ	24
2.2 Розрахунок виробленої електроенергії СЕС	26
2.3 Розрахунок виробленої електроенергії ВЕС	31
2.4 Розрахунок витрат на врегулювання небалансів	35
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВДЕ ШЛЯХОМ ЗМІН У ФОРМУЛІ РОЗРАХУНКУ ВАРТOSTІ ВРЕГУЛЮВАННЯ НЕБАЛАНСІВ	54
3.1 Вступ.....	54
3.2 Опис ідеї.....	54
3.3 Технологічний аудит ідеї проекту	56
3.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	57
3.5 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту	60
3.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	61
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	63
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання	64
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	65
4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях	75
ВИСНОВКИ.....	80

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	82
Додаток А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	86
Додаток Б. ЦІНИ РДН ДЛЯ ЛИПНЯ 2021 РОКУ	91
Додаток В. ЦІНИ БАЛАНСУЮЧОГО РИНКУ ЗА ЛИПЕНЬ 2021 РОКУ	92
Додаток Г. РЕЗУЛЬТАТИ ТОРГІВЕЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ГАРАНТОВАГО ПОКУПЦЯ	93
Додаток Д. РЕЗУЛЬТАТИ ПРОГНОЗУВАННЯ СЕС	94
Додаток Е. РЕЗУЛЬТАТИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЕС	97
Додаток Ж. ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	100
Додаток З. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МКР	107

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ОЕС – об'єднана енергетична система

ТЕС – теплова електрична станція

ГЕС – гідроакumuлююча електрична станція

НКРЕ КП – національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг

ВЕС – вітрова електрична станція

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

РДН - ринок «на добу наперед»

ВДР - внутрішньодобовий ринок;

ОСП – оператор системи передачі

ВСТУП

Актуальність теми. Енергетика — економічна галузь, яка є показником того, наскільки виробництво, наука та країна розвинута в цілому. Саме тому проблема розвитку ВДЕ набуває все більшої актуальності. До ВДЕ належать сонячна енергія, вітер, геотермальна енергія, біомаса та океани. В останні роки інтерес до даних джерел енергії невпинно зростає, адже їх можна вважати безмежними. Зацікавленість до проблем сонячної та вітрової енергії зріс. Адже енергетичний потенціал, заснований на використанні прямого сонячного випромінювання, надзвичайно високий.

Таке питання, як ефективно використовувати електроенергію на тлі різкого підвищення її ціни стає ще більш актуальним. Для того щоб управляти системою вироблення та споживання електричної енергії, необхідно прогнозувати режим його роботи. В енергетиці системними інструментами прогнозування є прогноз електричного навантаження, виробництва та споживання електроенергії. Цей прогноз відіграє важливу роль в управлінні енергетичними системами. Прогнозування забезпечує базовий вхід для управління системою в роботі з планування нормальних робочих режимів. Складність прогнозу зумовлена необхідністю врахування багатьох факторів виробництва та споживання електроенергії.

Прогнозування нейронними мережами може використовувати вже відому інформацію, вивчати, передбачати. Привабливість цього методу прогнозування є в можливості використання дуже великої кількості різних вхідних величин (дані по споживанню електроенергії, температури повітря, хмарність, сонячності, часу доби тощо).

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є пошук рішення щодо зменшення похибки прогнозу виробництва електроенергії на прикладі сонячної електростанції 650 кВт та вітрової - 40 МВт, з метою підвищення ефективності планування виробництва електроенергії іншими електростанціями (АЕС, ГЕС, ТЕС), а також, знаючи заздалегідь величину виробітку сонячної електроенергії,

можна організувати балансування пікових навантажень ГЕС/ГАЕС. Цю проблему можна вирішити шляхом прогнозування машинним навчанням.

Для досягнення поставленої мети роботи потрібно **вирішити такі задачі:**

- Розробити модель прогнозування
- Знайти причину великої похибки прогнозування в Україні.
- Порахувати вартість врегулювання небалансів
- Оцінити економічний ефект від покращення похибки прогнозування ВДЕ

Об'єкт дослідження – ОЕС України та сонячна електростанція потужністю 650 кВт та вітрова – 40 МВт.

Предмет дослідження – прогнозування виробітку ВДЕ.

Методи досліджень. Штучний інтелект, аналітика даних, математичний розрахунок, побудова графіків.

Наукова новизна. Удосконалено метод прогнозування виробітку електроенергії ВДЕ з використанням машинного моделювання графіків генерування за попередній період часу та запропоновано заміну розрахункової формули вартості небалансів.

Практична цінність. Заміна формули розрахунку вартості врегулювання небалансів допоможе покращити похибку прогнозування ВДЕ, що у свою чергу призведе до покращення умов для балансування енергосистеми України, зменшить фінансове навантаження на виробників ВДЕ та зменшить витрати ТЕС на закупівлю палива.

Апробації результатів магістерської роботи. Тему зменшення похибки прогнозування ВДЕ, представлено на Конференції ВНТУ в електронному науковому виданні.

Публікації: За результатом досліджень опубліковано тезу доповіді.

РОЗДІЛ 1. ЗАДАЧА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ ВДЕ

1.1 Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є відновлювані джерела енергії. За останні роки світ зробив великі кроки до глобального зеленого переходу для боротьби зі зміною клімату та запобігання підйому середніх температур вище $+2^{\circ}\text{C}$, а також продовжує прискорювати розвиток ВДЕ [1].

Наразі Україна також має значне збільшення потужності ВДЕ, завдяки зобов'язанням, даними Паризькою угодою (2016 р.). За 5 років встановлена потужність ВДЕ в Україні зросла майже в 4 рази і з початку 01.01.21 становила 7737 МВт. 2021, та 8148 МВ з 01.06.2021. Відсоток сонячних електростанцій переважає в загальному балансі ВДЕ та становить 7166 МВт. Друге місце посіли ВЕС (1475 МВ) (рис. 1.1).

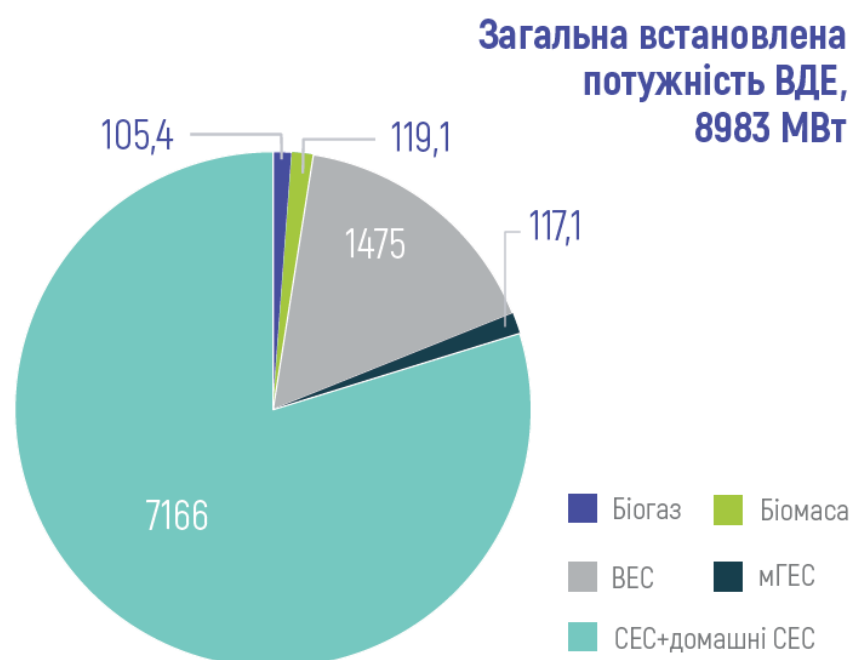


Рисунок 1.1 – Загальна встановлена потужність ВДЕ

Областями України з найбільшою встановленою потужністю ВДЕ є Дніпровська – 1163,9 МВт, Миколаївська – 1074 МВт, Херсонська – 1063,6 МВт, Запорізька – 863 МВт та Одеська – 594,5 МВт (рис. 1.2).

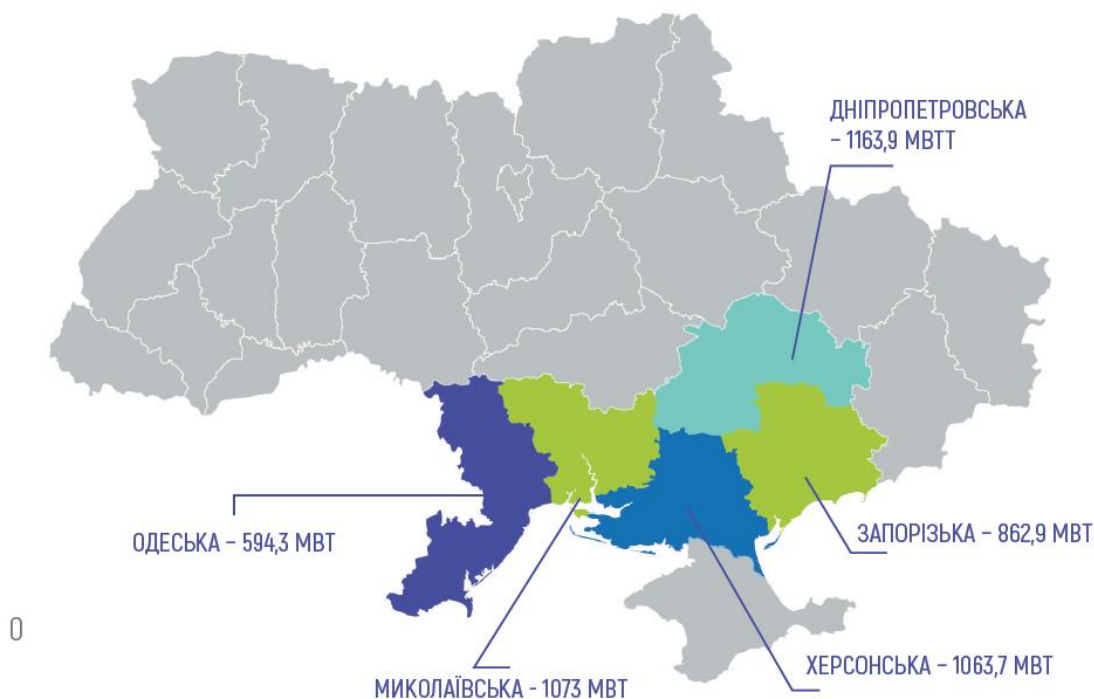


Рисунок 1.2 – Области – лідери за встановленою потужністю ВДЕ

Також за останні 7 років Україна зуміла виконати свої обов'язки в державному плані дій з нетрадиційної енергетики до 2020 року, досягнувши більше 11% частки ВДЕ в споживанні. Зараз Україна прямує до нових задач, затверджених Національною економічною стратегією, яка передбачає до 2030 року 25% електроенергії, виробленої відновлюваними джерелами, у структурі об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України [2].

**Загальна встановлена потужність
Об'єднаної енергетичної системи України.
Частка ВДЕ - 15,7%**

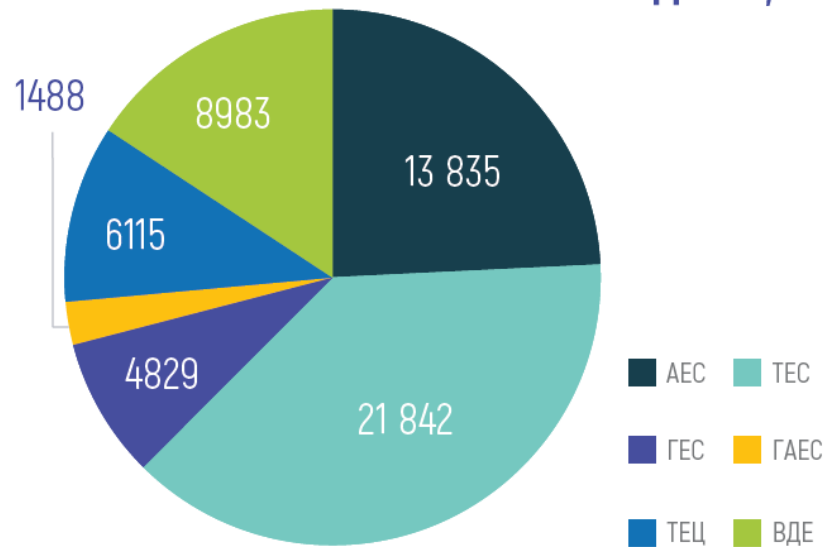


Рисунок 1.3 – Загальна встановлена потужність ОЕС України

Такий стрімкий розвиток галузі є наслідком низки переваг, що має Україна, а саме – великі території для достатньої генерації, природний клімат, диверсифікація енергетичного сектору, яка притаманна лише нашій країні, діючі «зелені» тарифи до 2030 року. Високий потенціал удосконалення енергетичної системи та політика «зелених» субсидій допомогли Україні залучити багато іноземних інвесторів, частка яких становить 30% від загального обсягу інвестицій у сектор ВДЕ. На даний момент в Україні працюють інвестори більше ніж з 20 країн, у тому числі Acciona (Іспанія), Scatec (Норвегія), Total Eren (Франція), GS Engineering & Construction Corp (Південна Корея), CNBM (Китай), Guris (Туреччина), Nebras Кватар) та інші.

1.2 Вплив метеопараметрів на вироблення енергії сонячними панелями

Виробництво енергії фотоелектричними станціями (ФЕС) значною мірою залежить від кліматичних умов установки [3]. Потужність ФЕС змінюється з

часом пропорційно попаданню на їх робочу поверхню сонячного випромінювання.

Надходження сонячної радіації на земну поверхню змінюються залежно від погодних умов та мають виражену добову та сезонну залежність.

1. При проектуванні сонячної фотоелектричної електростанції вирішальним фактором є сонячна радіація, що падає на поверхню панелі, оскільки дозволяє аналізувати та прогнозувати роботу протягом року. Кількість сонячної радіації, яка падає на світлочутливу поверхню в будь-який момент часу, визначається факторами що залежать:

2. Кут падіння сонячних променів на земну поверхню;
3. розсіювання променів в атмосфері

З практичної точки зору найважливіше і найскладніше завдання визначення реальної сонячної енергії в хмарні дні. Вплив хмар на величину інсоляції зумовлений ослабленням прямої сонячної енергії та в більшості випадків збільшенням об'ємної складової. Зменшення прямої радіації зі збільшенням хмарності не компенсується збільшенням розсіяної сонячної радіації. В результаті загальна сонячна радіація зменшується зі збільшенням щільності хмар.

Також слід мати на увазі, що сонячні батареї мають крайню межу чутливості до світла, нижче якої вони взагалі перестають виробляти енергію. Для сонячних модулів з кремнію ця межа становить приблизно $150\text{-}200 \text{ Вт/м}^2$. Для тонкоплівкових – $100\text{-}200 \text{ Вт/м}^2$. Номінальна потужність сонячних панелей виробляється при яскравості, що відповідає потоку енергії 1000 Вт/м^2 і температурі панелі $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Підвищення температури та нагріву сонячних модулів негативно позначається на роботі сонячних батарей за рахунок зниження фотоефекту та виробництва електроенергії[4].

Коли температура повітря опускається менше нуля, а день ясний, то сонячна панель виробляє більше енергії ніж у жарку погоду [5].

У теплий день при 40 °С (вище стандартної робочої температури на 15 градусів) максимальна потужність станції скоротиться приблизно на 7%.

Протилежна ситуація відбувається навесні, коли температура нижче 25 °С: тоді вироблення енергії може перевищувати номінальну максимальну потужність P_m . Тому в деяких випадках охолодження панелей позитивно позначається на їх продуктивності.

Беручи до уваги залежність температури сонячної панелі від температури навколишнього середовища [6]:

$$T_{pi} = T_{н.с} + \frac{E_i}{800 \cdot (T_{н.екс} - 20)}$$

де: T_{pi} - температура поверхні сонячної панелі, °С,

E_i - надходження сонячного випромінювання,

$T_{н.с}$ - температура навколо панелі, градусів С,

$T_{н.екс}$ - нормальна температура експлуатації сонячної панелі.

1.3 Аналіз методів прогнозування

Кожне завдання прогнозування базується на складних математичних або емпіричних (інтуїтивно зрозумілих) методах знаходження закономірностей у переглянутому часовому процесі. Технічні процеси електроспоживання підпорядковуються циклічним та випадковим тенденціям, з яких найбільш передбачуваними є циклічні залежності, які необхідно враховувати для балансування енергосистеми [7].

На сьогоднішній день знайдено дуже багато методів і моделей які прогнозують електричне навантаження енергосистем.

Методи прогнозування поділяються на:

- статистичні

- детерміновані;
- комбіновані.

Найбільш поширеними стали методи де використовуються статистичні моделі. Найчастіше використовується метод статистичної моделі, а саме екстраполяція даних. Екстраполяція – це метод наукового дослідження, в основі якого лежить поширення минулих і сучасних тенденцій, закономірностей, взаємозв'язків для визначення майбутнього значення. Цей метод забезпечує оцінку точки прогнозу і приносить більший ефект, коли використовується в прогнозуванні на короткий проміжок часу.

Метод прогнозування середнього значення є самим простим з усіх моделей. Суть методу - це середнє число первинних значень, а потім знаходиться вектор прогнозованих значень[8].

Для опису випадкових процесів широко використовуються авторегресивні моделі. Характерною відмінністю стаціонарних часових рядів можна назвати їх прогнозні властивості ряду не змінюються з часом. Іншими словами, функції розподілу стаціонарних часових рядів не змінюються зі зсувом у часі.

Все більшого поширення набувають математичні моделі прогнозування (поєднання статистичних і детермінованих моделей)[9]. Нейронні мережі є одним з найбільш точних і рентабельних методів прогнозування.

Вибір відповідного просторового горизонту та відповідного підходу до прогнозування є головними в процесі прогнозування. У цьому випадку методи класифікуються на три важливі підходи: по-перше, фізичний підхід, який базується на енергетичній моделі, по-друге, статистичний підхід, який базується на методах штучного інтелекту, і по-третє, методи машинного навчання. гібридний підхід, який ґрунтується на поєднанні прийомів одного підходу або прийомів, що належать до інших підходів.

ВДЕ використовує різноманітні ресурси для прогнозування виробництва електроенергії, включаючи традиційні вимірювання погоди, інформацію від існуючих сонячних електростанцій, дані спостережень авіаційної хмари та різноманітні чисельні моделі прогнозування погоди, які становлять фундамент

сучасного прогнозу погоди. Придатність даних ресурсів залежить від горизонту прогнозу: для прогнозів з горизонтом до шести годин найкраще використовувати дані вимірювань, тоді як аналітичні моделі ефективні для горизонту прогнозу довше шести годин. Найкращі результати отримують при поєднанні різних підходів, статистичної обробки результатів та аналізу отриманих історичних даних погоди. Методи прогнозування поділяють статистичні та фізичні. Фізичний використовує модель поведінки сонячного випромінювання, а статистична опирається перш за все на історичні дані для знаходження зв'язків та тенденцій їх зміни. Вихідними даними статистичних підходів є набір значень, які містять дані про роботу ДСНС на даний момент. Такий набір даних застосовують для «навчання» моделі, наприклад, модель авторегресії або штучного інтелекту, які отримують прогноз потужності СЕС в певний момент на основі історичних даних погоди. Методи прогнозування виробітку СЕС виділяють два основних підходи: непрямий і прямий. Перший етап непрямих прогнозів полягає в прогнозуванні надходження сонячної радіації на земну поверхню в заданий часовий горизонт, на другому етапі з використанням моделей для розрахунку їх генерації на тому ж горизонті. Новітні статистичні моделі базуються на методах машинного навчання (особливо, на методах штучних нейронних мереж), які не вимагають технічних характеристик ВДЕ для прогнозування генерації електроенергії. Для реалізації цих методів прогнозування необхідні лише історичні дані, а саме серії метеорологічних характеристик і генерації ВДЕ за минулі періоди, щоб побудувати регресії на цих послідовностях або використати інші методи навчання для прогнозування генерації. Таке прогнозування в принципі можливе лише в тому випадку, якщо станція працює протягом тривалого часу, щоб послідовності генерації даних були достатніми. Зрозуміло, що точність прогнозування залежить від якості та обсягів статистичних даних. Статистичні методи прогнозування мають точність прогнозу 72% і більше.

Нейронна мережа – метод моделювання процесів, що допомагає відтворювати складні математичні залежності. Основною характеристикою нейронної мережі є застосування процесу навчання, де задаються вхідні дані,

після цього встановлюється ціль та розпочинається процес навчання, де автоматично відбувається процес налаштування параметрів вихідної величини [10].

Нейронна мережа не прогнозує майбутнє, вона оцінює стан значення яке обирається на основі вхідних даних [10]. Робота нейронної мережі при вирішенні задач знаходження майбутньої генерації ВДЕ полягає у передбаченні реакції системи на її поведінку в минулому. Маючи початкову інформацію про значення змінної k за часи, що передують прогнозу, нейронна мережа приймає рішення, яке буде найбільш вірогідним значенням прогнозованого параметра в момент часу t . Більш того, процес прогнозування або функціонування нейронної мережі досить швидкий.

Нейронною мережею можна вважати мережу «нейронів», які організовані шарами. Вхідні дані формують нижній шар, а прогнози (або результати) формують верхній. Також можуть бути проміжні шари, які містять «приховані нейрони».

Найпростіші мережі не містять проміжних шарів і еквівалентні лінійній регресії. На рис. 2.1 показана версія лінійної регресії нейронної мережі з чотирма предикторами. Коефіцієнти, додані до цих предикторів, називаються «вагами». Прогнози отримують шляхом лінійної комбінації вхідних даних. Вагові коефіцієнти вибираються в структурі нейронної мережі за допомогою «алгоритму навчання», який мінімізує «функцію вартості», наприклад MSE. Звичайно, в цьому простому прикладі ми можемо використовувати лінійну регресію, яка є набагато ефективнішим методом навчання моделі.

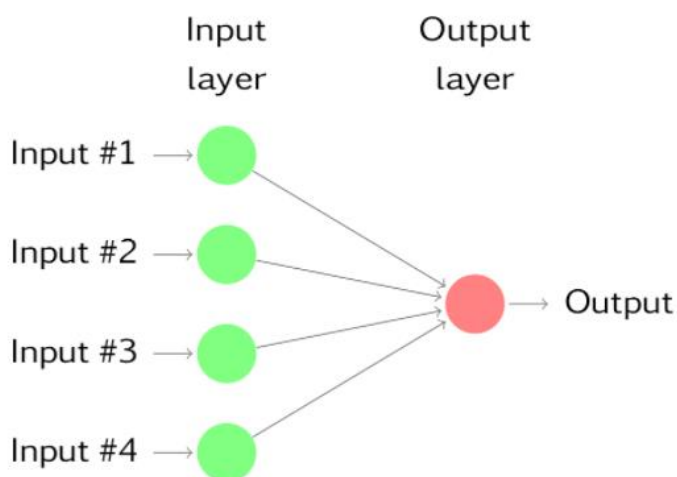


Рисунок 1.4 – Проста нейронна мережа, еквівалентна лінійній регресії.

При додаванні проміжного шару із прихованими нейронами, нейронна мережа одразу стає нелінійною (рис.1.5).

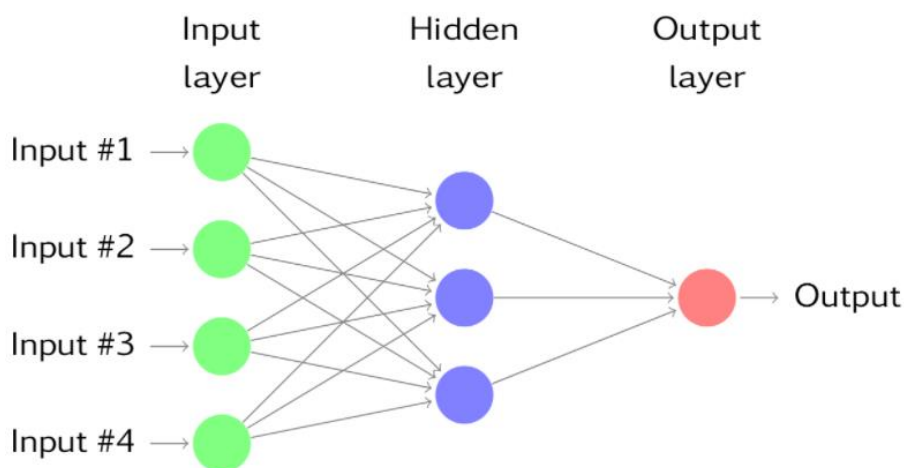


Рисунок 1.5 – Нейронна мережа з чотирма входами та одним прихованим шаром з трьома прихованими нейронами

Це відомо як багаторівнева багаторівнева мережа, де кожен шар вузлів отримує вхідні дані від попередніх шарів. Виходи вузлів одного шару є входами для наступного. Входи до кожного вузла об'єднуються за допомогою зваженої лінійної комбінації. Потім результат змінюється нелінійною функцією перед виводом. Наприклад, він входить у прихований нейрон на рис. 1.5 лінійно об'єднуються для отримання

$$Z_j = b_j + \sum_{i=1}^4 w_{i,j} x_i.$$

У прихованому шарі це потім змінюється за допомогою нелінійної функції, такої як сигмовидна:

$$s(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}},$$

щоб надати вхідні дані для наступного шару. Це має тенденцію зменшити вплив екстремальних вхідних значень, роблячи мережу дещо стійкою до різких перепадів.

Параметри «навчаються» з даних. Значення часто обмежуються, щоб запобігти тому, щоб вони стали занадто великими. Параметр обмеження ваги відомий як «параметр розпаду» і часто встановлюється на 0,1.

Вагові коефіцієнти спочатку приймають випадкові значення, які потім оновлюються за допомогою спостережуваних даних. Таким чином, у прогнозах нейронної мережі є елемент випадковості. Тому мережу зазвичай навчають кілька разів з використанням різних випадкових початкових точок, а результати усереднюються. Кількість прихованих шарів і кількість вузлів у кожному прихованому шарі необхідно вказати заздалегідь.

1.4 Аналіз похибок прогнозування ВДЕ

Безхмарна погода позитивно впливає на темпи зростання виробництва енергії. Але в похмурі дні та погану погоду спостерігається висока густина хмарних мас, що спричиняє зменшення обсягів виробітку цього виду ресурсу.[11] Оскільки людина ще не навчилася керувати погодою, то найактуальнішим рішенням цієї проблеми є необхідність передбачити кількість електроенергії, яку

може виробляти конкретна сонячна станція. Точне прогнозування надає можливість операторам мережевих компаній правильно керувати продуктивністю сонячних панелей, так можна ефективно впроваджувати «зелену» енергетику в загальну енергосистему країни.

Різкі зміни погоди та неточний прогноз погоди погано впливають на якість прогнозу виробництва відновлюваних джерел енергії[12]. Саме так в Україні щодня виникає небаланс електричної енергії, який необхідно компенсувати задля балансу енергетичної системи України. Для прикладу візьмемо 4 липня 2021 року. З офіційного сайту «Гарантованого покупця» отримуємо погодинні значення генерації та прогнозу виробітку ВДЕ [13].

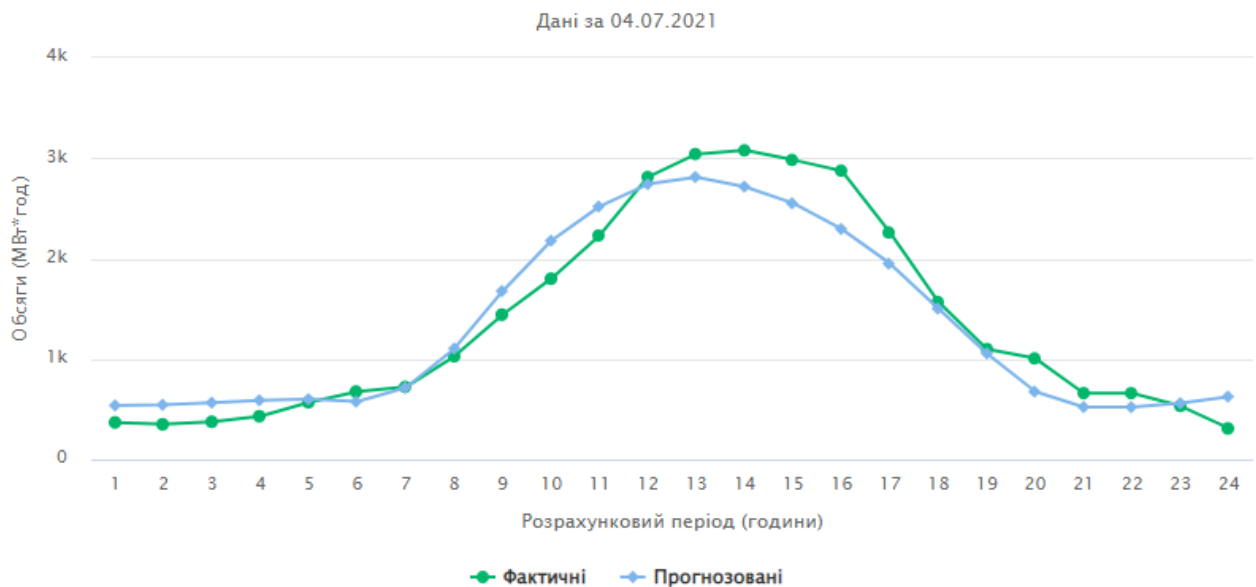


Рисунок 1.6 – Прогноз на виробіток ВДЕ за 04.07.21

Таблиця 1.1 – Прогноз на виробіток ВДЕ за 04.07.21

Дата	Фактичні дані, МВт·год	Прогнозовані дані, МВт·год	Абсолютна похибка, МВт·год
2021-07-04 00:00	368,702	537,946	-169,244
2021-07-04 01:00	349,885	544,898	-195,013
2021-07-04 02:00	375,511	564,492	-188,981
2021-07-04 03:00	430,582	590,603	-160,021
2021-07-04 04:00	569,915	600,042	-30,127
2021-07-04 05:00	676,312	576,393	99,919
2021-07-04 06:00	722,549	714,511	8,038
2021-07-04 07:00	1026,947	1104,219	-77,272
2021-07-04 08:00	1441,773	1676,515	-234,742
2021-07-04 09:00	1799,913	2177,107	-377,194
2021-07-04 10:00	2229,639	2518,892	-289,253
2021-07-04 11:00	2812,542	2742,079	70,463
2021-07-04 12:00	3041,086	2811,672	229,414
2021-07-04 13:00	3077,606	2715,049	362,557
2021-07-04 14:00	2982,587	2551,025	431,562
2021-07-04 15:00	2875,024	2295,047	579,977
2021-07-04 16:00	2259,594	1949,997	309,597
2021-07-04 17:00	1568,076	1501,271	66,805
2021-07-04 18:00	1099,748	1055,048	44,7
2021-07-04 19:00	1006,514	674,742	331,772
2021-07-04 20:00	660,536	522,349	138,187
2021-07-04 21:00	660,412	520,744	139,668
2021-07-04 22:00	532,35	559,938	-27,588
2021-07-04 23:00	309,086	625,708	-316,622

За одну добу прогнозні дані відрізняються від факту генерації на 4878,716 МВт·год. З яких 2812,659 МВт·год позитивних небалансів та 2066,057 МВт·год негативних. Як видно з графіка з 11:00 виробники з ВДЕ недопрогнозували великий обсяг електроенергії, що призвело до провалу в ціні балансуємого ринку. Обсяг згенерованої електроенергії значно перевищив прогнозований обсяг і на ринку електроенергії відбувся профіцит електроенергії. Що означало, що плата за небаланс рівнялася ціні РДН. Таким чином виробники, подаючи неточний прогноз шкодять не тільки ринку, але й безпосередньо собі. Адже рахунки за небаланс оплачують саме виробники. Нижче наведено ціни РДН та балансуємого ринку за 04.07.21.

Таблиця 1.2 – Ціна продажу електроенергії на РДН та небалансу

Дата	Ціна РДН, грн/МВт·год	Фактична ціна небалансу, грн/МВт·год
2021-07-04 00:00	265	145,76
2021-07-04 01:00	249	20,77
2021-07-04 02:00	200	0,07
2021-07-04 03:00	192	0,01
2021-07-04 04:00	192	0,01
2021-07-04 05:00	192	0,01
2021-07-04 06:00	192	0,01
2021-07-04 07:00	200	0,01
2021-07-04 08:00	349	0,01
2021-07-04 09:00	349	135,22
2021-07-04 10:00	299	3054,28
2021-07-04 11:00	295	0,01
2021-07-04 12:00	200	0,01
2021-07-04 13:00	299	0,01
2021-07-04 14:00	300	0,01
2021-07-04 15:00	334	0,01
2021-07-04 16:00	334	0,01
2021-07-04 17:00	652,5	36,2
2021-07-04 18:00	734	734
2021-07-04 19:00	734	403,71
2021-07-04 20:00	734	403,71
2021-07-04 21:00	748,15	1684,78
2021-07-04 22:00	748,15	411,51
2021-07-04 23:00	280	799,77

1.5 Збільшення кількості метеопостів як вирішення проблеми прогнозування в Україні

Точність прогнозування генерації ВДЕ напряму залежить від точності прогнозу погоди. Розвиток штучного інтелекту не стоїть на місці, але розрахунок на основі нього передбачає навчання на історичних даних погоди. І якщо ці дані не відповідають дійсності, тоді у результаті використання такої моделі збільшується похибка прогнозування. Саме тому основним напрямком покращення прогнозування виробітку ВДЕ є зменшення похибки прогнозування погоди.

Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є використання сучасних математичних моделей та машинного штучного інтелекту для прогнозування погоди. Хоча математики десятиліттями використовують ШІ для знаходження закономірностей, зростаюча потужність комп'ютерного навчання показує, що дані мережі допомагають обробляти великі масиви даних та знаходити нові закономірності та зв'язки [14]. Для прогнозування погоди необхідно обробляти величезні масиви даних та знаходити закономірності між ними. У своєму дослідженні вчені використовували системи штучного інтелекту, які були розроблені DeepMind, яка впровадила штучний інтелект для підвищення точності прогнозу погоди. А тому ці відкриття, можуть допомогти в області покращення прогнозу погоди. Коли справа доходить до складних, довгих рівнянь, це може бути важливим. Але будь-який машинний метод навчання не дає гарних результатів без наявності достовірних історичних даних, за які відповідають метеорологічні станції та пости. В Україні у цьому напрямку не було розвитку та переоснащення ще з 1970-х років.

Тому необхідно піднімати питання можливості збільшення метеопостів на території України. Адже більшість метеопостів є застарілими та не були оснащені новими вимірювальними приладами. Для прикладу можна порівняти кількість метеопостів в Україні та у країн ЄС. Для цього використаємо платформу «Weatherspark». Для прикладу візьмемо територію навколо українського міста

Вінниця та німецького – Гамбург. Території ідентичні та мають розмір 130×70 км [15].

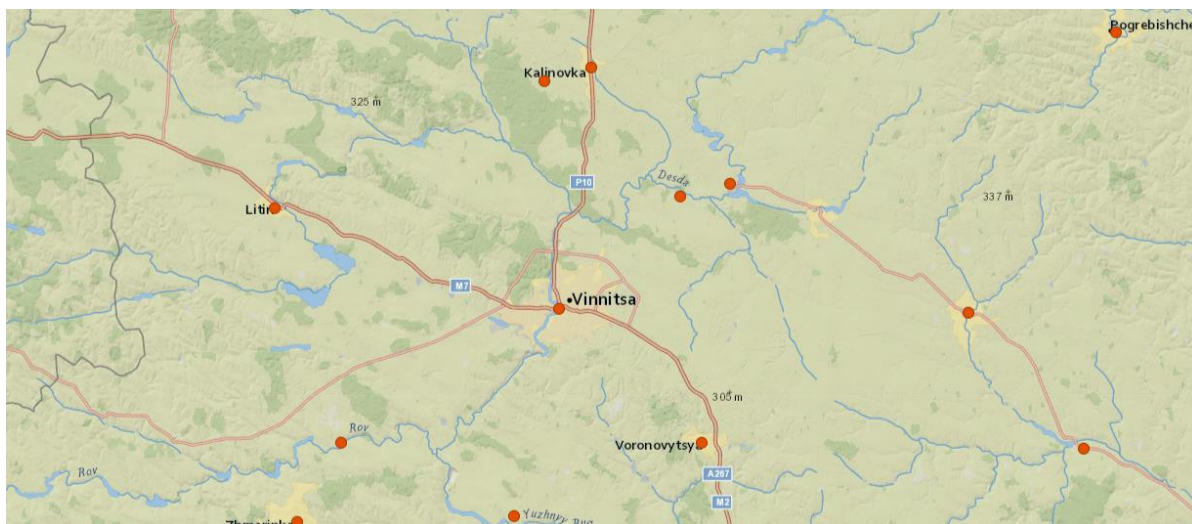


Рисунок 1.7 – Кількість метеопостів навколо м. Вінниця (Україна)

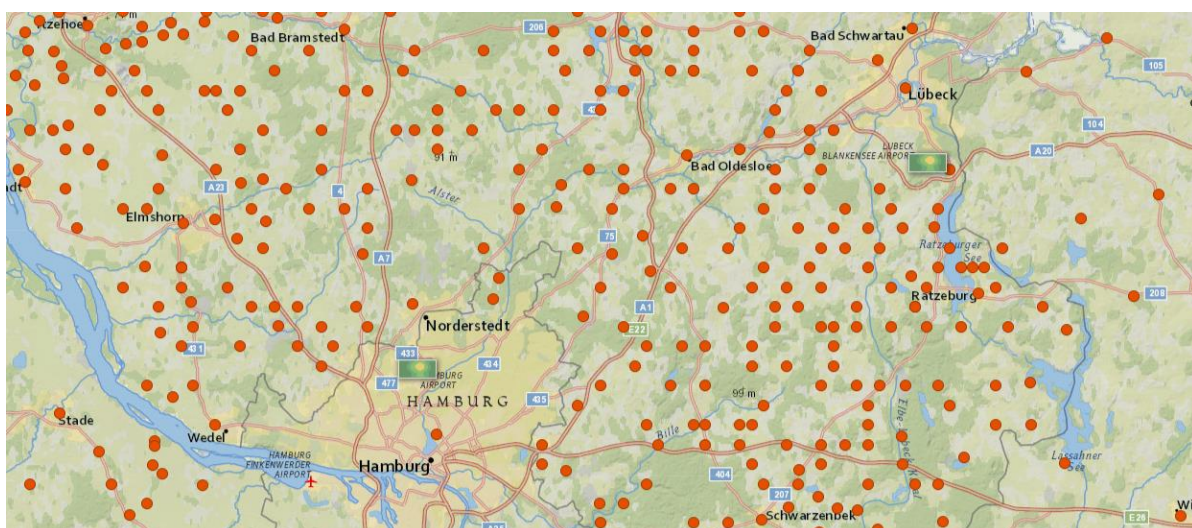


Рисунок 1.8 – Кількість метеопостів навколо м. Гамбург (Німеччина)

Підраховавши кількість метеопостів отримуємо частоту метеопостів на 1 км^2 . Навколо Вінниці знаходиться 12 метеопостів на територію в $130 \times 70 = 9100 \text{ км}^2$. Тобто один метеопост на $758,33 \text{ км}^2$. У Німеччині цей показник – $31,38 \text{ км}^2$. Різниця дуже очевидна, і це не може не впливати на якість прогнозів погоди. Адже навіть європейські та американські метеослужби проводять свої розрахунки на основі історичних даних. А з такою щільністю метеопостів отримати точний прогноз неможливо.

Тому ДСНС України розпочала співпрацю з американською метеорологічною компанією Baron Critical Weather Intelligence [16]. Меморандум про це було підписано в березні цього року в Києві. Співпраця спрямована на повне реформування гідрометеорологічної системи країни.

За даними міністерства, в Україні з'являться 13 великих радарів і кілька тисяч спеціальних датчиків, які зможуть зробити прогноз погоди швидшим і надійнішим, а отже, завчасно знати про можливі небезпечні погодні та природні явища.

Нову гідрометеорологічну систему мають побудувати в Україні за 2-3 роки.

Заснована в 1989 році, Baron Critical Weather Intelligence є однією з провідних американських компаній у галузі прогнозування погоди. Технологія Baron дозволяє стежити за штормами та поширювати дану інформацію серед клієнтів – державних установ, ВПС, морської промисловості, а також захищати кожен бізнес і кожну родину від несприятливих погодних умов.

РОЗДІЛ 2. ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБІТКУ ВДЕ

2.1 Задача прогнозування виробленої електроенергії ВДЕ

Сьогодні технологічні особливості розвитку енергетики не дозволяють запасати електроенергію у великих кількостях: вона виробляється і споживається майже одночасно. Дуже важливо підтримувати баланс цих процесів для стабільної та надійної роботи енергосистеми [17]. З традиційними джерелами енергії ситуація інша: ГЕС чи ТЕС мають можливість регулювати свій виробіток в залежності від попиту.

Сонячні або вітряні електростанції не тільки не допомагають збалансувати систему, але ще більше її ускладнюють. Адже кількість електроенергії, що виробляється СЕС та ВЕС, є змінною і залежить від погодних умов, які неможливо контролювати.

Зі збільшенням частки ВДЕ стає все важче інтегрувати нові станції в мережу. Ризики перевиробництва або дефіциту електроенергії в певні періоди збільшуються, що негативно впливає як на надійність системи, так і на прибуток виробників електроенергії.

Системи прогнозування допомагають дещо вирішити проблему мінливості виробітку між сонячними та вітровими електростанціями: вони дозволяють визначити обсяг виробництва електроенергії, яка буде через кілька годин.

Багато компаній сьогодні надають послуги в даній сфері та розробляють нові варіанти програмного забезпечення для прогнозування. обов'язковим елементом є прогноз погоди, який зазвичай базується на супутникових знімках і даних чисельних моделей прогнозу погоди.

Дані про погоду, які використовують у такому програмному забезпеченні, відрізняється від тієї, яка є корисною нам у нашому житті. Наприклад, швидкість вітру не близько до землі, а при висоті турбін, які знаходяться на вище на 50-150 метрів. Величина сонячного світла та характер хмар також надзвичайно важливі: їх щільність, товщина та висота можуть змінювати рух променів.

Крім того, важливо, щоб системи прогнозування виробництва електроенергії враховували особливості самих електростанцій [19]. Це може бути висота і розмір пропелера вітрогенератора, розміщення, нахил, рівень пилу в сонячних панелях тощо.

Впровадження машинного навчання значно підвищило точність систем прогнозування. Вони дають змогу не тільки обробляти значні обсяги вже раніше обговореної інформації, але й порівняти прогноз з результатом роботи певної електростанції зараз та раніше за подібних умов. Це дозволяє налаштувати та уточнити модель прогнозування.

Сьогодні в Україні майже 7% виробництва електричної енергії припадає на сонячну (5%) і вітрову (2%), виробіток яких напряму залежить від погодних умов. З 2021 року виробники несуть відповідальність за некоректні прогнози виробітку електроенергії, тому у них не було стимулу вдосконалювати свою систему прогнозування.

Впливати на них почав Закон «Про внесення змін до деяких законів України щодо покращення умов забезпечення виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії».[20] Він знизив тариф на енергію ВДЕ, а й передбачав відповідальність виробника за небаланси, тобто за відхилення фактичного погодинного виробництва ВДЕ від попереднього прогнозу. Різниця в 10% для виробництва вітру та 5% для виробництва сонячної енергії була визнана прийнятною.

За балансування зеленого струму відповідає Гарантований покупець – і тепер виробники зобов'язані відшкодувати компанії витрати на врегулювання небалансів, спричинених їх неправильним прогнозом. З 2021 року станції потужністю понад 1 МВт відшкодуватимуть 50%, а з 2022 року – 100% витрат на розрахунки. Менші СЕС повністю погасять небаланси у 2030 році: вони встановлені на рівні 10% зобов'язань із щорічним збільшенням на 10%.

За даними Центру Разумкова, до введення відповідальності середній дисбаланс для українських сонячних електростанцій становив 25%, а для вітрових

- 45%. При налагодженні системи прогнозу графіка постачання електроенергії очікувалося, що цей показник знизиться до 10% і 14% відповідно.

2.2 Розрахунок виробленої електроенергії СЕС

Для прогнозування виробництва СЕС та ВЕС була використана модель поліноміальної регресії (рис. 2.1) [18].

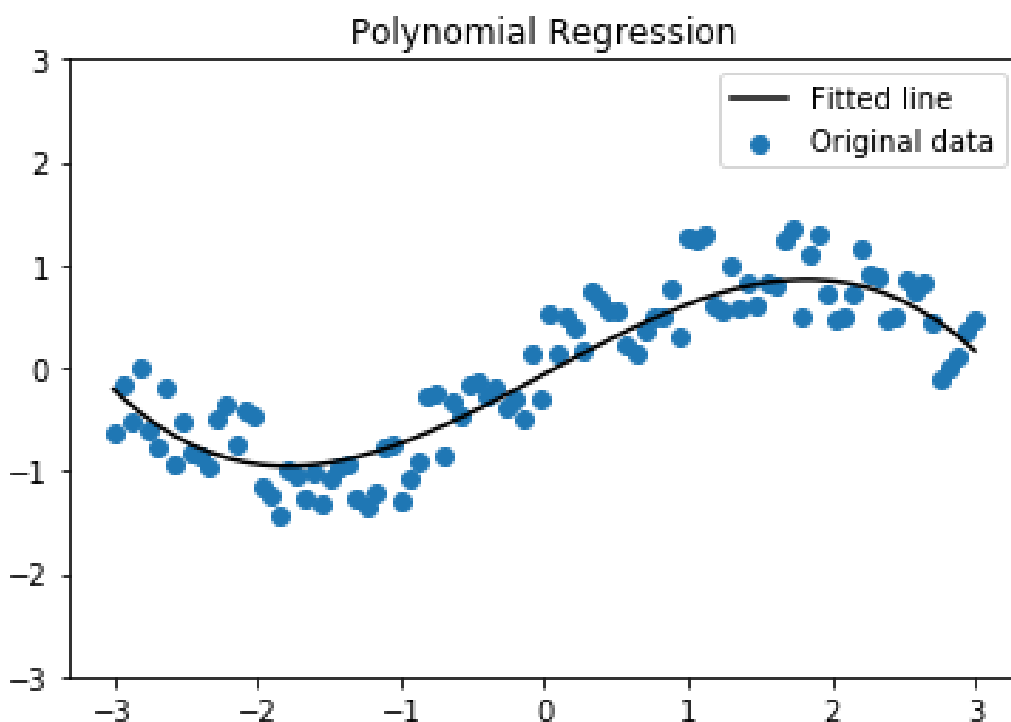


Рисунок 2.1 – Поліноміальна регресія

На практиці залежно від ситуації при побудові регресійних моделей використовуються лінійні, параболічні та інші види функцій. У рамках математичної статистики найчастіше розглядається модель лінійної регресії. Іноді це стосується більш складного випадку – параболічної моделі. Загалом, неважко припустити, що лінійна та параболічна моделі є деякими випадками більш складної моделі – поліномами. Побудувати регресійну модель означає знайти параметри функції, яка в ній фігурує. Для лінійної регресії – два параметри: коефіцієнт і вільний член.

Поліноміальну регресію можна використовувати в математичній статистиці при моделюванні компонентів тренду часових рядів. По суті, часовий ряд – це ряд залежних від часу чисел. Наприклад, багато значень температури повітря за всі дні попереднього року або виручка компанії по місяцях. Порядок спрогнозованого полінома аналізується спеціальними методами, такими як критерій ряду. Метою побудови моделей поліноміальних регресій в областях часових рядів і сама – передбачення.

Для початку розглянемо проблему поліноміальної регресії в цілому. Усі міркування базуються на узагальненні міркувань у задачах лінійної та параболічної регресії. Переходимо до розгляду цієї моделі для прогнозування СЕС.

Для виробничого прогнозу нам потрібна якась навчальна вибірка, ми надаємо вхідні дані генерації та прогнозні метеорологічні дані за попередні два місяці. Після аналізу впливу різних метеорологічних параметрів було визначено, що найбільший вплив на генерацію фотоелектричних установок має прогноз сонячної радіації та хмар. Тому за метеорологічні параметри слід брати два цих показника. У цьому випадку ми встановлюємо максимальне і мінімальне значення для правильного навчання. На рис. 2.2 наведено модель, на базі якої планується виробництво СЕС 470 кВт, що розташована в місті Вінниця.

У результаті отримуємо дані прогнозу, які наведено в табл. 2.1 і на рис.2.3 – рис. 2.5.

```

date_from = "2021-05-01"
date_to = "2021-06-29"
gen_df = getgeneration(station, date_from, date_to)

meteo = getmeteo(id_station, date_from, date_to)
meteo_df = meteo[['dswrf', 'total_cloud', 'dt']]

data_df = gen_df.set_index('DATETIME').join(meteo_df.set_index('dt'))
data_df = data_df.dropna()

gen_max = 470
gen_min = 0
dswrf_max = 925
dswrf_min = 0
total_cloud_max = 100
total_cloud_min = 0

train_df = pd.DataFrame()
train_df['dswrf'] = (data_df['dswrf'] - dswrf_min) / (dswrf_max - dswrf_min)
train_df['total_cloud'] = (data_df['total_cloud'] - total_cloud_min) / (total_cloud_max - total_cloud_min)
train_df['Generation'] = (data_df['Generation'] - gen_min) / (gen_max - gen_min)
train_df = train_df.dropna()

pred_cols = ['dswrf', 'total_cloud']

tr_x = train_df[pred_cols]
tr_y = pd.DataFrame(train_df['Generation'])

date_from_test = "2021-07-01"
date_to_test = "2021-08-01"

gen_df_test = getgeneration(station, date_from_test, date_to_test)
meteo_test = getmeteo(id_station, date_from_test, date_to_test)
wind_df_test = meteo_test[['dswrf', 'total_cloud', 'dt']]

data_df_test = gen_df_test.set_index('DATETIME').join(wind_df_test.set_index('dt'))
data_df_test = data_df_test.dropna()

test_df = pd.DataFrame()
test_df['dswrf'] = (data_df_test['dswrf'] - dswrf_min) / (dswrf_max - dswrf_min)
test_df['total_cloud'] = (data_df_test['total_cloud'] - total_cloud_min) / (total_cloud_max - total_cloud_min)
test_df = test_df.dropna()

ts_x = test_df[pred_cols]
test_X = np.array(ts_x)

model = get_polynom_model(2, tr_x, tr_y)

forecastpv = model.predict(test_X)

pred = forecastpv * (gen_max - gen_min) + gen_min
test_df['predict'] = pred
test_df.to_excel('D:/Прогноз СЕС.xlsx', engine='openpyxl')

```

Рисунок 2.2 – Прогнозна модель виробітку СЕС

Таблиця 2.1 – Результати прогнозування СЕС

Дата	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 год	11 год	12 год	13 год	14 год	15 год	16 год	17 год	18 год	19 год	20 год	21 год	22 год	23 год	24 год
01.07.21	0	0	0	0	0	0.001	0.008	0.051	0.131	0.214	0.288	0.350	0.395	0.420	0.325	0.341	0.361	0.287	0.238	0.159	0.006	0	0	0
02.07.21	0	0	0	0	0	0.001	0.010	0.055	0.135	0.219	0.293	0.356	0.377	0.394	0.393	0.375	0.356	0.311	0.240	0.000	0.000	0	0	0
03.07.21	0	0	0	0	0	0.002	0.016	0.043	0.131	0.213	0.289	0.350	0.395	0.419	0.422	0.388	0.362	0.306	0.236	0.149	0.052	0	0	0
04.07.21	0	0	0	0	0	0.001	0.007	0.035	0.094	0.148	0.277	0.327	0.355	0.374	0.374	0.327	0.331	0.310	0.245	0.149	0.005	0	0	0
05.07.21	0	0	0	0	0	0.006	0.011	0.059	0.138	0.220	0.284	0.310	0.290	0.298	0.221	0.301	0.337	0.313	0.223	0.138	0.002	0	0	0
06.07.21	0	0	0	0	0	0.009	0.011	0.060	0.139	0.208	0.220	0.234	0.267	0.300	0.363	0.344	0.338	0.297	0.239	0.175	0.086	0	0	0
07.07.21	0	0	0	0	0	0.001	0.012	0.061	0.139	0.201	0.298	0.361	0.379	0.286	0.231	0.173	0.128	0.197	0.168	0.094	0.044	0	0	0
08.07.21	0	0	0	0	0	0.010	0.014	0.028	0.115	0.220	0.281	0.323	0.355	0.221	0.143	0.122	0.182	0.155	0.138	0.114	0.052	0	0	0
09.07.21	0	0	0	0	0	0.008	0.013	0.066	0.148	0.231	0.293	0.362	0.404	0.429	0.428	0.403	0.386	0.330	0.258	0.177	0.087	0	0	0
10.07.21	0	0	0	0	0	0.006	0.013	0.065	0.147	0.231	0.309	0.371	0.375	0.336	0.314	0.313	0.306	0.257	0.225	0.155	0.078	0	0	0
11.07.21	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.003	0.009	0.034	0.047	0.033	0.041	0.050	0.055	0.116	0.060	0.033	0.037	0.023	0.005	0	0	0
12.07.21	0	0	0	0	0	0.017	0.017	0.042	0.082	0.129	0.206	0.216	0.264	0.267	0.253	0.232	0.326	0.262	0.205	0.149	0.090	0	0	0
13.07.21	0	0	0	0	0	0.016	0.020	0.062	0.145	0.224	0.279	0.332	0.368	0.361	0.329	0.314	0.325	0.228	0.224	0.146	0.074	0	0	0
14.07.21	0	0	0	0	0	0.010	0.013	0.063	0.145	0.225	0.299	0.360	0.404	0.419	0.427	0.413	0.381	0.324	0.254	0.162	0.086	0	0	0
15.07.21	0	0	0	0	0	0.016	0.014	0.067	0.144	0.208	0.307	0.362	0.406	0.432	0.436	0.418	0.348	0.303	0.252	0.175	0.091	0	0	0
16.07.21	0	0	0	0	0	0.017	0.026	0.085	0.153	0.226	0.310	0.371	0.378	0.381	0.379	0.423	0.357	0.309	0.248	0.182	0.099	0	0	0
17.07.21	0	0	0	0	0	0.009	0.016	0.072	0.152	0.233	0.307	0.368	0.411	0.436	0.440	0.423	0.386	0.331	0.262	0.182	0.100	0	0	0
18.07.21	0	0	0	0	0	0.007	0.012	0.072	0.152	0.232	0.305	0.365	0.408	0.409	0.398	0.384	0.382	0.327	0.258	0.181	0.099	0	0	0
19.07.21	0	0	0	0	0	0.017	0.022	0.061	0.145	0.233	0.309	0.329	0.394	0.433	0.362	0.408	0.383	0.329	0.257	0.181	0.100	0	0	0
20.07.21	0	0	0	0	0	0.009	0.017	0.076	0.156	0.237	0.310	0.370	0.413	0.399	0.425	0.414	0.295	0.280	0.223	0.132	0.000	0	0	0
21.07.21	0	0	0	0	0	0.009	0.017	0.074	0.157	0.238	0.311	0.352	0.377	0.401	0.407	0.394	0.363	0.313	0.247	0.172	0.095	0	0	0
22.07.21	0	0	0	0	0	0.006	0.017	0.079	0.161	0.242	0.317	0.377	0.421	0.444	0.447	0.429	0.392	0.336	0.267	0.187	0.105	0	0	0
23.07.21	0	0	0	0	0	0.009	0.018	0.082	0.163	0.245	0.321	0.383	0.425	0.449	0.452	0.434	0.397	0.341	0.271	0.191	0.108	0	0	0
24.07.21	0	0	0	0	0	0.009	0.019	0.081	0.160	0.241	0.314	0.374	0.417	0.441	0.445	0.414	0.371	0.328	0.266	0.187	0.106	0	0	0
25.07.21	0	0	0	0	0	0.017	0.025	0.073	0.141	0.211	0.260	0.280	0.340	0.378	0.388	0.005	0.006	0.009	0.009	0.009	0	0	0	0
26.07.21	0	0	0	0	0	0.004	0.027	0.088	0.148	0.203	0.290	0.337	0.377	0.393	0.397	0.386	0.322	0.308	0.254	0.176	0.104	0	0	0
27.07.21	0	0	0	0	0	0.017	0.020	0.051	0.134	0.196	0.220	0.283	0.312	0.306	0.383	0.342	0.281	0.250	0.180	0.123	0.007	0	0	0
28.07.21	0	0	0	0	0	0.006	0.017	0.078	0.154	0.225	0.255	0.337	0.381	0.370	0.373	0.391	0.334	0.272	0.197	0.121	0.060	0	0	0
29.07.21	0	0	0	0	0	0.001	0.021	0.043	0.075	0.146	0.179	0.232	0.291	0.389	0.413	0.375	0.353	0.342	0.269	0.177	0.108	0	0	0
30.07.21	0	0	0	0	0	0.016	0.028	0.071	0.144	0.229	0.255	0.368	0.417	0.411	0.388	0.359	0.251	0.205	0.176	0.168	0.113	0	0	0
31.07.21	0	0	0	0	0	0.017	0.016	0.070	0.158	0.223	0.227	0.295	0.369	0.397	0.442	0.426	0.347	0.290	0.221	0.139	0.099	0	0	0

Прогноз і Генерація

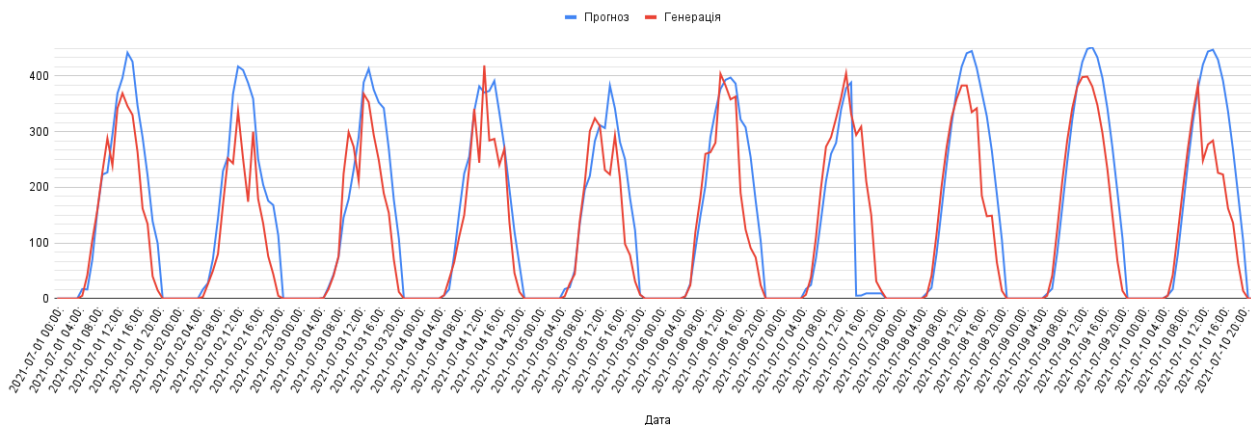


Рисунок 2.3 – Порівняння факту та прогнозу за 01.07.21 – 10.07.21

Прогноз і Генерація

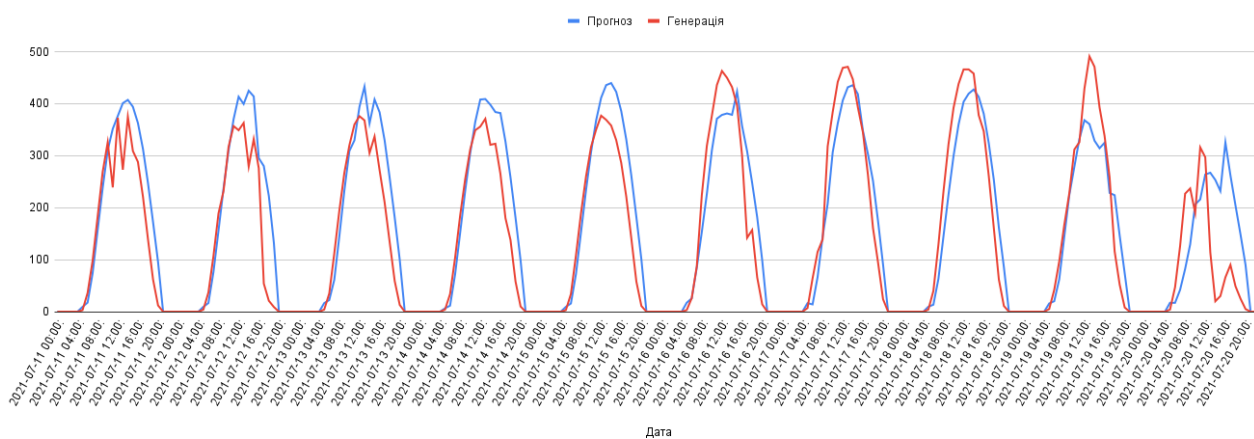


Рисунок 2.4 – Порівняння факту та прогнозу за 11.07.21 – 20.07.21

Прогноз і Генерація

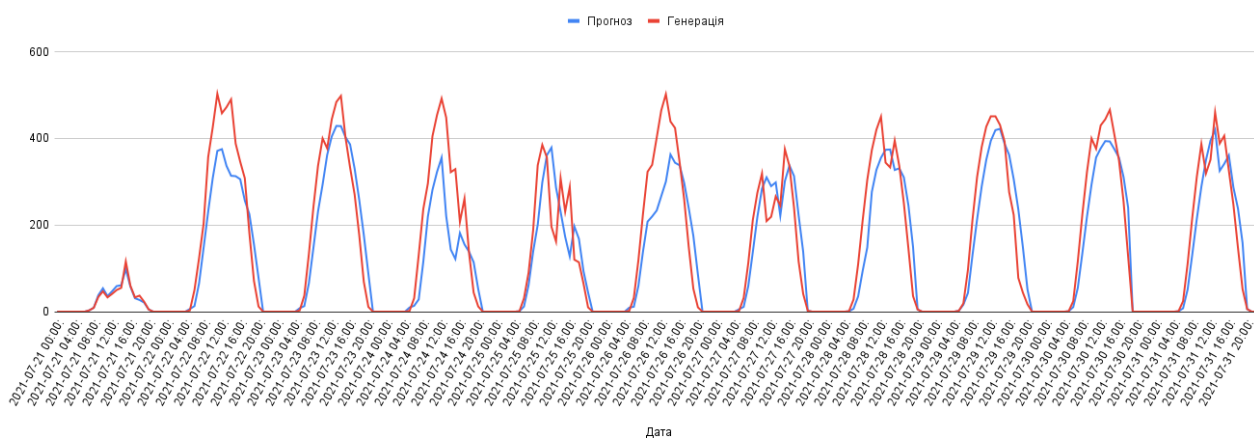


Рисунок 2.5 – Порівняння факту та прогнозу за 21.07.21 – 31.07.21

Сумарний спрогнозований обсяг електроенергії за період з 01.07.21 по 31.07.21 становить 107,939 МВт·год

Сумарний згенерований обсяг електроенергії за період з 01.07.21 по 31.07.21 становить 102,172 МВт·год

Похибка прогнозування по обсягу спрогнозованого до згенерованого обсягу становить 5,64 %.

2.3 Розрахунок виробленої електроенергії ВЕС

Прогнозування ВЕС відбувалося тією ж моделлю. Різниця полягає лише у змінених обмеженнях вхідних величин та іншими вхідними прогнозними даними. Для прогнозування виробництва електроенергії вітрової станції будемо використовувати швидкість вітру та два показника напрямку – “ u ” та “ v ”.

Напрямок вітру змінюється за годинниковою стрілкою так, що північний вітер становить 0° , східний вітер — 90° , південний — 180° , а західний — 270° .

Оскільки тригонометрія використовує полярну систему координат, в якій 0° знаходиться вздовж осі x , визначення метеорологічного кута може ускладнити типові розрахунки кутів[21].

Тому є компоненти вітру, u і v , які враховують метеорологічний кут вітру. Нехай φ — кут напрямку метеорологічного вітру, тоді можна застосувати такі рівняння:

$$u = -|\vec{V}| \sin \varphi$$

$$v = -|\vec{V}| \cos \varphi$$

$$|\vec{V}| = \sqrt{u^2 + v^2},$$

де φ має бути в радіанах; якщо ж φ в градусах, то необхідно помножити кут на $\pi/180$.

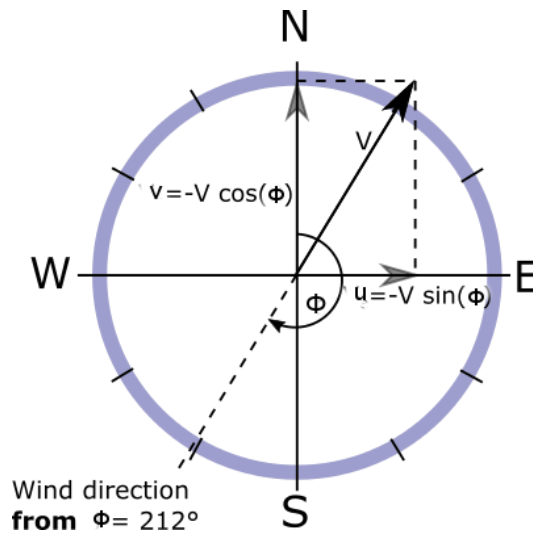


Рисунок 2.6 – Розрахунок u та v компонентів вітру

Зміни в прогнозній моделі відображені на рис. 2.7.

За розрахунковий період взято проміжок між 01.07.21 та 26.07.21. У зв'язку з ремонтними роботами на ВЕС у період з 26.07.21 та 31.07.21.

У результаті моделювання отримаємо наступні результати, які наведено в табл. 2.2 і на рис. 2.8 – рис. 2.10.

```

gen_max = 40000
gen_min = 0
u_wind_max = 10
u_wind_min = -10
v_wind_max = 10
v_wind_min = -10
wind_speed_max = 50
wind_speed_min = 0

train_df = pd.DataFrame()
train_df['wind_speed'] = (data_df['wind_speed'] - wind_speed_min) / (wind_speed_max - wind_speed_min)
train_df['u-wind'] = (data_df['u-wind'] - u_wind_min) / (u_wind_max - u_wind_min)
train_df['v-wind'] = (data_df['v-wind'] - v_wind_min) / (v_wind_max - v_wind_min)
train_df['Generation'] = (data_df['Generation'] - gen_min) / (gen_max - gen_min)
train_df = train_df.dropna()

pred_cols = ['v-wind', 'u-wind', 'wind_speed']

test_df = pd.DataFrame()
test_df['wind_speed'] = (data_df_test['wind_speed'] - wind_speed_min) / (wind_speed_max - wind_speed_min)
test_df['u-wind'] = (data_df_test['u-wind'] - u_wind_min) / (u_wind_max - u_wind_min)
test_df['v-wind'] = (data_df_test['v-wind'] - v_wind_min) / (v_wind_max - v_wind_min)
test_df = test_df.dropna()

```

Рисунок 2.7 – Прогнозна модель виробітку ВЕС

Прогноз і Генерація

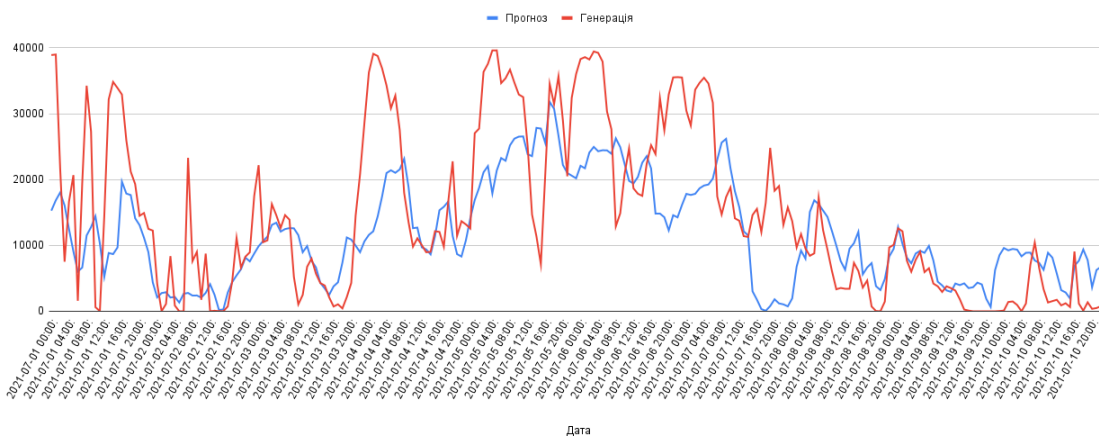


Рисунок 2.8 – Порівняння факту та прогнозу за 01.07.21 – 10.07.21

Прогноз і Генерація

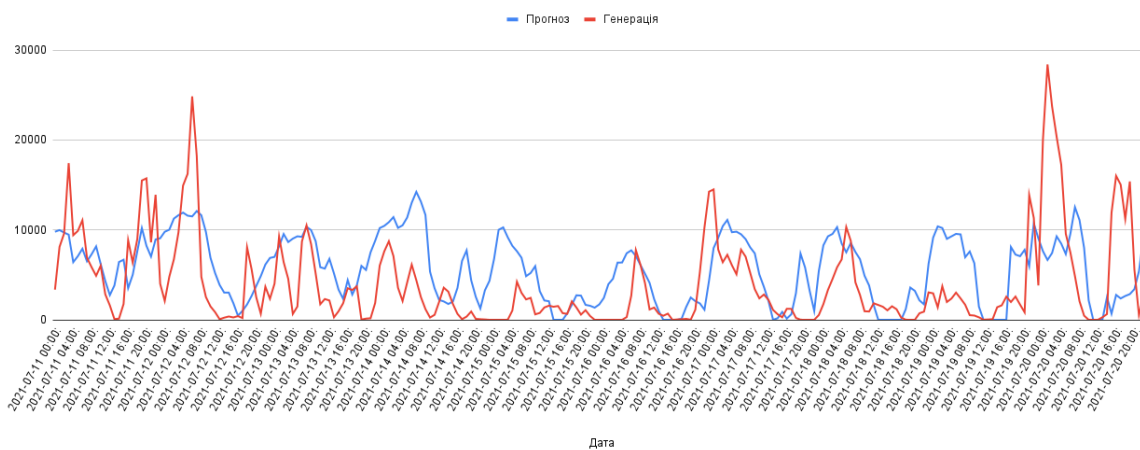


Рисунок 2.9 – Порівняння факту та прогнозу за 01.07.11 – 10.07.20

Прогноз і Генерація

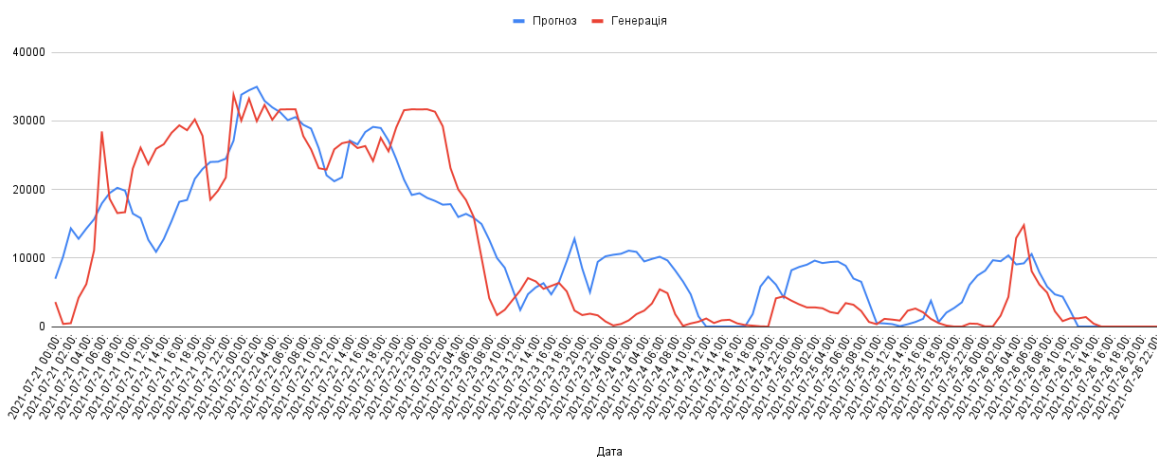


Рисунок 2.10 – Порівняння факту та прогнозу за 21.07.21 – 26.07.21

Сумарний спрогнозований обсяг електроенергії за період з 01.07.21 по 31.07.21 становить 5868,36 МВт·год

Сумарний згенерований обсяг електроенергії за період з 01.07.21 по 31.07.21 становить 6039,25 МВт·год

Похибка прогнозування по обсягу спрогнозованого до згенерованого обсягу становить 2,83 %.

2.4 Розрахунок витрат на врегулювання небалансів

Обсяг частки відшкодування вартості врегулювання небалансу електричної енергії $CIEQ_{z,t}^p$ продавця та споживача за «зеленим» тарифом p , що входять до балансуєчої групи гарантованого покупця GB (далі – відшкодування), у розрахунковому періоді t торгової зони z розраховується за формулою [22]:

$$CIEQ_{z,t}^p = \frac{CIEQ_{z,t}^p}{\sum_p CIEQ_{z,t}^p} \cdot CIEQ_{GB,z,t}, \text{ грн}, \quad (2.1)$$

де $CIEQ_{z,t}^p$ - витрати, пов'язані з врегулюванням небалансу продавця та споживача за «зеленим» тарифом p , що входять до балансуєчої групи гарантованого покупця GB , у розрахунковому періоді t торгової зони z з урахуванням коефіцієнта допустимого відхилення фактичних погодинних обсягів відпуску електричної енергії від погодинного графіка відпуску електричної енергії для типу генеруючої одиниці продавця або споживача за «зеленим» тарифом та частки відшкодування гарантованому покупцю генеруючою одиницею продавця або споживача за «зеленим» тарифом вартості врегулювання небалансу гарантованого покупця, визначених відповідно до Закону, що розраховуються за формулами:

якщо $\varepsilon_{z,t}^p > 0$,

$$\text{то } CIEQ_{z,t}^p = \varepsilon_{z,t}^p \cdot (PDAM_{z,t} - \min(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 - K^{im})), \text{ грн,} \quad (2.2)$$

якщо $\varepsilon_{z,t}^p < 0$,

$$\text{то } CIEQ_{z,t}^p = |\varepsilon_{z,t}^p| \cdot (\max(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 + K^{im}) - PDAM_{z,t}), \text{ грн,} \quad (2.3)$$

якщо $\varepsilon_{z,t}^p = 0$, то $CIEQ_{z,t}^p = 0$ грн,

де K^{im} - коефіцієнт ціни небалансу, визначений згідно з Правилами ринку;

$IMSP_{z,t}$ - ціна небалансу електричної енергії в розрахунковому періоді t торгової зони z , грн/ $MBm \cdot год$;

$PDAM_{z,t}$ - визначена на торгах на РДН ціна купівлі-продажу електричної енергії в торговій зоні z для розрахункового періоду t , грн/ $MBm \cdot год$;

$\varepsilon_{z,t}^p$ - величина врахованого відхилення фактичного обсягу відпуску/споживання електричної енергії генеруючими одиницями e продавця або споживача за «зеленим» тарифом p , що входять до балансуєчої групи гарантованого покупця GB , від його прогнозного погодинного графіка відпуску електричної енергії (позитивне/негативне значення) з урахуванням обсягів не відпущеної електричної енергії генеруючими одиницями продавців у результаті виконання команд ОСП на зменшення навантаження продавців у розрахунковому періоді t торгової зони z , що розраховується за формулою

$$\varepsilon_{z,t}^p = \sum_{e \in p} \varepsilon_{z,t}^e \text{ } MBm \cdot год, \quad (2.4)$$

де $\varepsilon_{z,t}^e$ - урахована величина відхилення фактичного обсягу відпуску/споживання електричної енергії генеруючої одиниці e продавця або споживача за «зеленим» тарифом p (позитивне/негативне значення), що входять

до балансуєної групи гарантованого покупця GB, з урахуванням обсягів не відпущеної електричної енергії генеруючими одиницями продавців у результаті виконання команд ОСП на зменшення навантаження продавців від його погодинного графіка відпуску/споживання електричної енергії (позитивне/негативне значення) в розрахунковому періоді t торгової зони z , що визначається за формулами:

$$\text{якщо } PR_{z,t}^e \neq 0 \text{ та } \frac{|W_{z,t}^e - PR_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e|}{|PR_{z,t}^e|} \cdot 100 > \alpha^e, \quad (2.5)$$

$$\text{то } \varepsilon_{z,t}^e = (W_{z,t}^e - PR_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e) \cdot \alpha^e / 100, \text{ } MBm \cdot \text{год} \quad (2.6)$$

$$\text{якщо } PR_{z,t}^e = 0 \text{ та } W_{z,t}^e \neq 0, \quad (2.7)$$

$$\text{то } \varepsilon_{z,t}^e = (W_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e) \cdot \alpha^e / 100, \text{ } MBm \cdot \text{год} \quad (2.8)$$

$$\text{в іншому випадку } \varepsilon_{z,t}^e = 0, \text{ } MBm \cdot \text{год}, \quad (2.9)$$

де α^e - допустиме відхилення фактичних погодинних обсягів відпуску електричної енергії від погодинного графіка відпуску електричної енергії для типу генеруючої одиниці продавця або споживача за «зеленим» тарифом згідно з Законом, %;

$W_{z,t}^e$ - фактичний обсяг відпуску/споживання електричної енергії генеруючою одиницею e продавця або споживача за «зеленим» тарифом p , що входять до балансуєної групи гарантованого покупця GB, у розрахунковому періоді t торгової зони z , визначений згідно з главою 8 цього Порядку, $MBm \cdot \text{год}$;

$PR_{z,t}^e$ - обсяг відпуску електричної енергії генеруючою одиницею e продавця або споживача за «зеленим» тарифом p (позитивне/негативне значення), що входять до балансуєної групи гарантованого покупця GB, у розрахунковому періоді t торгової зони z , що був спрогнозований продавцем або споживачем за «зеленим» тарифом p (позитивне/негативне значення) та наданий гарантованому покупцю у порядку, визначеному пунктами 4.1 та 4.3 глави 4 цього Порядку та пунктами 3.1 та 3.3 глави 3 Порядку продажу споживачами, $MBm \cdot \text{год}$;

$\Delta W_{z,t}^e$ - обсяг невідпущеної електричної енергії генеруючою одиницею e продавця p (позитивне значення), що входить до балансуючої групи гарантованого покупця GB, у розрахунковому періоді t торгової зони z в результаті виконання команд ОСП на зменшення навантаження;

$CIEQ_{z,t}^{p\`{}}$ - витрати, пов'язані з врегулюванням небалансу продавця та споживача за «зеленим» тарифом p , що входять до балансуючої групи гарантованого покупця GB, у розрахунковому періоді t торгової зони z , що розраховуються за формулою;

$CIEQ_{GB,z,t}$ - списання/нарахування, пов'язані з врегулюванням небалансів електричної енергії продавців та споживачів за «зеленим» тарифом, що входять до балансуючої групи гарантованого покупця GB, за розрахунковий період t в торгівій зоні z , що визначаються за формулою;

У випадку отримання оновлених даних комерційного обліку по генеруючих одиницях продавця або споживача за «зеленим» тарифом p , що входять до балансуючої групи гарантованого покупця, розрахунок обсягу відшкодування здійснюється з урахуванням таких даних.

Розрахунок СЕС. Розрахуємо вартість небалансів для 6:00 години розрахункового 01.07.21 дня:

Знайдемо відхилення прогнозу від факту генерації згідно формули (2.4).

$$PR_{z,t}^e = 0,001 \text{ МВт}, W_{z,t}^e = 0,005 \text{ МВт}, \Delta W_{z,t}^e = 0$$

$\varepsilon_{z,t}^e$ згідно умови (2.5) розраховуємо за формулою (2.6):

$$\varepsilon_{z,t}^e = (W_{z,t}^e - PR_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e) \cdot \alpha^e / 100$$

$$\varepsilon_{z,t}^e = 0,005 - 0,001 + 0 = 0,004 \text{ МВт}$$

$$\varepsilon_{z,t}^p = \varepsilon_{z,t}^e = 0,004$$

$\varepsilon_{z,t}^p > 0$, тому використовуємо формулу (2.2)

$$CIEQ_{z,t}^{p\`{}} = \varepsilon_{z,t}^p \cdot (\text{PDAM}_{z,t} - \min(\text{PDAM}_{z,t}, \text{IMSP}_{z,t})) \cdot (1 - K^{im}),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\`{}} = 0,004 \cdot (700 - \min(700, 172.08)) \cdot (1 - 0,05),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 0,004 \cdot (700 - 172.08) \cdot (0,95),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 2,146 \text{ грн}$$

За формулою (2.1) розрахуємо вартість врегулювання небалансу:

Відношення $\frac{CIEQ_{GB,z,t}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}}$ надається «Гарантованим покупцем» та представлені в додатку С.

$$CIEQ_{z,t}^p = \frac{CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}} \cdot CIEQ_{GB,z,t} \cdot k,$$

$$CIEQ_{z,t}^p = CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} \cdot 2,344 \cdot 0,1$$

$$CIEQ_{z,t}^p = 0,503 \text{ грн}$$

Розрахуємо вартість небалансів для 7:00 години розрахункового 01.07.21 дня:

$$PR_{z,t}^e = 0,008 \text{ МВт}, \quad W_{z,t}^e = 0,042 \text{ МВт}, \quad \Delta W_{z,t}^e = 0$$

$\varepsilon_{z,t}^e$ згідно умови (2.5) розраховуємо за формулою (2.6):

$$\varepsilon_{z,t}^e = (W_{z,t}^e - PR_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e) \cdot \alpha^e / 100$$

$$\varepsilon_{z,t}^e = 0,042 - 0,008 + 0 = 0,034 \text{ МВт}$$

$$\varepsilon_{z,t}^p = \varepsilon_{z,t}^e = 0,034$$

$\varepsilon_{z,t}^p > 0$, тому використовуємо формулу (2.2)

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = \varepsilon_{z,t}^p \cdot (PDAM_{z,t} - \min(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t})) \cdot (1 - K^{im}),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 0,004 \cdot (715 - \min(715, 48.82)) \cdot (1 - 0,05),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 0,004 \cdot (700 - 48.82) \cdot (0,95),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 22,9062 \text{ грн}$$

$$CIEQ_{z,t}^p = \frac{CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}} \cdot CIEQ_{GB,z,t} \cdot k,$$

$$CIEQ_{z,t}^p = CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} \cdot 2,2821 \cdot 0,1$$

$$CIEQ_{z,t}^p = 5,227 \text{ грн}$$

Провівши аналогічні розрахунки для кожної з годин прогнозованого періоду, а саме з 01.07.21 по 31.07.21 отримаємо загальну суму вартості небалансів за цей період.

Результати розрахунків наведено в табл. 2.3.

На рис. 2.11 наведено сумарні витрати на врегулювання небалансів поденно з 01.07.21 по 31.07.21.

Як бачимо, найбільша вартість припадає на 11.07.21, 25.07.21 та 31.07.21. Це пов'язано з великим коефіцієнтом торгівельної діяльності «Гарантованого

Покупця» - $\frac{CIEQ_{GB,z,t}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^p}$, а саме середньозважене значення за добу цього відношення становить 2,02, 3,43 та 2,15 відповідно.

Наведемо підсумкову таблицю (табл. 2.4) прогнозування СЕС.

Таблиця 2.3 – Вартість небалансів, грн

Доба	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 год	11 год	12 год	13 год	14 год	15 год	16 год	17 год	18 год	19 год	20 год	21 год	22 год	23 год	24 год
01.07.21	0	0	0	0	0	0,503	5,227	1,437	0,794	0,798	0,000	2,016	1,323	1,121	5,485	0,000	0,668	0,327	0,691	0,467	0,030	0	0	0
02.07.21	0	0	0	0	0	0,304	2,837	0,020	0,431	0,230	0,672	2,616	1,172	3,957	4,275	1,243	1,864	1,532	1,639	0,004	0,033	0	0	0
03.07.21	0	0	0	0	0	0,007	0,124	0,003	0,458	0,000	0,000	0,784	2,272	0,574	0,558	0,688	0,989	1,854	1,026	1,526	1,863	0	0	0
04.07.21	0	0	0	0	0	0,160	1,617	0,419	0,500	0,000	0,062	0,000	0,262	2,554	0,201	0,096	0,182	0,204	0,277	0,527	0,445	0	0	0
05.07.21	0	0	0	0	0	0,005	0,000	0,030	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,091	0,000	0,000	0,018	0,406	0,155	0,080	0,006	0	0	0
06.07.21	0	0	0	0	0	0,010	0,563	0,132	0,022	0,001	0,309	3,201	16,164	8,291	0,000	1,408	0,378	0,245	3,099	5,540	6,064	0	0	0
07.07.21	0	0	0	0	0	0,225	0,054	0,179	0,225	0,233	0,000	0,518	0,000	0,001	0,001	0,017	0,381	0,038	2,717	19,632	13,578	0	0	0
08.07.21	0	0	0	0	0	0,055	0,010	0,056	0,001	0,004	3,103	2,893	2,789	11,988	3,652	64,402	0,000	0,000	0,004	1,096	1,151	0	0	0
09.07.21	0	0	0	0	0	0,043	3,254	0,000	1,728	3,958	4,094	3,340	0,000	0,389	0,498	3,135	3,242	3,746	0,251	3,514	1,978	0	0	0
10.07.21	0	0	0	0	0	0,011	2,137	0,645	3,129	4,354	2,633	0,000	1,723	0,720	0,324	2,961	1,636	1,766	1,237	1,958	2,182	0	0	0
11.07.21	0	0	0	0	0	0,288	4,234	5,820	13,880	24,142	73,099	63,081	103,242	59,099	51,133	0,439	0,395	0,206	0,009	0,170	0,106	0	0	0
12.07.21	0	0	0	0	0	0,083	0,018	0,002	0,014	0,001	0,004	0,008	0,003	0,003	0,000	0,017	0,808	6,093	6,405	4,671	1,648	0	0	0
13.07.21	0	0	0	0	0	0,062	0,010	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,178	0,030	1,248	0,397	0,934	0,217	0,105	0	0	0
14.07.21	0	0	0	0	0	0,014	0,002	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,679	0,575	1,560	3,191	2,770	1,343	0,123	1,456	0,077	0	0	0
15.07.21	0	0	0	0	0	0,152	0,011	0,005	0,016	0,016	0,000	0,000	0,907	1,563	1,737	1,931	1,445	1,607	3,863	5,945	9,102	0	0	0
16.07.21	0	0	0	0	0	0,233	0,000	0,000	0,016	0,011	0,023	0,037	0,064	0,021	0,013	0,012	0,750	2,294	2,089	3,679	4,894	0	0	0
17.07.21	0	0	0	0	0	0,042	0,080	0,006	0,203	0,054	0,071	0,107	2,686	0,408	0,000	0,729	0,442	0,305	1,651	2,474	3,083	0	0	0
18.07.21	0	0	0	0	0	0,016	0,008	0,003	0,024	1,533	1,905	1,657	1,045	0,681	0,030	0,000	0,262	0,643	2,415	4,252	4,466	0	0	0
19.07.21	0	0	0	0	0	0,792	0,003	0,042	0,014	0,000	0,000	0,000	0,005	0,002	0,003	0,000	0,416	1,275	3,398	4,782	4,293	0	0	0
20.07.21	0	0	0	0	0	0,185	0,028	0,007	0,014	0,000	1,801	0,811	1,354	1,408	0,177	13,476	26,748	9,395	9,113	4,610	0,090	0	0	0
21.07.21	0	0	0	0	0	0,033	0,036	0,341	21,063	22,017	32,929	0,162	0,757	0,522	0,083	0,028	9,543	7,807	5,273	3,875	3,151	0	0	0
22.07.21	0	0	0	0	0	0,042	4,228	0,808	0,010	10,772	12,580	38,141	13,213	12,401	18,556	0,893	0,916	0,434	0,848	0,130	1,580	0	0	0
23.07.21	0	0	0	0	0	0,175	5,464	0,601	0,838	83,045	66,750	0,000	0,000	30,017	48,121	1,273	2,296	3,534	2,878	1,121	0,268	0	0	0
24.07.21	0	0	0	0	0	0,022	0,003	4,728	13,638	12,622	36,071	36,237	35,471	0,000	2,201	1,315	2,288	0,924	0,391	10,606	10,096	0	0	0
25.07.21	0	0	0	0	0	0,201	0,804	2,916	26,563	85,777	83,358	44,482	3,426	3,819	1,394	88,495	121,891	13,648	0,032	0,127	0,005	0	0	0
26.07.21	0	0	0	0	0	0,039	0,999	4,362	0,106	0,064	0,056	0,097	0,096	0,102	0,057	7,408	0,034	0,173	0,837	0,062	0,363	0	0	0
27.07.21	0	0	0	0	0	0,272	1,549	0,009	0,066	0,177	0,025	0,799	1,098	0,053	1,823	0,012	0,004	0,000	1,127	1,004	0,045	0	0	0
28.07.21	0	0	0	0	0	0,046	0,006	0,000	0,118	0,001	0,853	23,581	43,478	0,611	1,185	0,000	0,000	0,664	1,847	3,267	2,283	0	0	0
29.07.21	0	0	0	0	0	0,002	0,010	0,068	0,181	0,004	0,092	0,184	0,212	0,032	0,000	0,000	0,653	0,093	0,367	0,238	1,031	0	0	0
30.07.21	0	0	0	0	0	0,062	0,029	0,022	0,333	0,382	0,441	0,000	0,000	0,001	10,501	4,755	0,002	0,055	0,097	2,934	5,770	0	0	0
31.07.21	0	0	0	0	0	0,709	0,013	0,007	30,146	102,201	172,651	16,677	0,000	32,095	1,764	0,000	0,476	0,082	0,796	2,826	3,452	0	0	0

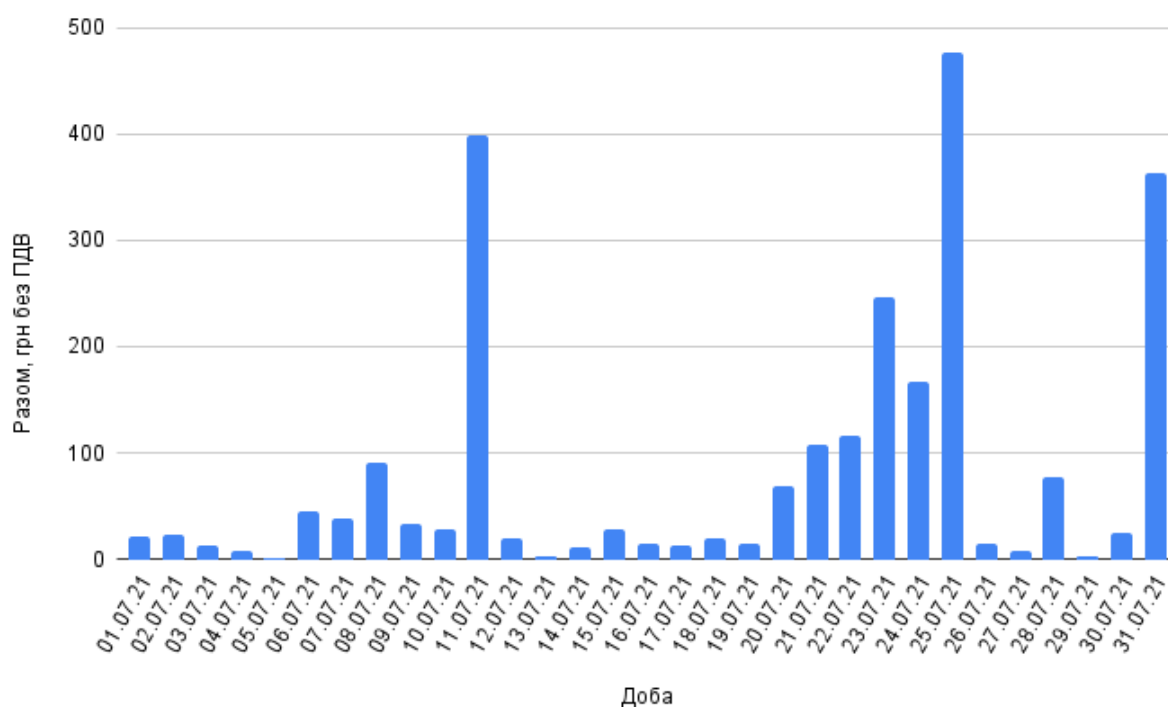


Рисунок 2.11 – Щоденні вартості небалансів

Таблиця 2.4 – Підсумкова таблиця по прогнозуванню СЕС

Доба	Остаточний прогноз, МВт год	Фактичний відпуск електроенергії, МВт год	Абсолютне відхилення, МВт год	Відповідальність, грн без ПДВ
01.07.2021	3,574	3,064	-0,496	20,89
02.07.2021	3,514	2,321	-1,193	22,83
03.07.2021	3,773	2,83	-0,962	12,72
04.07.2021	3,359	2,878	-0,495	7,51
05.07.2021	3,15	2,53	-0,629	0,80
06.07.2021	3, 288	3,141	-0,141	45,43
07.07.2021	2,771	3,346	0,601	37,80
08.07.2021	2,472	3,323	0,854	91,21
09.07.2021	4,024	3,668	-0,349	33,17

Продовження табл. 2.4

10.07.2021	3,501	2,978	-0,535	27,42
11.07.2021	0,546	3,129	2,583	399,34
12.07.2021	2,757	2,922	0,164	19,78
13.07.2021	3,448	3,364	-0,099	3,19
14.07.2021	3,985	3,263	-0,722	11,77
15.07.2021	3,977	3,41	-0,565	28,30
16.07.2021	3,944	3,89	-0,056	14,14
17.07.2021	4,127	4,133	-0,002	12,34
18.07.2021	3,99	4,163	0,179	18,94
19.07.2021	3,964	3,729	-0,214	15,02
20.07.2021	3,757	1,841	-1,915	69,22
21.07.2021	3,927	0,543	-3,384	107,62
22.07.2021	4,225	4,387	0,161	115,55
23.07.2021	4,287	4,213	-0,088	246,38
24.07.2021	4,172	3,802	-0,377	166,61
25.07.2021	2,161	2,88	0,718	476,94
26.07.2021	3,813	4,085	0,271	14,86
27.07.2021	3,105	2,997	-0,097	8,06
28.07.2021	3,571	3,735	0,157	77,94
29.07.2021	3,411	3,808	0,360	3,17
30.07.2021	3,59	4	0,381	25,38
31.07.2021	3,73	3,802	0,105	363,89
РАЗОМ	107,938	102,175	-5,791	2 498,22

Розрахунок ВЕС. Розрахуємо вартість небалансів для 01.07.21 та розрахункового часу між години 00:00 та 01:00 6:00 :

Знайдемо відхилення прогнозу від факту генерації згідно формули 2.4.

$$PR_{z,t}^e = 15,275 \text{ МВт}, W_{z,t}^e = 38,9 \text{ МВт}, \Delta W_{z,t}^e = 0$$

$\varepsilon_{z,t}^e$ згідно умови 2.5 розраховуємо за формулою 2.6:

$$\varepsilon_{z,t}^e = (W_{z,t}^e - PR_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e) \cdot \alpha^e / 100$$

$$\varepsilon_{z,t}^e = 38,9 - 15,275 + 0 = 23,625 \text{ МВт}$$

$$\varepsilon_{z,t}^p = \varepsilon_{z,t}^e = 23,625$$

$\varepsilon_{z,t}^p > 0$, тому використовуємо формулу 2.2

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = \varepsilon_{z,t}^p \cdot (PDAM_{z,t} - \min(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 - K^{im})),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 23,625 \cdot (715 - \min(715, 393,27) \cdot (1 - 0,05)),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 23,625 \cdot (715 - 393,27) \cdot (0,95)),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 8065,46 \text{ грн}$$

За формулою 2.1 розрахуємо вартість врегулювання небалансу:

Відношення $\frac{CIEQ_{GB,z,t}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}}$ надається «Гарантованим покупцем» та представлені в додатку Г.

$$CIEQ_{z,t}^p = \frac{CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}} \cdot CIEQ_{GB,z,t} \cdot k,$$

$$CIEQ_{z,t}^p = CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} \cdot 0,47973 \cdot 0,5$$

$$CIEQ_{z,t}^p = 1934,63 \text{ грн}$$

Розрахуємо вартість небалансів для 01.07.21 та розрахункового часу між годинами 01:00 та 02:00 :

Знайдемо відхилення прогнозу від факту генерації згідно формули 2.4.

$$PR_{z,t}^e = 16,836 \text{ МВт}, W_{z,t}^e = 38,979 \text{ МВт}, \Delta W_{z,t}^e = 0$$

$\varepsilon_{z,t}^e$ згідно умови 2.5 розраховуємо за формулою 2.6:

$$\varepsilon_{z,t}^e = (W_{z,t}^e - PR_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e) \cdot \alpha^e / 100$$

$$\varepsilon_{z,t}^e = 38,979 - 16,836 + 0 = 22,143 \text{ MBm}$$

$$\varepsilon_{z,t}^p = \varepsilon_{z,t}^e = 22,143$$

$\varepsilon_{z,t}^p > 0$, тому використовуємо формулу (2.2)

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = \varepsilon_{z,t}^p \cdot (PDAM_{z,t} - \min(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t})) \cdot (1 - K^{im}),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 22,143 \cdot (715 - \min(715, 393,25)) \cdot (1 - 0,05),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 22,143 \cdot (715 - 393,25) \cdot (0,95),$$

$$CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} = 7559,9 \text{ грн}$$

За формулою (2.1) розрахуємо вартість врегулювання небалансу:

Відношення $\frac{CIEQ_{GB,z,t}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}}$ надається «Гарантованим покупцем» та представлені в додатку С.

$$CIEQ_{z,t}^p = \frac{CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^{p\hat{}}} \cdot CIEQ_{GB,z,t} \cdot k,$$

$$CIEQ_{z,t}^p = CIEQ_{z,t}^{p\hat{}} \cdot 2,0643 \cdot 0,5$$

$$CIEQ_{z,t}^p = 7803,027 \text{ грн}$$

Провівши аналогічні розрахунки для кожної з годин прогнозованого періоду, а саме з 01.07.21 по 26.07.21 отримаємо загальну суму вартості небалансів за цей період.

Результати розрахунків наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Вартість небалансів ВЕС

Доба	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 год	11 год	12 год	13 год	14 год	15 год	16 год	17 год	18 год	19 год	20 год	21 год	22 год	23 год	24 год
01.07.21	1934,627	7803,0267	2293,8958	428,8913	4412,5195	7288,582	181,156	1715,333	3226,283	4425,100	704,261	932,146	10981,826	51701,808	34220,722	807,247	16,375	4,741	9,158	7,919	23,426	269,33264	309,47279	360,48636
02.07.21	638,88531	70,704888	55,145894	5166,4591	64,780003	50,473	174,148	4053,247	1944,827	152,568	26,957	6522,847	600,595	336,907	17,209	21,559	111,355	0,000	10,093	0,000	0,000	78,651254	530,90227	506,95261
03.07.21	0	7,4308996	846,80629	621,36052	0	1477,857	929,811	41,784	435,376	351,271	163,645	0,000	59,562	0,000	366,096	13,989	132,738	265,485	433,122	872,731	1550,023	1,8804516	4,5617196	96,4739999
04.07.21	42,272441	6193,0206	4314,6219	5128,2609	4178,5501	1880,457	3359,480	418,142	38,770	41,222	20,858	27,193	0,000	0,000	0,000	174,811	32,979	151,800	0,000	2751,372	884,963	12,829716	862,15998	196,86331
05.07.21	2204,613	2950,851	7495,3178	2987,9545	6528,888	3923,322	1,367	1,441	0,397	0,238	0,018	0,057	0,028	59,559	70,596	105,205	3,538	0,383	0,000	322,366	38,013	0	106,18263	337,77841
06.07.21	259,38901	65,789532	319,49537	2295,4859	382,53801	2524,259	1325,552	41,218	3,724	0,047	3,593	1698,102	0,000	63,638	103,137	0,000	731,345	0,950	41,378	94,271	303,216	506,7445	418,77622	468,97146
07.07.21	101,95492	82,655579	5892,8053	5584,4467	5324,7999	2875,111	119,224	6886,194	13713,794	9591,566	1789,597	285,954	10,071	2,320	0,000	8,226	144,809	158,558	279,951	560,394	545,111	797,46598	439,27474	231,577
08.07.21	55,918424	534,39815	710,60028	671,02122	365,47826	478,265	1,874	638,272	22,521	169,147	259,407	170,088	113,731	239,647	98,529	908,596	186,645	162,545	188,392	420,895	487,245	169,71126	43,801666	12,460196
09.07.21	0	17,677515	24,469189	106,47264	58,303932	0,000	177,861	0,060	51,200	27,769	44,989	550,584	811,016	67,940	112,545	1136,478	627,975	698,603	50,105	643,256	254,405	63,117494	320,42404	466,09374
10.07.21	1314,8654	16,014961	378,63172	452,72441	459,29977	337,499	71,290	169,096	26,652	177,011	445,612	405,612	269,220	139,430	89,643	218,962	2590,449	607,122	645,336	686,847	557,260	795,1722	690,89047	224,30111
11.07.21	131,24216	75,925917	0	5273,379	2276,3969	2023,083	1861,952	120,589	59,388	175,874	0,000	113,419	89,370	247,964	316,162	837,627	46,183	7,386	0,622	17,232	71,297	30,011077	299,72867	182,28167
12.07.21	121,21628	156,89759	145,27409	70,110944	2334,2153	1310,054	61,256	0,954	312,126	16,039	64,232	80,349	52,137	34,243	17,109	16,547	4,353	116,547	267,216	118,289	112,514	204,46394	361,05384	451,88044
13.07.21	520,72318	17,20845	60,722783	79,147143	208,46771	204,088	37,039	0,000	8,339	26,119	27,952	38,272	63,895	91,332	86,085	81,882	106,674	13,155	0,000	74,261	46,617	656,84835	20,603444	64,068705
14.07.21	231,76992	265,46853	9,456812	63,470975	79,740687	91,787	156,961	107,798	172,782	338,650	225,001	231,281	14,273	0,793	0,914	47,759	345,542	302,672	39,245	240,405	12,540	34,115987	415,45162	360,60417
15.07.21	1206,4083	1663,2668	712,88879	406,18271	252,9247	192,801	230,352	91,223	214,515	328,773	237,851	114,251	76,068	13,240	122,795	6,680	7,440	9,071	236,379	538,370	339,332	1061,0674	812,6536	378,2518
16.07.21	377,02504	408,15796	434,43383	6,0825889	78,642789	586,795	363,270	0,810	0,000	15,939	129,303	67,551	28,673	0,708	0,824	0,000	0,615	3,811	151,677	392,375	276,868	322,38287	964,93759	424,53225
17.07.21	152,24846	5,4710366	111,61743	87,513354	73,979385	301,931	288,246	76,723	214,839	457,501	443,045	145,626	31,678	65,210	1,743	70,868	2,639	3,220	225,215	1044,188	1172,794	228,67345	131,34748	872,30878
18.07.21	2535,6996	68,624834	70,516457	76,566784	34,782818	3,065	0,000	58,905	317,137	337,129	319,911	22,065	151,508	86,706	2,666	4,635	2,058	2,922	143,518	642,907	818,504	7,4758392	23,255938	288,03838
19.07.21	557,28529	125,54022	54,252901	7,193186	1117,052	2069,935	113,781	2061,402	554,137	19,029	22,366	0,015	0,028	0,009	0,206	8,442	6,254	546,903	560,902	996,715	1622,828	376,78223	22,714228	427,9349
20.07.21	27,857016	5,7463997	24,006993	32,665405	73,332078	16,012	201,777	98,253	240,005	464,278	161,412	0,000	0,000	0,286	4,087	108,489	430,126	753,767	542,309	648,690	196,450	1364,4849	1138,8673	119,58147
21.07.21	970,99522	1529,0116	9,3730165	208,16981	121,02455	66,422	1032,709	0,000	2622,064	1688,937	155,601	1,101	5,305	4,758	0,887	0,348	96,984	341,210	261,727	150,292	957,844	1633,2303	1049,3231	323,56534
22.07.21	4,14015	0	139,40766	0	77,971433	0,000	1008,520	0,000	26,766	149,834	175,036	0,000	8460,382	11031,895	0,000	0,000	205,050	379,638	0,000	8,696	95,006	500,07677	757,80708	2286,8138
23.07.21	24969,827	32553,393	30884,576	13022,291	9439,378	2544,033	0,000	285,984	453,501	1906,951	1302,434	296,511	13736,340	10263,564	4549,055	160,216	896,972	0,000	672,842	480,455	93,514	86,811605	367,71072	2196,9593
24.07.21	178,06679	3,0418473	4,9142676	15,461587	148,70895	84,152	179,652	234,778	594,416	776,602	486,420	89,558	2818,373	1003,026	1631,448	731,447	642,132	15,556	25,315	2151,602	3925,858	143,9312	0	2087,1178
25.07.21	60,112353	192,35921	240,34035	263,12688	327,1303	444,731	353,011	210,219	606,532	482,562	29,341	1944,926	1571,836	1442,955	3433,204	3861,478	2024,747	237,451	1,129	101,252	493,395	841,98382	1596,5361	3299,9555
26.07.21	145,49559	603,86485	447,488	377,48428	2290,2131	3451,655	259,678	145,275	51,180	135,491	442,380	165,186	6,484	6,581	2,862	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0	0

Нижче наведено сумарні витрати на врегулювання небалансів поденно з 01.07.21 по 26.07.21

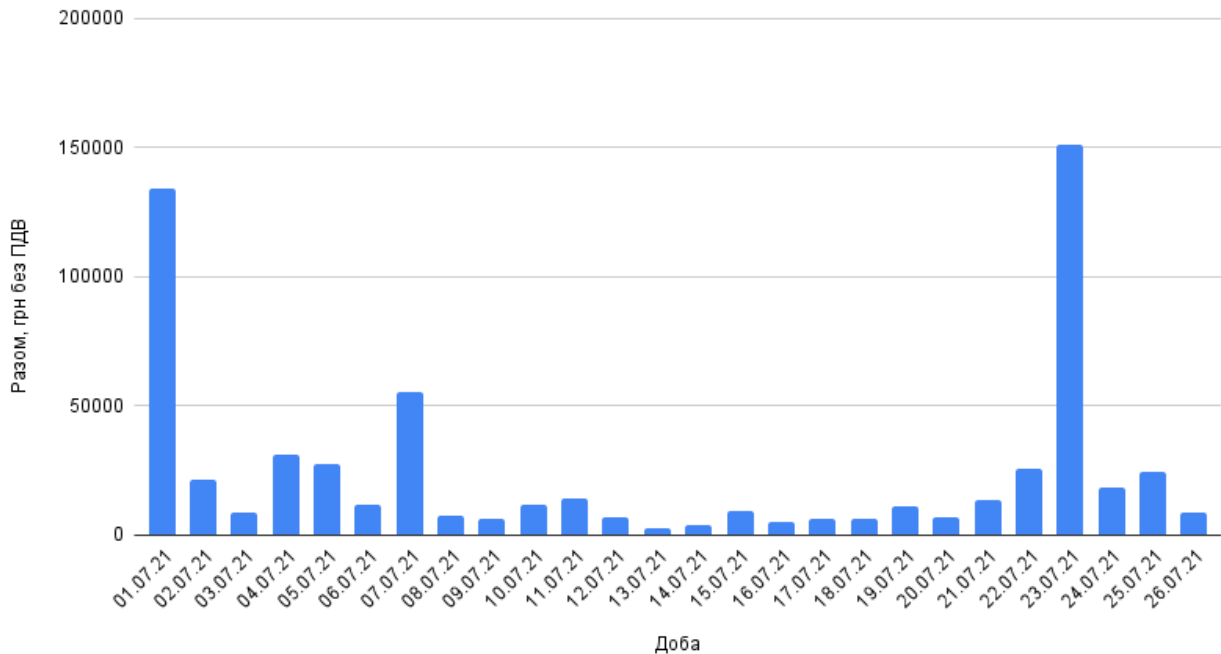


Рисунок 2.12 - Щоденні вартості небалансів ВЕС

Як бачимо, найбільша вартість припадає на 01.07.21 та 23.07.21. Це пов'язано з великим коефіцієнтом торгівельної діяльності «Гарантованого

Покупця» - $\frac{CIEQ_{GB,z,t}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^p}$, а саме середньозважене значення за добу цього відношення становить 1,61 та , 4,507 відповідно. 07.07.21 велике значення відхилення прогнозу від факту, а саме сума абсолютних відхилень становить 201,92 МВт, в результаті відповідальність за небаланси за цю добу становить 55425,84 грн без ПДВ.

Наведемо підсумкову таблицю прогнозування СЕС.

Таблиця 2.6 - Підсумкова таблиця прогнозування ВЕС

Доба	Остаточний прогноз, МВт год	Фактичний відпуск електроенергії, МВт год	Абсолютне відхилення, МВт год	Відповідальність, грн без ПДВ

Продовження табл. 2.6

01.07.2021	288,7646	496,4124	207,6478	134 058,33
02.07.2021	88,97645	144,9624	55,52046	21 135,27
03.07.2021	220,5744	205,4448	-15,8261	8 672,00
04.07.2021	348,1531	481,0476	132,6065	30 710,63
05.07.2021	570,251	713,394	142,9253	27 138,11
06.07.2021	492,0421	687,7992	197,633	11 651,62
07.07.2021	295,431	497,1252	201,922	55 425,84
08.07.2021	221,0169	164,34	-56,6769	7 109,19
09.07.2021	142,7825	91,3572	-51,0957	6 311,35
10.07.2021	172,8805	54,6612	-118,219	11 768,94
11.07.2021	172,1498	180,9324	9,062252	14 257,11
12.07.2021	162,6328	131,6568	-30,976	6 429,08
13.07.2021	168,2986	87,186	-81,1481	2 533,50
14.07.2021	167,5016	60,9972	-106,504	3 788,46
15.07.2021	96,50549	27,1788	-69,3267	9 252,77
16.07.2021	77,94869	56,4828	-21,4958	5 035,41
17.07.2021	130,4906	83,1732	-47,3174	6 208,62
18.07.2021	104,7274	63,7032	-41,2432	6 018,60
19.07.2021	145,4016	62,5812	-82,8204	11 251,71
20.07.2021	125,8724	216,216	90,3436	6 652,48
21.07.2021	416,6175	469,8672	54,0524	13 230,88
22.07.2021	661,2759	683,6148	23,95968	25 307,04
23.07.2021	258,5567	242,0616	-16,4726	151 163,32
24.07.2021	136,7098	39,006	-97,8679	17 971,58

Продовження табл. 2.6

25.07.2021	111,1554	38,0028	-73,1526	24 060,31
26.07.2021	91,64244	60,0468	-31,5956	8 531,32
РАЗОМ	5868,359	6039,251	173,9342	625 673,47

Провівши даний розрахунок, було помічено, що формула розрахунку є недосконалою. Тому було проведено аналіз розрахунку витрат врегулювання небалансів та відповідальних за їх оплату.

Важливою умовою стабільного функціонування ринку електроенергії є баланс між споживанням і виробництвом електроенергії. На ринках, які засновані на монополії і відсутність конкуренції, питання збалансування попиту та пропозиції вирішувалося досить просто: виробники електроенергії тримали в резерві багато генеруючих потужностей, які були дуже неефективними та дорогими, а вартість цих додаткових резервів оплачували споживачі або податки. При цьому питання балансу попиту та пропозиції вирішувалися шляхом обмеження виробництва.

Із запровадженням конкурентних ринків електроенергії змінилися підходи до виробництва та споживання. Відтепер кожен учасник ринку несе відповідальність за збереження балансу споживання та виробництва електроенергії. Тому учасникам ринку рекомендується планувати свою роботу таким чином, щоб збалансувати виробництво і споживання з якнайменшим відхиленням.

Законом України «Про ринок електричної енергії» небаланси електричної енергії визначають як різницю між фактичним обсягом постачання або споживання, імпортом, експортом електричної енергії особою, відповідальною за порушення балансу, та обсягом придбаної та реалізованої електричної енергії. Небаланси розраховуються відповідно до ринкових правил і за кожний звітний період [23].

У ЄС діють правила балансування ринку електроенергії викладені в Регламенті (ЄС) 2017/2195 від 23 листопада 2017 року, який визначає рекомендації щодо балансування електроенергії. Відповідно до цього положення, небаланси — це кількість електроенергії, що розраховується особою, відповідальною за порушення балансу, як різниця між виділеною сумою та остаточним залишком цієї сторони, включаючи будь-яку зміну небалансів за певний період.

Залежно від різниці між пропозицією та споживанням дисбаланси можуть бути позитивними або негативними. Позитивний дисбаланс – це надлишок виробленої та неспожитої електроенергії, а негативний – кількість невикористаної або електроенергії, яку необхідно придбати для споживання.

В Україні відповідальною стороною за баланси є учасники ринку, які зобов'язані звітувати та дотримуватись своїх погодинних графіків постачання електроенергії відповідно до обсягів придбаної та/або реалізованої електроенергії та несе фінансову відповідальність перед САР за свої небаланси. Відповідальність за небаланси є всі учасники ринку електроенергії, крім тих хто споживає цю енергію та купує її за договором постачання. Але виробники ВДЕ також мають деякі особливості що відповідають за небаланси.

До 2021 року виробники ВДЕ в Україні не несли відповідальності за небаланси. Зазначимо, що такі пільги для ВДЕ мали місце не лише в Україні, а й в інших країнах також часто звільнялися від відповідальності за небаланси. Проте в ЄС відповідальність за небаланси для виробників ВДЕ були змінені відповідно до Регламенту (ЄС) 2019/943 від 5 червня 2019 року про внутрішній ринок електроенергії.

З січня 2021 року виробники ВДЕ в нашій країні починають нести відповідальність за небаланси в балансовій групі гарантованого споживача. Зокрема, вони відшкодовують гарантованому замовнику витрати на врегулювання небалансів з таким поділом: для об'єктів ВДЕ із встановленою потужністю більше 1 МВт:

— з 1 січня 2021 р. — 50%;

— з 1 січня 2022 р. — 100%;

для об'єктів ВДЕ із встановленою потужністю менше 1 МВт:

— з 1 січня 2021 р.

— 10% з подальшим збільшенням на 10% щороку до 100% у 2030 р.

При цьому при компенсації витрат на врегулювання небалансів для власників ВДЕ до початку 2030 року допускаються відхилення факту генерації на 10% для вітрової генерації та 5% для виробництва сонячної енергії.

Тому, учасники ринку електроенергії в Україні, за винятком виробників та споживачів ВДЕ, несуть зобов'язання про фінансову відповідальність за порушення балансу електроенергії перед КАП. Але ця відповідальність залежить від результатів урегулювання небалансу.

Відповідно до Порядку закупівлі електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії гарантованим замовником, затвердженого рішенням НКРЕКП №641 від 26 квітня 2019 р. (далі — *Порядок*), виробниками ВДЕ здійснюється відшкодування гарантованому покупцю частки вартості врегулювання небалансу відповідно до закону та Порядку. Обсяг відшкодування розраховується за формулами і залежить від:

1. Результатів прогнозування відпуску електроенергії

15 січня 2021 р. НКРЕКП внесення змін до Порядку прогнозування постачання та споживання електричної енергії. Згідно з новими правилами, виробники ВДЕ повинні надати гарантованому замовнику прогноз та оновлені графіки продажу та споживання:

до 9:00 за день до торгового дня;

- з 15:00 дня, що передує торговому, але не пізніше, ніж за 55 хвилин до «закриття воріт» ВДР.

У попередніх положеннях Порядку оновлений графік постачання електроенергії міг надаватися не пізніше ніж за 2 години 45 хвилин, тобто майже за 3 години до «закриття воріт» НДР. За таких умов дуже важко спрогнозувати викиди електроенергії від сонячної та вітрової генерації, тому скорочення періоду

оновлення графіка відпусток до 55 хвилин позитивно вплине на якість прогнозування виробників ВДЕ.

2. Обсягів не відпущеної електричної енергії виробником ВДЕ у результаті виконання команд ОСП

Іншою важливою зміною є врахування при розрахунку частки у витратах на врегулювання дисбалансу кількості електроенергії, яку виробник ВДЕ не випустив у результаті виконання команд ОСП на зниження навантаження. Попередні редакції Порядку не розглядали можливі команди OSP для зменшення навантаження при розрахунку небалансів.

Таким чином, для всіх учасників ринку електроенергії встановлені правила врегулювання небалансів. Проте з 2021 року відбулися суттєві зміни у зобов'язанні щодо небалансів виробників ВДЕ, які раніше були звільнені від балансового зобов'язання. Причому це стосується не лише суми зобов'язання за небалансами, а й умов прогнозування та функціонування балансової групи гарантованого покупця.

Провівши аналіз розрахунку витрат на врегулювання небалансу стає зрозуміло що остаточна ціна не на пряму залежить від відхилення прогнозу учасника ринку. Торгівельна діяльність гарантованого покупця та вплив напрямку відхилення прогнозу – головні причини не зацікавленості у покращенні прогнозування виробниками ВДЕ. Адже навіть при однаковому відхиленні у різні прогнозні години, вартість небалансів може бути зовсім різною. Наприклад, коефіцієнт торговельної діяльності гарантованого покупця за 10:00 годину 25.07.21 становить 8,789. Тобто розрахована вартість небалансу по відхиленню прогнозу ще множиться на цей коефіцієнт, що значно збільшує економічні витрати виробників ВДЕ.

Також не слід забувати про напрямок відхилення. Згідно формули розрахунку вартості врегулювання небалансів $CIEQ_{z,t}^p$ залежить від напрямку

відхилення $\varepsilon_{z,t}^p$, а саме:

$$\text{якщо } \varepsilon_{z,t}^p > 0,$$

$$\text{то } CIEQ_{z,t}^p = \varepsilon_{z,t}^p \cdot (\text{PDAM}_{z,t} - \min(\text{PDAM}_{z,t}, \text{IMSP}_{z,t}) \cdot (1 - K^{im})), \text{грн,} \quad (2.2)$$

$$\text{якщо } \varepsilon_{z,t}^p < 0,$$

$$\text{то } CIEQ_{z,t}^p = |\varepsilon_{z,t}^p| \cdot (\max(\text{PDAM}_{z,t}, \text{IMSP}_{z,t}) \cdot (1 + K^{im}) - \text{PDAM}_{z,t}), \text{грн,} \quad (2.3)$$

$$\text{якщо } \varepsilon_{z,t}^p = 0, \text{ то } CIEQ_{z,t}^p = 0 \text{ грн,}$$

Такий вплив негативно впливає на кінцеву вартість, навіть при невеликому відхиленні в кВт. Перший реліз формули розрахунку, який діяв до 15 січня 2021 року також не був досконалим, а саме вартість залежала від напрямку прогнозу відносно балансуєної групи, що теж викликає сумніви у чесності розрахунку.

Тому перегляд формули допоможе краще стимулювати виробників до зменшення відхилення прогнозу. Наприклад, використання формули, де не буде грати роль напрямок відхилення та не буде впливу торгівельної діяльності гарантованого покупця, а лише пряма залежність від відхилення прогнозу від фактичних даних виробітку. Можливо це в деякій мірі допоможе покращити ситуацію в прогнозуванні ВДЕ в Україні.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВДЕ ШЛЯХОМ ЗМІН У ФОРМУЛІ РОЗРАХУНКУ ВАРТОСТІ ВРЕГУЛЮВАННЯ НЕБАЛАНСІВ

3.1 Вступ

У даному розділі реалізований стартап-проект, який присвячений висвітленню маркетингових аспектів створення стартапу: відбору ідей, створення концепції продукту, визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розробки маркетингової стратегії. У частині оцінюються можливості та формування заходів щодо впровадження на ринок інноваційних майстер-пропозицій.

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та вміння оцінювати ринкові перспективи та можливості комерціалізації сформованих у попередній частині роботи значних науково-технічних досягнень.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

3.2 Опис ідеї

Фінансова відповідальність об'єктів ВЕ за спричинені ними небаланси електричної енергії Проектом Закону України «Про ринок електричної енергії» така відповідальність передбачається для всіх видів ВДЕ за такою схемою: - відсоток відшкодування виробниками, які виробляють електричну енергію на об'єктах електроенергетики, що використовують енергію вітру та сонячного випромінювання, вартості їхніх небалансів гарантованому покупцю складає: до 31 грудня 2018 року – 0 %; з 1 січня 2019 року – 50 %; з 1 січня 2020 року – 100 %; - допустиме відхилення фактичних обсягів виробництва від добового графіку (до 2025): для ВЕС: 10%, для СЕС: 5%, для інших ВДЕ – 0%. Встановлення

фінансової відповідальності за неточність прогнозування без забезпечення належної якості метеорологічної інфраструктури є некоректним. Згідно із діючим законодавством, оплата ДП «Гарантований покупець» за небаланси, розпочало діяти з 01 січня 2021р. Прогнозувалося, що учасники сегменту ВДЕ зможуть мінімізувати щорічну оплату за небаланси до рівня 1,4% від обсягу продажів (доходу), при умові інсталяції системи прогнозування графіку відпуску електроенергії. Очікувалось, що після встановлення таких систем прогнозний середній небаланс для ВЕС та СЕС складатиме 14% та 10% відповідно. Але наразі відхилення більше, тому систему прогнозування необхідно удосконалювати та, можливо, відповідальність за небаланси перекласти не на виробників, а на інші органи. Наприклад, в Португалії, постачальник останньої надії відповідає за небаланси ВДЕ, які визначаються обсягами, що не були реалізовані на оптовому ринку. Польський досвід визначає відповідальним за балансування системи оператора системи передачі, який діє відповідно до Кодексу [24]. Натомість в Мальті балансування ВДЕ покладено на операторів розподільних систем, а Литва запровадила комбіновану систему відповідальності, яке розділено між операторами систем передачі та розподілу. Данія вирішує проблему небалансів виробників альтернативної енергії через механізм покладання спеціальних обов'язків. Відсутність прогнозованості генерації врегульовується шляхом запровадження системи точного прогнозування генерації ВДЕ (з допустимими відхиленнями: на ринку на добу наперед – 5-10%, на внутрішньодобовому ринку – 3-5%) із використанням аналізу даних гідрометеорологічних станцій та попиту за аналогічні періоди минулих років.

Але якщо і залишати відповідальність за небаланси на виробниках електричної енергії, то потрібно подумати про заміну розрахункової формули. Адже в її складі є критерії, які сильно впливають на кінцеву вартість витрат, але не залежать від дій та прогнозу виробника ВДЕ. Саме тому пропонується перегляд цієї формули.

Таблиця 3.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для виробників
Заміна формули розрахунку вартості врегулювання небалансів ВДЕ	ДП «Гарантований покупець»	Вартість на врегулювання залежить лише від відхилення прогнозу
	Виробники ВДЕ	Більша зацікавленість виробників у зменшенні відхилень прогнозу від факту в кВт.

При зменшенні відхилень прогнозу від фактичних даних комерційного обліку відновлюваних джерел енергії в кВт покращиться ситуація в енергетичній системі України, саме через зменшення потреби балансувати небаланси ВДЕ. В умовах кризи та високої ціни палива для маневрених станцій ТЕС, це питання заслуговує на увагу..

3.3 Технологічний аудит ідеї проекту

Основні задачі розділу:

- Вибір об'єкту, який має відношення до розрахункової формули.
- Аналіз наявної формули розрахунку: загальні критерії, які впливають на кінцеву вартість врегулювання небалансів.
- Визначення економічно доцільної формули розрахунку.
- Оцінка економічної ефективності рішень, запропонованих рішень.

Для організації роботи по зміні формули необхідно насамперед долучити Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, адже саме вона затверджує зміни у розрахунку. Також можна долучити до роботи ДП «Гарантований покупець», через чію платформу подаються прогнози та здійснюється продаж всієї «зеленої» енергії України. Саме його торговельна діяльність впливає на витрати, які оплачують виробники.

Третьою стороною має виступати сам виробник, як найбільш зацікавлений у зменшенні витрат на врегулювання небалансів.

У випадку зацікавленості перших двох сторін реалізацію проекту можна представити у трьох наступних позиціях [7]:

1. У першому варіанті можна виключити з розрахунку вплив торгівельної

діяльності ДП «Гарантований покупець», а саме частину $\frac{CIEQ_{GB,z,t}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^{p''}}$ з загальної формули розрахунку:

$$CIEQ_{z,t}^p = \frac{CIEQ_{z,t}^{p^{\wedge}}}{\sum_p CIEQ_{z,t}^{p''}} \cdot CIEQ_{GB,z,t} \cdot k,$$

2. Забрати вплив напрямку відхилення прогнозу від фактичних даних генерації ВДЕ, а саме прибрати наступні умови:

$$\text{якщо } \varepsilon_{z,t}^p > 0,$$

$$\text{то } CIEQ_{z,t}^{p^{\wedge}} = \varepsilon_{z,t}^p \cdot (PDAM_{z,t} - \min(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t})) \cdot (1 - K^{im}), \text{ грн,}$$

$$\text{якщо } \varepsilon_{z,t}^p < 0,$$

$$\text{то } CIEQ_{z,t}^{p^{\wedge}} = |\varepsilon_{z,t}^p| \cdot (\max(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 + K^{im}) - PDAM_{z,t}), \text{ грн,}$$

3. Знаходження нової розрахункової формули, де вплив на кінцеву вартість напряму залежав від різниці між прогнозом та даними комерційного обліку, без впливу напрямку даного відхилення.

3.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Перешкодою у реалізації даного проекту може стати лише небажання замінювати існуючу формулу у зв'язку з деяким покриванням збитковості ведення торгів «зеленою» енергією ДП «Гарантований покупець». Також проблемою може стати відсутність наявного точного прогнозування об'єктів

ВДЕ, які можуть бути проти заміни формули розрахунку, адже стає вірогідним можливе збільшення фінансової відповідальності такого прогнозу.

Таблиця 3.2 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту.

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1
3	Динаміка ринку	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу	Можлива повна відсутність інвестицій
5	Документ, де представлений наявний метод розрахунку	Постанова НКРЕКП від 26 квітня 2019 року № 641
6	Середня рентабельність ВДЕ	300%

Великий вплив на впровадження даних змін є зацікавленість державних структур у покращенні прогнозування ВДЕ та спільної їх роботи задля удосконалення процесу нарахувань відповідальностей за похибки прогнозів.

Таблиця 3.3 – Характеристика потенційних клієнтів.

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Стимулювання до зменшення похибки прогнозування	Державні енергетичні підприємства, виробники електроенергії	Зацікавленість у зміні формули лише з сторони відповідальних виробників ВДЕ	Адаптивність, надійність, простота, ефективність, відносна дешевизна

Таблиця 3.4 – Фактор загрози

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
Відсутність бажання змінювати розрахунок	Не зацікавленість усіх сторін у зміні підрахунку витрат на врегулювання небалансів	Відхилення пропозиції
Необізнаність	Наявність прихованих обґрунтувань доцільності використання наявної формули	

Таблиця 3.5 – Фактор можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
Зменшення фінансового навантаження на виробника ВДЕ	Підтримка виробників ВДЕ даного проекту	Зростання зацікавленості
Зменшення похибки прогнозування	Економія коштів на балансування енергосистеми України	

Крайнім етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT (аналіз сильних та слабких сторін, загроз та можливостей).

Таблиця 3.6 – SWOT- аналіз

Сильні сторони: покращення точності прогнозування.	Слабкі сторони: відсутність остаточного варіанту формули, який би задовольнив усі сторони процесу
--	---

Продовження табл. 3.6

<p>Можливості: Зниження витрат на балансування енергосистеми України та можливе зменшення кількості обмежень генерації ВДЕ, які організовує ДП «Оператор ринку»</p>	<p>Загрози: збільшення витрат на врегулювання небалансів для виробників у яких відсутній точний прогноз генерації ВДЕ.</p>
---	--

Розрахункова формула має вплив на всіх виробників, тому покращення у цій галузі допоможе стимулювати одразу всіх учасників ринку на покращення прогнозу, що в свою чергу позитивно впливає на об'єднану енергетичну систему України.

3.5 Розроблення ринкової стратегії стартап проекту

Для створення умов, при яких всі сторони будуть зацікавлені у реалізації цього проекту, необхідно показати позитивний вплив цього рішення на кожного учасника.

Наприклад, для ДП «Гарантований покупець» реалізація цього проекту дозволить значно покращити успіхи у торгуванні енергією на внутрішньодобовому ринку. Адже при малому відхиленні прогнозу набагато легше сторгувати наявні спрогнозовані дані, які будуть відповідати поданим значенням за 1 години та 55 хв до закриття торгових воріт на внутрішньодобовому ринку.

Для НЕК «Укренерго» це дозволить зменшити кількість обмежень генерації ВДЕ. Адже очікування обмеження виробництва електроенергії ВДЕ у 2021р. склали до 2 млрд. кВт год. Але лише 28-29 серпня «Укренерго» застосувало обмеження генерації з ВДЕ у розмірі 806 МВт. Якщо навіть взяти «зелений тариф» по 3,5 грн за 1кВт електроенергії, то за ці два дні ВДЕ не виробили на 2821000 грн.

Для економіки країни це також добре, адже це значно покращить ситуацію в енергосистемі та зменшить економічне навантаження на енергетику України у зв'язку із зменшення закупівлі вугілля для ТЕС, які балансують недовідпуск енергії ВДЕ у порівнянні з прогнозом.

І звісно власники станцій, адже тепер величина відповідальності за небаланс буде цілком залежати від якості прогнозування.

3.6 Розроблення маркетингової програми стартап проекту

Першим кроком у формуванні маркетингової програми є створення маркетингової концепції продукту.

Таблиця 3.8 – Визначення переваг концепції потенційного продукту.

Потреба	Вигода яку пропонує товар	Ключові переваги
Знаходження нової формули розрахунку	Покращення прогнозування	Вихід з кризи впровадження ВДЕ в Україні та подальше збільшення їх частки у енергобалансі країни

Розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів

Таблиця 3.3 – Концепції маркетингових комунікацій.

Специфікація поведінки нових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення

Продовження табл. 3.3

Пошук збільшення точності оплати за реактивну енергію	Відеоконференції, вебінари, інтернет ресурси, реклама	Зменшення витрат, покращення точності прогнозування ВДЕ, зменшення потреби балансування енергосистеми	Поява зацікавленості в учасників енергетики країни	Перелік переваг, економічна доцільність та залучення до технічного процесу
---	---	---	--	--

На цьому ринку клієнти порівнюють переваги та рентабельність, які може надати даний проект, адже є велика кількість нюансів, які в підсумку можуть зменшити інтерес до заміни формули розрахунку. Виходячи з цього, є підстави для подальшого просування даного проекту.

Висновки по розділу: У цьому розділі аналізується запровадження проекту, демонструється технічна сторона проблеми та доцільність проекту, аналіз ринкових можливостей показав, що представлена методологія орієнтована на широку аудиторію енергетичного ринку та корисна для всіх виробників та груп.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випускній магістерській кваліфікаційній роботі розглянуті умови праці під час впровадження системи підвищення точності прогнозування виробітку електроенергії відновлювальними джерелами. На електричних станціях з відновлювальними джерелами енергії передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці і виробництва продовольчих товарів. Усі металеві неструмопровідні частини (корпуси електродвигунів, шаф, світильників, тощо), які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, заземлюються шляхом приєднання до нульового проводу живлячої мережі.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які за ГОСТ 12.0.003-74 впливають на електромонтажний персонал, який здійснює експлуатацію електричних станцій з відновлювальними джерелами енергії:

фізичні:

- рухомі машини і механізми;
- вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються;
- незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухливість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- недостатня освітленість робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;

- гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання.

психофізіологічні:

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

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

4.1.1 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізолювані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

4.1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Всі роботи, які проводяться в електроустановках, що не вимагають оформлення наряду, виконуються:

- за розпорядженнями осіб, уповноважених на це відповідно до пункту
- цих Правил, з попереднім оформленням у журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями або в оперативному журналі;
- в порядку поточної експлуатації.

Розпорядження про проведення робіт має разовий характер. Термін його дії визначається тривалістю робочого дня виконавців. За необхідності продовження роботи, в разі зміни її умов або складу бригади, розпорядження віддається знову.

Працівник, який віддав розпорядження, призначає керівника робіт (наглядача), членів бригади, визначає можливість безпечного проведення робіт і визначає необхідні для цього організаційні та технічні заходи.

Розпорядження записується в журнал обліку робіт за нарядами і розпорядженнями особою, яка його віддала, або оперативним працівником, де вказується:

- ким віддано розпорядження;
- зміст і місце роботи;
- заходи безпеки;
- час виконання роботи;
- прізвища, ініціали, групи з електробезпеки керівника робіт (наглядача) і всіх членів бригади. Змінювати склад бригади, що працює за розпорядженням, в процесі роботи забороняється.

Розпорядження про роботу віддається керівнику робіт і допускачеві або працівникові, який дає дозвіл на підготовку робочого місця і на допуск.

В електроустановках без місцевих чергових працівників в тих випадках, коли допуск до роботи не вимагається, розпорядження може бути віддано безпосередньо працівнику, який виконує роботу,

Інформація про закінчення робіт, виконаних за розпорядженням, повідомляється працівникові, який віддав розпорядження, з відповідним записом у журналі.

При роботі, яка зв'язана з дотиком до струмоведучих частин електродвигуна або до обертових частин електродвигуна, який приводить в рух механізм, необхідно зупинити електродвигун та на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

При роботах за межами КРУ на відхідних ПЛ або КЛ на підключеному до них обладнанні візок з вимикачем необхідно викотити з шафи; верхню заслінку або дверці закрити на замок та вивісити плакати "НЕ ВМИКАТИ!" або "НЕ ВМИКАТИ! РОБОТА НА ЛІНІЇ".

При накладенні заземлювачів у шафах КРУ у випадку роботи на відходячих ПЛ необхідно враховувати слідуєчі вимоги: ПЛ напругою вище 1000 В заземлюються в усіх РУ і у секційних комутаційних апаратах, де відключена лінія.

Якщо дозволяє конструктивне виконання апаратів та характер роботи, перераховані вище міри можуть бути замінені розшиновкою або від'єднанням кінців кабелю проводів від комутаційного апарату або обладнання, на якому повинна проводитись робота.

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами.

В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає наряд (розпорядження).

Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів та вентиляторів, якщо можливо обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, повинні бути закриті та заперті на замок засувки цих механізмів, а також прийняті заходи для гальмування ротора електродвигунів.

Випробування електроприводів разом з виконуючим механізмом потрібно проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені.

При видачі робиться запис в оперативному журналі технологічного цеху, а отриманні цього дозволу - в оперативному журналі цеху (ділянки), який проводить випробування.

Ремонт і наладку електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконуючим

механізмом, регулюючих органів та запірної арматури, можна проводити по розпорядженню. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на вивід електропривода в ремонт, наладку. Про це повинен бути зроблений запис при оформленні розпорядження.

При роботі на електродвигуні заземлення встановлюється на кабелі (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його приєднанні в РУ.

Вмикання електродвигуна для перевірки до повного закінчення роботи проводиться після виводу бригади з робочого місця.

Після випробування проводиться повторний допуск з оформленням в наряді. При виконанні роботи по розпорядженню на повторний допуск розпорядження дається заново.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [8] встановлюють оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні допустимих параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче допустимої температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні виробничих

приміщень з категорією робіт II б

Період року	Категорія робіт	Температура повітря	Відносна вологість %	Швидкість руху повітря
		Допустима на роб. місці	Допустима на роб. місці	Допустима на роб. Місці
Холодний і перехідний	II б	15-21	75	не більше 0,4 м/с
Теплий		16-27	70 при 25 °С	0,2-0,5 м/с

4.2.2 Склад повітря робочої зони

В умовах даного виробництва в цехах можливим забруднювачем являється нетоксичний пил.

Для видалення шкідливих домішок з повітря у виробничих приміщеннях проектом передбачено застосування вентиляції і кондиціонування повітря.

Природню аерацію в теплу пору року можна регулювати за допомогою фрамуг, які встановлюються у віконних пройомах і через витяжні ліхтарі, які встановлюються на даху приміщення – це безканална вентиляція. Більш активна вентиляція забезпечується пристроєм вентиляційних каналів, які споруджуються у стінах приміщення. При цьому для підсилення швидкості руху повітря на виході теплого повітря зовні, а саме на трубі, яка розташовується на даху будівлі, встановлюють спеціальні камери-патрубки.

Природна вентиляція не передбачає підігрів та зволоження повітря, яке поступає у приміщення, і очистка від пилу повітря, яке видаляється на зовні, тому для досягнення максимального рівня вентиляції ще використовують механічну вентиляцію.

Нормовані параметри шкідливих речовин в повітрі робочої зони наведені в таблиці 4.2.

	мм					всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Для забезпечення нормативних значень освітлення передбачено:

- використання додаткового штучного освітлення, а саме світлодіодних ламп;
- необхідна кількість природного світла (великі вікна);
- для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним виділенням пилу, диму та кіптяви - не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком.

4.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{U}{U_0} \right), \quad (5.2)$$

де L - рівень шуму, дБ;

P - звуковий тиск, Па;

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

P_0 - нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в

октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

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

Основні параметри виробничого шуму наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

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

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

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові

вентилятори.

4.2.5 Виробнича вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу - За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 4.5.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;

- зміна конструктивних елементів машин;

застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

Таблиця 4.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	ДБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	Z_0, Y_0, X_0	0,1	100	0,2	92

4.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною

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

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах і т. ін.) від 10% до 25% часу зміни; знаходження в позі стоячи від 60% до 80% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 1500

Нахили корпуса (вимушені, більше 30), кількість за зміну: 101 –300

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

По горизонталі: до 12

По вертикалі: до 8

Інтелектуальні навантаження: Рішення складних завдань з вибором за відомим алгоритмом (робота за серією інструкцій)

Зміст роботи: Сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів, Обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання, Робота в умовах дефіциту часу

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) 51 -75

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи 176–300

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження 11-25

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) 3-4

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів

від 70% до 50%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) 20-25

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за функціональну якість основної роботи (завдань). Вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль всього колективу (групи, бригади та ін.)

Ступінь ризику для власного життя

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (приймів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово 5-2

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) 24-2

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) 91-95

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 10– 12

Змінність роботи Тризмінна робота (робота у нічну зміну)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви нерегламентовані або недостатньої тривалості до 3% часу зміни

4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Визначення області працездатності біопаливної установки в умовах дії загрозливих чинників НС.

Безпека у надзвичайних ситуаціях. Визначення області працездатності біопаливної установки в умовах дії загрозливих чинників НС.

Біопаливна установка може використовуватися різними організаціями у різних частинах України для виробництва електроенергії, тому існує ймовірність впливу на пристрій електромагнітних та іонізуючих випромінювань. Вплив

іонізуючого випромінювання на електро- радіоелементи викликає зворотні та незворотні процеси, внаслідок яких може бути порушена робота елементів схеми, що призводить до виходу з ладу апаратури.

Надзвичайна ситуація є наслідком сукупності виняткових обставин, що склалися у відповідній зоні в результаті надзвичайної події техногенного, природного, антропогенного та воєнного характеру, а також під впливом можливих надзвичайних умов.

Надзвичайні ситуації, які можуть виникати на території України і здійснювати негативний вплив на функціонування об'єктів економіки та життєдіяльність населення, поділяються за такими основними ознаками: за сферою виникнення; за галузевою ознакою; за масштабами можливих наслідків.

Проникаюча радіація - це гамма-випромінювання і потік нейтронів. Ступінь тяжкості променевого ураження головним чином залежить від поглиненої дози. При дії проникаючої радіації на людей може виникнути променева хвороба різного ступеня. Матеріали, що володіють захисними властивостями, активно використовуються в будівництві захисних споруд.

Радіоактивне забруднення є четвертим фактором, на який припадає близько 10 % енергії ядерного вибуху. Під час ядерного вибуху утворюється велика кількість радіоактивних речовин, які, осідаючи з димової хмари на поверхню землі, забруднюють повітря, місцевість, воду, а також всі предмети, що знаходяться на ній, споруди, лісові насадження, сільськогосподарські культури, урожай, незахищених людей і тварин.

При проходженні потоку гамма-опромінення через елементи РЕА, в них виникають вільні носії електричних зарядів, внаслідок переміщення яких виникає хибний імпульс, який може призвести до збою в роботі пристрою.

Особливо чутливими до радіації елементами є елементи з високим вмістом металів, яким в свою чергу властива висока концентрація вільних носіїв зарядів.

Таким чином радіація в РЕА викликає зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можлива зміна майже всіх електричних та експлуатаційних

характеристик, що залежать від проходження процесів іонізації, порушення структури матеріалів, що призводить до пошкодження апаратури [32].

Під час дії електромагнітного імпульсу (ЕМІ) у тілах, що проводять електричний струм на частку секунди (час дії ЕМІ) виникає імпульс електричного струму і з'являється різниця потенціалів відносно землі. Під дією цих напруг може відбутись пошкодження РЕА, ліній зв'язку, вихід з ладу запобіжників і т.д.

4.3.1 Визначення області працездатності біопаливної установки в умовах дії іонізуючого випромінювання

В РЕА використовуються елементи, до складу яких входять матеріали: метали, неорганічні матеріали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли та інші). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до радіації, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Визначаємо потужність експозиційної дози для кожного елементу і знаходимо елемент, який найбільш чуттєвий до дії іонізуючого випромінювання.

Таблиця 4. 6- Стійкість елементів до впливу іонізуючих випромінювань.

№	Блоки елементів	Елементи РЕА	Найменування	$P_{гр.і}$, р/год	$P_{гр}$, р/год
1	Основний пристрій	Конденсатори	K50-35, K10-17	10^5	10^4
		Резистори	C2-23	10^6	
		Транзистори	КТ3102А	10^5	
		Мікросхеми	FT232RL, AT24C512	10^4	
2	Система керування	Діоди	АЛ307	10^5	10^5
		Сенсорна панель	SBL6	10^5	

Аналізуючи дані таблиці 1, визначаємо, що найбільшого впливу зазнають мікросхеми та діелектричні матеріали. В них незворотні дії виникають при рівні p_i , яка для пристрою в цілому є граничною, отже, $p_{гран}=10^4$ Рад/с.

В якості критерію стійкості роботи РЕА використовують значення рівня радіації гамма-випромінювання, яке розраховується за формулою [32]:

$$p'_{гран} = p_{гран} \cdot K_H \cdot K_{носл} [P / год], \quad (5.1)$$

де $p_{гран}$ – межа стійкості роботи біопаливної установки, Рад/с;

K_H – коефіцієнт надійності елементної бази, $K_H = 0,9 \dots 0,95$,

приймаємо $K_H = 0,92$;

$K_{носл}$ – коефіцієнт послаблення радіації, із завдання: $K_{носл} = 2$.

Тоді:

$$p'_{гран} = 10^4 \cdot 0,92 \cdot 2 = 1,84 \cdot 10^4 (P / год).$$

Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах:

$$t_{доп} = \frac{D_{зр} \cdot K_{носл} + 2P_1 \cdot \sqrt{t_n}}{2P_1} \quad (5.2)$$

$$t_{доп} = \frac{10^4 \cdot 7 + 2 \cdot 17,8 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 17,8} = 1967,2921 \text{ год}$$

4.3.2 Визначення області працездатності в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи пристрою в умовах дії електромагнітних випромінювань можна прийняти коефіцієнт безпеки [33], який визначається за формулою:

$$K_B = 20 \cdot \lg \frac{U_\delta}{U_\Gamma} \geq 40 \text{ дБ}, \quad (5.3)$$

де U_Γ – напруга наведення за рахунок електромагнітних випромінювань горизонтальних струмопровідних частин плати, В;

U_δ – допустиме коливання напруги живлення, В.

1. Визначаємо допустиме коливання напруги живлення

$$U_{\partial} = U_{жс} + \frac{U_{жс}}{100} \cdot \Delta \quad (5.4)$$

де $U_{жс}$ – напруга живлення біопаливної установки ($U_{жс} = 30\text{В}$);

Δ – допустиме коливання напруги живлення ($\Delta \pm 5\%$).

$$U_{\partial} = 30 + \frac{30}{100} \cdot 5 = 31,5 \quad (\text{В}).$$

Плата пристрою розташована в горизонтальній площині. Визначимо максимальну очікувану напругу в горизонтальних лініях з рівності:

$$20 \cdot \lg \frac{U_{\partial}}{U_{\Gamma}} = 40 \quad (5.5)$$

$$U_{\Gamma} = \frac{U_{\partial}}{100} [\text{кВ}], \quad (5.6)$$

$$U_{\Gamma} = \frac{31,5}{100} = 0,315 \quad (\text{кВ}).$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається як:

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

звідки

$$E_{\text{В}} = \frac{U_{\Gamma}}{l_{\Gamma}} [\text{кВ} / \text{м}], \quad (5.8)$$

де l_{Γ} – максимальна довжина горизонтального контуру електричної схеми, м ($l_{\Gamma} = 0,1\text{м}$).

$$E_{\text{В}} = \frac{0,315}{0,1} = 3,15 \quad (\text{кВ} / \text{м}).$$

ВИСНОВКИ

В першому розділі магістерської роботи проведено аналіз розвитку ВДЕ в Україні та описано методи прогнозування вироблення електроенергії. Також було описано метеопараметри, які впливають на вироблення електроенергії СЕС та ВЕС. А саме, на сонячні станції найбільший вплив має сонячна радіація, а на вітрові – напрямок та сила вітряних потоків. Аналіз похибок прогнозування показав, що відхилення прогнозування в нашій країні є досить високим та потребує інноваційних рішень.

В другому розділі було представлено модель прогнозування на основі поліноміальної регресії, яка отримуючи на вхід прогнознi дані погоди, порівнюючи числові ряди історичних даних генерації, видає в результаті прогноз генерації ВДЕ. Отримані дані були проаналізовані, а саме була знайдена похибка прогнозування таким методом та розраховані вартості цих відхилень. При розрахунку було описано негативний вплив формули, по якій відбуваються розрахунки вартості небалансів для виробників ВДЕ.

У третьому розділі здійснено розробку стартап-проекту, а саме висвітлення маркетингових аспектів стартапу, розділ оцінки можливостей та формування заходів щодо ринкової реалізації інноваційних пропозицій. Маркетинговий аналіз проводився за такими етапами: опис ідеї, технологічний аудит ідеї проекту, Аналіз ринкових можливостей для запуску стартап-проекту, Розробка маркетингової програми для стартап-проекту.

В четвертому розділі виконано аналіз фізичних та психофізіологічних факторів, які можуть впливати на персонал обслуговування об'єктів ВДЕ, також знайдено рішення для забезпечення санітарії та безпеки на робочих місцях. Згідно з розрахунками біопаливна установка здатна працювати в умовах дії електромагнітного імпульсу при напруженості вертикальної складової електричного поля $E_v \leq 3,15$ кВ/м.

На підставі виконаних розрахунків можна зробити висновок про те, що даний біопаливна установка здатна стійко працювати в середині будівлі ангарного

типу, яка має коефіцієнт послаблення радіації 2, в умовах дії іонізуючого випромінювання при потужності дози випромінювання до $1,84 \cdot 10^4$ Р /год.

Також в даному розділі було визначено область працездатності біопаливної установки в умовах дії загрозливих чинників НС та в умовах дії іонізуючого випромінювання. Визначено потужність експозиційної дози для кожного елемента, яка в цілому для пристрою є граничною і складає: $p_{гран} = 10^4$ Р/год.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Синєглазов В. М. Відновлювальна енергетика: навчальний посібник / В. М. Синєглазов, О. А. Зеленков, Ш. І. Аскеров, Б. І. Дмитренко – К.: НАУ, 2015. – 278 с.
2. Що таке ВДЕ в Україні: веб сайт. URL: <https://euea-energyagency.org/uk/novyny-ta-podiyi/publikatsiyi/shho-take-vde-v-ukrayini-realna-statystyka-lypen-2021/> (дата звернення: 25.10.2021)
3. Титко Ришард. Відновлювальні джерела енергії : (Досвід Польщі для України) : [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / Ришард Титко, Володимир Калініченко ; Об'єднання шкіл електричних № 1 (Краків), Полтав. держ. агр. акад. - Варшава : OWG ; Краків ; Полтава, 2010. - 533 с.
4. Дудюк, Д. Л. Нетрадиційна енергетика : основи теорії та задачі : навч. посіб / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, Я. М. Гнатишин. - Львів : "Магнолія 2006", 2009. - 188 с.
5. Юмаев Н. Р., Юсуфбеков Н. Ш. Исследование влияния погодных условий на параметры работы солнечных батарей в естественных условиях эксплуатации [Текст] // Технические науки: традиции и инновации: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Казань, март 2018 г.). — Казань: Молодой ученый, 2018. — С. 52-57.
6. Джумаев А.Я. Анализ влияния температуры на рабочий режим фотоэлектрической солнечной станции // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. XLVI междунар. науч.-практ. конф. № 5(42). – Новосибирск: СибАК, 2015
7. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Собчук Д.С. Оцінювання впливу джерел відновлюваної енергії на забезпечення балансової надійності в електричній мережі // Вісник ВПШ. – 2013. – №6. – С. 45–47
8. Колодницький М. М. Основи теорії математичного моделювання систем. –Житомир, 2001. – 718с.

9. Вітлінський В.В., Наконений СІ., Терещенко Т.О. Математичне програмування: Навч.-метод, посібник для самост. вивч. дисц. – К.: КНЕУ, 2001. – 248 с.
10. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
11. Юмаев Н. Р., Юсуфбеков Н. Ш. Исследование влияния погодных условий на параметры работы солнечных батарей в естественных условиях эксплуатации [Текст] // Технические науки: традиции и инновации: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Казань, март 2018 г.). — Казань: Молодой ученый, 2018. — С. 52-57.
12. Основні методи для складання прогнозів вироблення електричної енергії при функціонуванні сонячних електростанцій : веб сайт. URL: <https://energyline.com.ua/uk/tarif-elektroenerg/metodi-skladannya-prognoziv-viroblennya-energi%D1%97-ses/> (дата звернення: 02.11.2021)
13. Офіційний сайт ДП «Гарантований покупець»: веб сайт. URL: <https://www.gree.com.ua/> (дата звернення: 06.11.2021)
14. ШІ допоможе вченим зробити відкриття в математиці, вирішивши завдання 40-річної давності: веб сайт. URL: <https://focus.ua/uk/digital/499925-ii-pomozhet-uchenym-sovershit-otkrytiya-v-matematike-reshiv-zadachi-40-letney-davnosti> (дата звернення: 10.11.2021)
15. В. С. Бажура, М. Й. Бурбело, Зменшення похибки прогнозування ВДЕ шляхом збільшення метеопостів в Україні / КОНФЕРЕНЦІЇ ВНТУ електронні наукові видання, Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022), Вінниця. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/14226>
16. В Україні розгорнуть радари американської метеорологічної компанії "Baron": веб сайт. URL: <https://ukrainian.voanews.com/a/ukraina-radary-amerykanskoj-meteosluzhby/5810870.html> (дата звернення: 05.11.2021)
17. Дядькович В.Т., Комар В.О., Кравчук С.В. Відновлювана енергетика для журналістів. Вінниця, ТОВ «ТВОРИ», 2021. 80 с.

18. Модель полиномиальной регрессии: веб сайт. URL: <https://habr.com/ru/post/414245/> (дата звернення: 14.11.2021)

19. Саенко Ю.Л. Анализ методов прогнозирования реактивных нагрузок промышленных предприятий / Ю.Л. Саенко, В.В. Любарцев // Вестник Приазовского государственного технического университета: сб. наук. трудов. Вып.30. Т.2. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ». – (Технические науки). – 2015. – с.129-137.

20. Закон «Про внесення змін до деяких законів України щодо покращення умов забезпечення виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії», 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/810-20>.

21. How to calculate wind speed and wind direction from u and v components of the wind?: веб сайт. URL: <https://confluence.ecmwf.int/pages/viewpage.action?pageId=133262398> (дата звернення: 12.11.2021)

22. Постанова НКРЕКП №641 від 26.04.2019 , [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0641874-19>

23. Закон України «Про ринок електричної енергії» , [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>

24. Нормативно-правове забезпечення діяльності Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A: веб сайт. URL: <https://www.pse.pl/web/pse-eng/documents8> (дата звернення: 13.11.2021)

25. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього ступеня магістра за спеціальностями 153, 163, 171 і 172 / Уклад.: С. В. Дембіцька, І. М. Кобилянська, О. В. Кобилянський. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 51 с.

26. Кобилянський О. В., Кобилянська І.М., Яблочников С.Л. Основи охорони праці. – Вінниця: Планер, 2007. – 171 с.

27. ДСН «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості

трудового процесу», Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>.

28. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://vsegost.com/Catalog/41/41131.shtml>

29. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – [Електронний ресурс] – Режим доступу : http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf

30. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

31. ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>.

32. Кодекс цивільного захисту України. К. : ВР України, 2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

Додаток А**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

УЗГОДЖЕНО

“ ” 2021р.ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕМд.т.н., професор Бурбело М. Й. _____
“ 24 ” вересня 2021 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

Підвищення точності прогнозування виробітку електроенергії відновлюваними
джерелами

Виконав: студент 2 курсу групи ЕСЕ-20м

Бажура В. С. _____

Керівник: д.т.н. професор Бурбело М. Й.

(підпис)

Вінниця 2021 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 277 від 24. 09 .21.

Дата початку роботи 24 . 09 .21р.

Дата закінчення роботи 15. 12. 21р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) мета – дослідження прогнозування вироблення електричної енергії та знаходження методу його покращення..

б) призначення розробки – покращення методики прогнозування та зменшення небалансу електроенергії ВДЕ.

в) вихідні дані для виконання МКР:

відомості про генерацію об'єктів ВДЕ, технічні характеристики об'єктів ВДЕ.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Синеглазов В. М. Відновлювальна енергетика: навчальний посібник / В. М. Синеглазов, О. А. Зеленков, Ш. І. Аскеров, Б. І. Дмитренко – К.: НАУ, 2015. – 278 с.

3.2 Титко Ришард. Відновлювальні джерела енергії : (Досвід Польщі для України) : [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / Ришард Титко, Володимир Калініченко ; Об'єднання шкіл електричних № 1 (Краків), Полтав. держ. агр. акад. - Варшава : OWG ; Краків ; Полтава, 2010. - 533 с.

3.3 Дудюк, Д. Л. Нетрадиційна енергетика : основи теорії та задачі : навч. посіб / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, Я. М. Гнатишин. - Львів : "Магнолія 2006", 2009. - 188 с.

3.4 .Постанова НКРЕКП №641 від 26.04.2019 , [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0641874-19>

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст етапу	Термін виконання	
	початок	кінець
4.1 Збір інформації, яка необхідна для дослідження	01.09.21	18.09.21
4.2 Проведення дослідних розрахунків	19.09.21	5.11.21
4.3 Розробка стартап роботи і розділу з охорони праці	5.11.21	24.11.21
4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи	24.11.21	08.12.21

5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Не передбачається

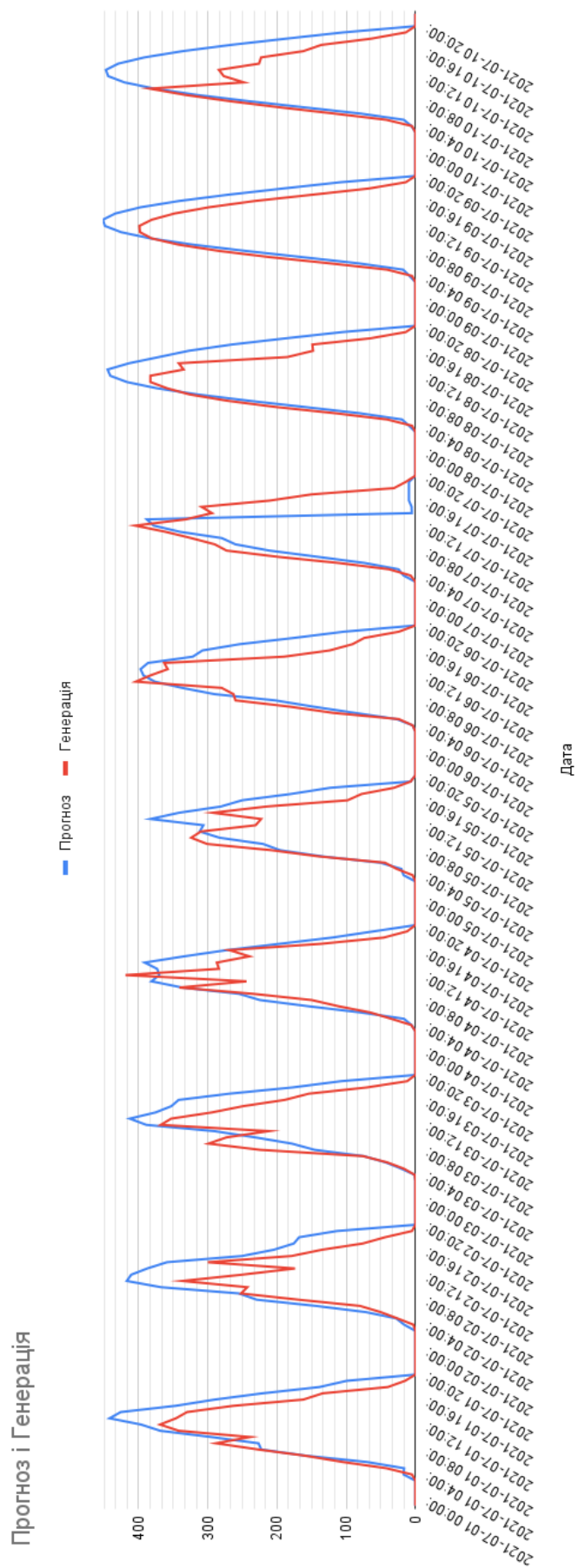
Додаток Б

Доба	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 год	11 год	12 год	13 год	14 год	15 год	16 год	17 год	18 год	19 год	20 год	21 год	22 год	23 год	24 год
01.07.21	715	715	700	700	700	700	715	1066,5	1315	1315	1220	1220	1220	1220	1220	1220	1315	1350	1515	1950	1950	2650,1	2655,1	1218
02.07.21	610	599	550,97	550	500,39	550	598,14	966,5	1020	1020,9	1020	1020	1000	1000,2	1020	1020	1020	1200	1200	1336	1446,5	1447,2	1446,5	929
03.07.21	398	359,4	336	335,39	331	336	349	501,95	720,85	743	700	598	598	600	600	720,85	745,73	900	935,2	945,79	946,5	947,15	947,15	400
04.07.21	265	249	200	192	192	192	192	200	349	349	299	295	200	299	300	300	334	334	652,5	734	734	748,15	748,15	280
05.07.21	187	187	115	110	110	112,73	187	600	687	687	235	195	195	195	243,23	460	600	730	729	729	1099,9	1200	1656	1240
06.07.21	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	735	735	995	1099,9	1200	1656	1249
07.07.21	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85
08.07.21	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	1947	1947	1947	1749	1850	1900	2656	1850
09.07.21	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	2000	1970	2036	2036	2056	2655,1	2656	1243,7
10.07.21	1170	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	1925	1935	1920	1949	1949	2656	2656	2656	1243,7
11.07.21	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	1840	1925	1847	1680	2045,4	2056	2656	2656	1243,7
12.07.21	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	1995	2500	2656	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7
13.07.21	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	734,85	1450	1600	2656	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7
14.07.21	734,85	500	475	475	475	475	499,99	500	500	499	475	465	465	475	498	1450	1600	2656	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7
15.07.21	800	725	724,9	710	710	720	730	867	1000	1050	1050	1050	1050	1060	1670	1690	1700	2656	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7
16.07.21	1240	825	804,88	804,85	775	805	805	1045	1400	1420	1420	1420	1440	1440	1690	1699	2656	2656	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7
17.07.21	1243,7	747	665	644	640	640	745,88	808	1040	1150	1170	1170	1170	1199	1300	1500	1510	2656	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7
18.07.21	750	610	610	605	605	605	640	720	881	1045	1045,1	1045,1	1200	1200	1290	1430	1550	2655	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7
19.07.21	775	705	605	605	638	720	746	745	1400	1500	1500	1470	1470	1470	1630	1670	1670	2655	2656	2656	2656	2656	2656	1143,7
20.07.21	746	744,9	744,9	630	741	741	730	1718,5	1381,5	1383	1383	1381,5	1382	1460	1630	1680	1690	2656	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7
21.07.21	820	820	810	810	810	810	810	1769,7	1352,7	1382,7	1382,6	1470	1475	1475	1670	1675	1685	2654,9	2654,9	2654,9	2655	2656	2656	980
22.07.21	817	816	804	804	804	801	809	1383	1383	1383	1383	1383	1383	1450	1665	1670	1680	2654,9	2655	2655	2655	2656	2656	824
23.07.21	745,8	750	746	745,8	745,8	745,8	750	1183	1182,5	1182,5	1182,5	1182,5	1182,5	1182,8	1350	1350	1650	2608,3	2500	2600	2608,3	2608,3	770	
24.07.21	740	700	654	650	650	650	650	890	922	954	1010	1140	1140	1180	1160	1160	1194,9	2373,4	2373,9	2399,2	2500	2656	746	
25.07.21	643	630	620	620	620	610	610	615	712	770	750	788	788	788	788	888	980	2372,2	2586,3	2595	2595	2656	637	
26.07.21	855	693	695	642	645	653	855	1014	1544	1574	1564	1564	1564	1574	1629	1650	1715	2654,4	2655	2656	2656	2656	1243,7	
27.07.21	870	855	855	855	855	855	869,5	1003	1574	1580	1574	1580	1580	1580	1707	1717	1727	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7	
28.07.21	874,8	860	860	830	830	830	860	820	1590	1590	1575	1580	1575	1575	1629,8	1950	1950	2655	2656	2656	2656	2656	1243,7	
29.07.21	869,95	865	869,95	869,95	869,95	869,95	869,95	1250	1590	1590	1585	1590	1590	1590	1710	1950	2050	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7	
30.07.21	873,91	869,45	869,48	869,43	869,49	869,46	873,94	1200	1599,1	1599,1	1590	1590	1585	1590	2050	2300	2656	2656	2656	2656	2656	2656	1243,7	
31.07.21	1243,7	695	740	740	740	685	673	690	930	1505	1530	1530	1530	1530	1599,9	1629,7	2050	2653,7	2656	2656	2656	2656	1243,7	

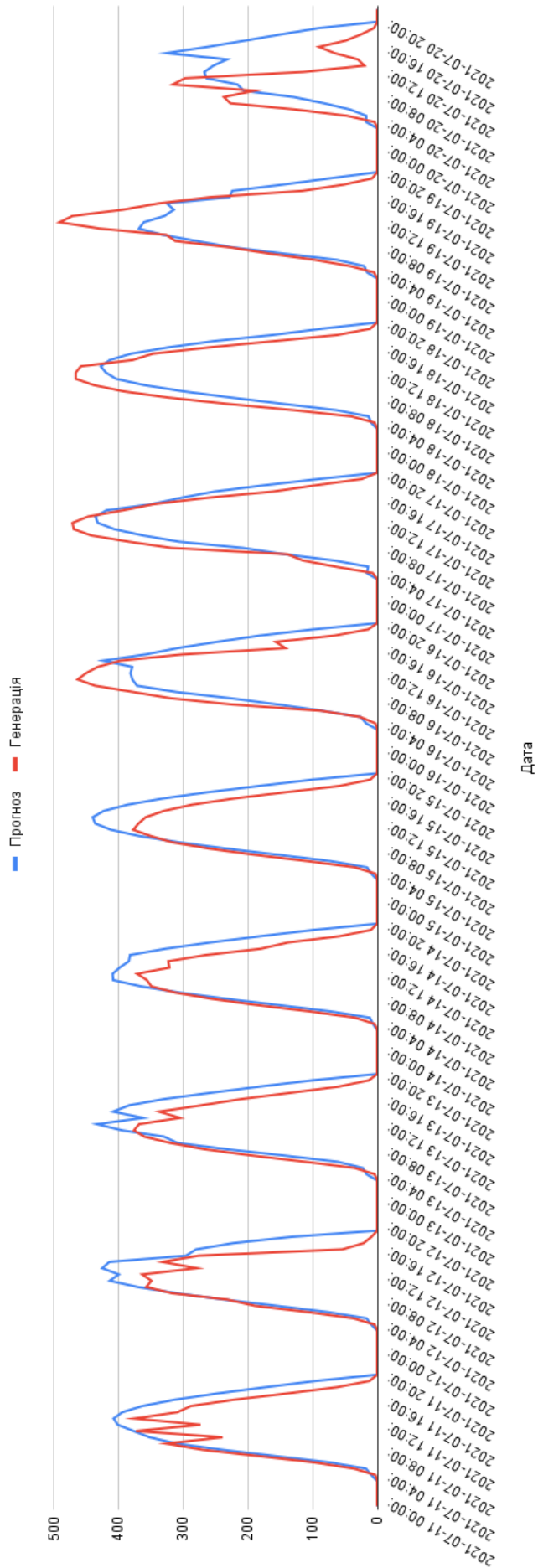
Додаток Г

Доба	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 год	11 год	12 год	13 год	14 год	15 год	16 год	17 год	18 год	19 год	20 год	21 год	22 год	23 год	24 год
01.07.21	0,4797	2,0643	3,7781	2,8727	3,0249	2,3441	2,2821	0,526	0,4521	0,9734	1,6719	2,9843	4,0935	3,634	2,3808	1,0142	0,0367	0,0155	0,0529	0,0313	0,2499	1,0858	1,3208	1,5023
02.07.21	2,7002	1,7169	2,2467	2,9905	3,9624	2,7626	4,3857	0,8563	1,5298	0,9036	3,1789	4,4969	5,8704	5,5437	3,8311	3,2511	2,0687	0,0435	0,0531	0,0124	1,1401	1,5794	1,6801	1,7746
03.07.21	1,6869	1,4438	1,7079	3,2104	3,7999	4,1549	4,1885	0,4519	2,2972	2,9193	2,9766	3,3852	4,1617	3,7529	2,6947	2,0386	0,0353	0,0689	0,0548	0,0854	0,208	0,0174	0,0163	0,5349
04.07.21	0,0271	2,0054	1,7725	2,7472	3,2733	2,083	2,9842	0,7002	0,8598	0,8886	0,0051	2,2643	2,355	1,8868	1,4876	1,3933	1,2028	1,5333	0,6998	1,389	1,815	0,1279	1,9974	0,4571
05.07.21	2,7683	3,5107	8,5522	3,5009	5,4648	3,8148	0,0257	0,0077	0,002	0,0016	0,0005	0,002	0,0046	0,0045	0,0029	0,0037	0,0006	0,0076	0,294	0,2049	0,3082	0,3658	0,4803	0,6875
06.07.21	0,0946	0,0222	0,0616	0,4313	0,0697	0,5108	0,6106	0,0665	0,0152	0,0003	0,1315	0,9383	1,6043	1,3619	1,1124	0,9945	0,6966	0,0057	0,0948	0,2598	0,49	0,585	0,63	0,779
07.07.21	0,4399	0,4264	2,1689	1,9871	1,8548	1,0715	0,5637	0,9971	1,0161	0,8775	0,4955	0,0563	0,0255	0,0026	0,0031	0,0387	0,5717	0,7382	0,929	1,2694	1,801	2,4371	1,9829	0,8386
08.07.21	0,2598	1,0446	1,6191	2,4781	2,9884	3,2337	0,101	0,1727	0,0037	0,0226	2,1269	2,2715	2,1485	2,143	1,7983	3,1444	1,8855	1,3782	0,0392	0,1644	0,2313	0,1794	0,6885	0,6526
09.07.21	0,6969	0,0531	2,8655	4,5286	3,322	2,821	3,3023	0,001	0,794	2,1484	2,4551	3,0729	3,9344	3,455	2,865	5,8092	3,679	3,8878	0,0197	0,2745	0,488	0,3439	0,1859	0,4262
10.07.21	0,8346	0,022	2,5852	2,9352	2,9973	2,3837	2,0918	0,3532	1,8349	3,2737	3,2131	3,3473	3,6903	3,295	2,9696	3,5054	2,0458	0,145	0,1105	0,3892	0,618	0,5	0,4192	0,2416
11.07.21	0,0531	2,2187	3,1058	3,7791	4,3279	4,103	3,3521	1,746	2,2734	2,9278	3,5783	4,1672	4,2318	3,6066	2,7324	0,2487	0,1798	0,1184	0,0109	0,0637	0,185	0,2853	0,908	0,2794
12.07.21	0,0411	1,6312	1,7463	1,9842	2,116	1,6059	0,2497	0,0085	0,0369	0,0018	0,0096	0,0149	0,0111	0,0099	0,0052	0,0172	0,2303	0,531	0,6333	0,6074	0,3297	0,1773	0,5315	0,7704
13.07.21	0,4546	0,8553	1,0573	1,0511	1,3537	1,4222	0,1915	0,0096	0,0043	0,0059	0,0055	0,0091	0,0112	0,0151	0,0289	0,1849	0,1467	0,3922	0,1882	0,0451	0,0313	0,325	0,0108	0,119
14.07.21	0,2132	0,2496	0,1836	0,8021	0,7968	1,0689	0,0455	0,0081	0,012	0,0239	0,0323	0,064	0,0518	0,0435	0,0536	4,8823	0,1632	0,1693	0,0193	0,251	0,0185	0,1039	0,4649	0,6441
15.07.21	0,508	0,4277	0,1785	0,112	0,0887	0,1454	0,1527	0,0302	0,0703	0,0569	0,0914	0,1363	0,1426	0,3441	1,9208	0,2139	0,1546	0,3549	0,6332	0,9255	2,0732	3,387	2,1819	1,7164
16.07.21	1,1852	0,3041	0,2731	0,0027	0,034	0,2372	0,2071	0,0465	0,033	0,0171	0,0488	0,0806	0,1057	0,0438	0,0284	0,0031	0,2339	0,2498	0,4182	0,5771	1,0496	1,3887	1,5885	1,3786
17.07.21	0,7504	0,0113	0,0664	0,0526	0,0467	0,148	0,4451	0,0328	0,07	0,1115	0,1623	0,2463	3,7327	1,9856	0,1213	0,1387	0,0641	0,0815	0,2977	0,515	0,7316	0,2575	0,4834	1,381
18.07.21	1,0304	0,0258	0,0315	0,0383	0,0439	0,072	0,0914	0,014	0,0686	3,2666	4,236	4,3424	3,0608	1,9905	0,0783	0,0862	0,0452	0,1755	0,4502	0,6506	0,9227	0,0189	0,104	0,6988
19.07.21	0,2386	0,035	0,0187	0,0023	0,3737	0,8101	0,0423	0,317	0,0866	0,0038	0,022	0,0314	0,0189	0,0039	0,0036	0,1256	0,0582	0,3236	0,4359	0,6715	0,847	0,7178	0,5582	0,4562
20.07.21	0,1206	0,0142	0,0791	0,1873	0,4512	0,3851	0,2525	0,0172	0,0291	0,0675	0,0818	0,082	0,0638	0,0282	0,0028	0,2298	0,7687	0,8967	0,953	0,7795	1,3628	1,008	0,6364	0,8317
21.07.21	0,8386	0,457	0,002	0,07	0,7377	0,7225	0,5087	0,5426	0,7668	0,5908	0,6846	0,0029	0,013	0,0086	0,0015	0,0006	0,2064	0,5052	0,4547	0,4696	0,6333	1,4035	1,3871	1,9756
22.07.21	0,0536	0,7335	1,3832	1,6693	2,1339	2,8293	3,2925	0,2788	0,0333	1,4318	1,7405	2,1905	2,6235	3,0588	2,9513	2,5202	2,3901	1,1504	0,7447	0,0845	0,3088	0,7435	0,9135	0,9922
23.07.21	5,7665	6,6734	7,2415	6,6393	6,2992	7,1022	7,932	1,9775	1,7981	7,7396	7,1811	6,1256	8,1423	7,3825	7,6975	5,7908	4,3616	0,8266	0,4334	0,1513	0,0459	0,0924	0,1574	0,6317
24.07.21	0,0599	0,0007	0,0295	0,1047	1,2754	0,1911	0,0887	2,2098	4,0407	5,0312	4,5285	3,9553	4,2088	3,3024	3,0883	2,6678	2,3265	1,1684	0,036	0,9163	1,5253	0,2621	1,6466	1,2437
25.07.21	0,0542	1,9572	2,2732	2,5747	2,8919	3,8551	4,252	3,5744	7,9952	8,7898	8,9732	7,412	6,041	4,4816	4,4098	4,017	3,6571	1,5074	0,0236	0,1752	0,5951	0,8648	0,9218	1,0843
26.07.21	0,0616	3,6123	3,2468	3,8875	3,8656	3,9823	4,8678	3,2171	0,1755	0,0673	0,1509	0,191	0,1396	0,1207	0,1664	3,2706	0,1685	0,0643	0,1441	0,0092	0,0704	0,0314	0,0293	0,0965
27.07.21	0,3314	3,3514	2,8649	3,355	2,9204	3,9483	3,3455	0,0291	0,1074	0,2822	0,0325	0,0663	1,4995	0,008	0,2185	0,0427	0,0083	0,3364	0,3174	0,2221	0,1356	0,6184	0,5669	0,3682
28.07.21	0,9416	0,7532	0,9705	1,3703	1,0819	0,533	0,1169	0,0002	0,2608	0,0022	0,8746	2,9387	4,029	2,859	3,6147	2,6912	0,0842	0,5132	0,6479	0,7007	0,7486	1,0012	0,7912	0,6729
29.07.21	0,5232	0,5526	0,5481	0,6078	0,3814	0,3498	0,0932	0,2023	0,1648	0,0034	0,0576	0,1182	0,1665	0,0657	0,1167	0,1015	0,0727	0,0141	0,0349	0,0324	0,2064	0,309	0,7541	0,6281
30.07.21	0,2551	0,0742	0,038	0,0157	0,0261	0,0597	0,1238	0,08	0,5117	0,515	0,3852	0,0316	0,4636	0,002	1,3669	0,9983	0,0006	0,0841	0,0361	0,4709	0,9835	1,5725	1,5647	1,9854
31.07.21	1,266	0,7861	1,0766	1,0931	0,9092	0,5069	0,0651	0,0462	5,546	7,699	7,0873	4,4926	4,4344	3,3588	4,0883	3,1307	2,2611	0,0337	0,1951	0,5895	0,6706	0,7641	0,8777	0,8157

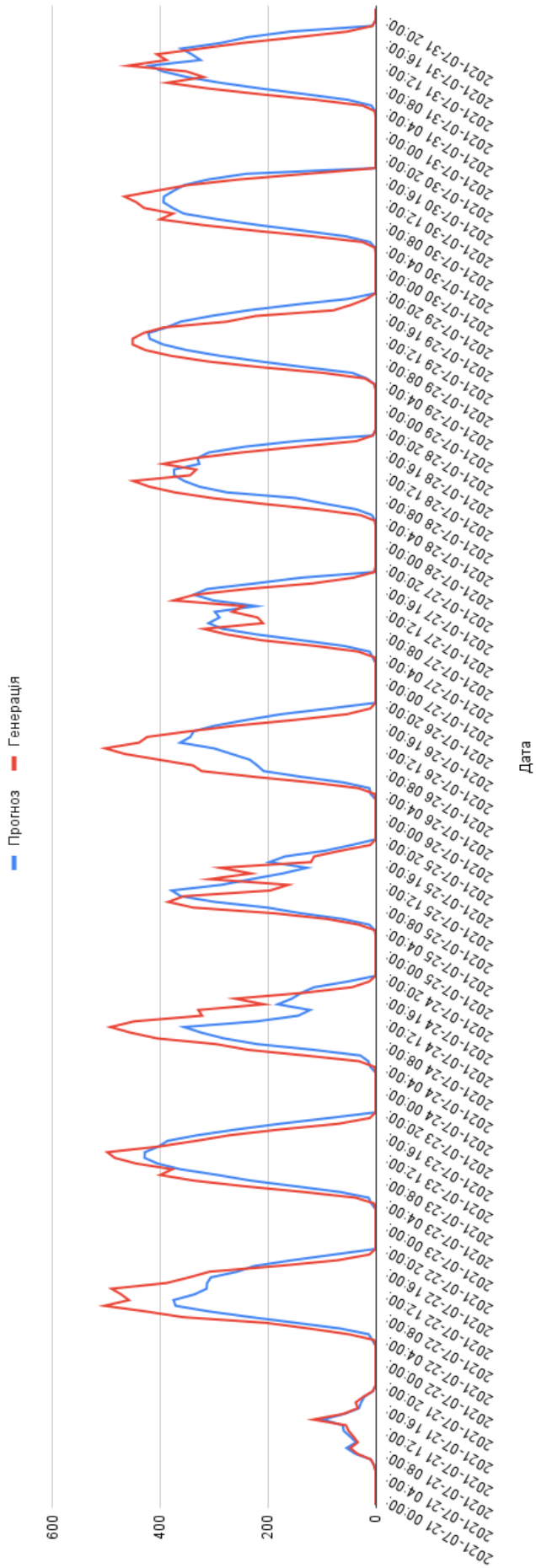
Додаток Д



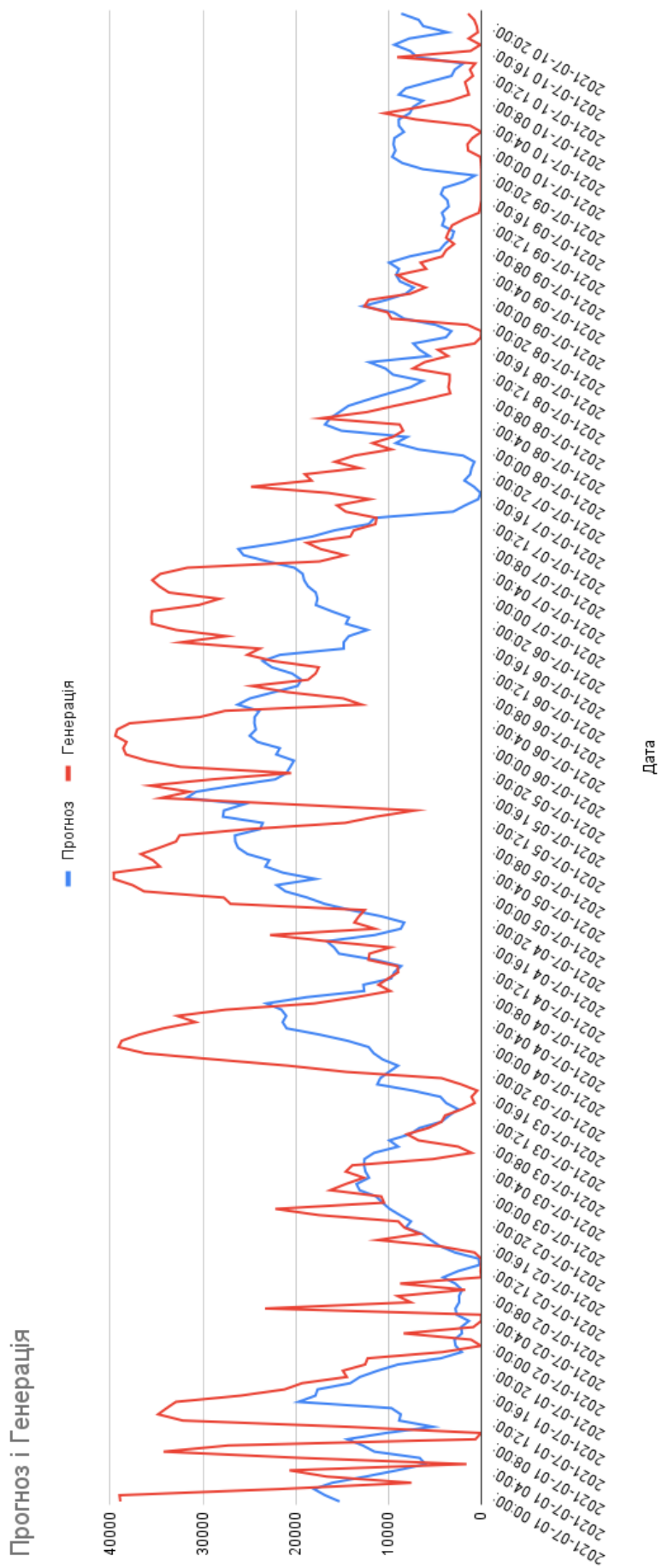
Прогноз і Генерація



Прогноз і Генерація

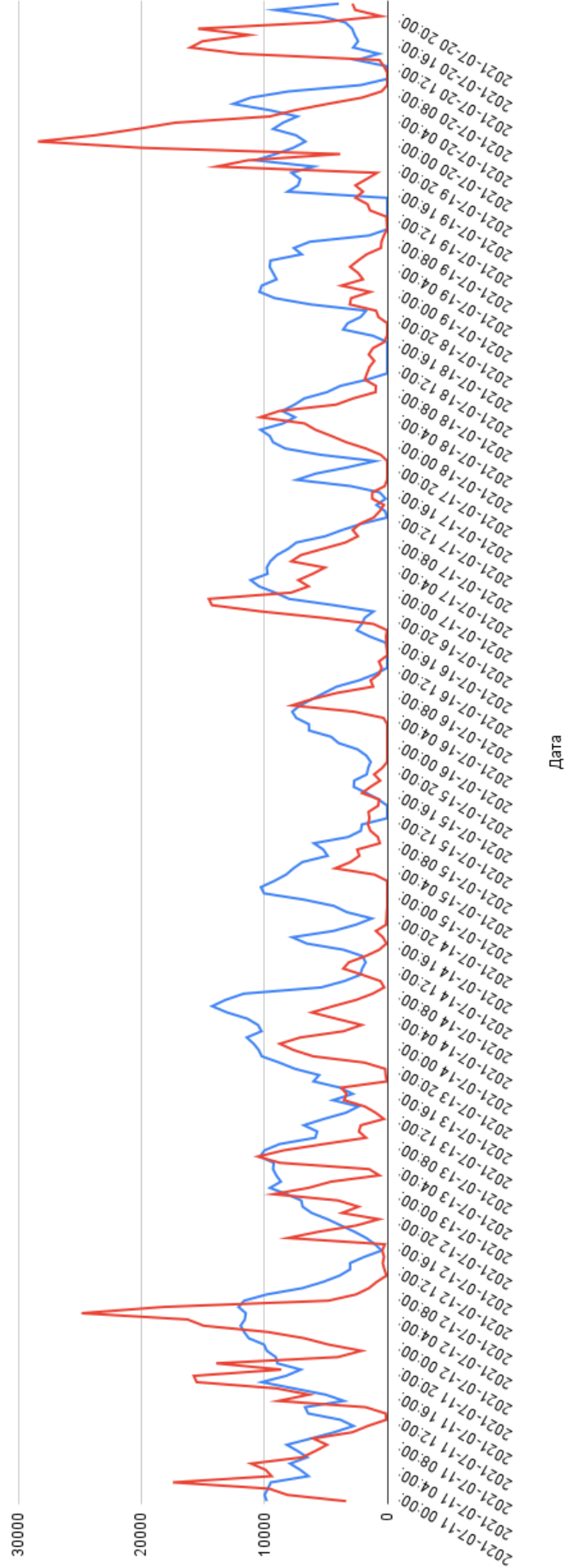


Додаток Е



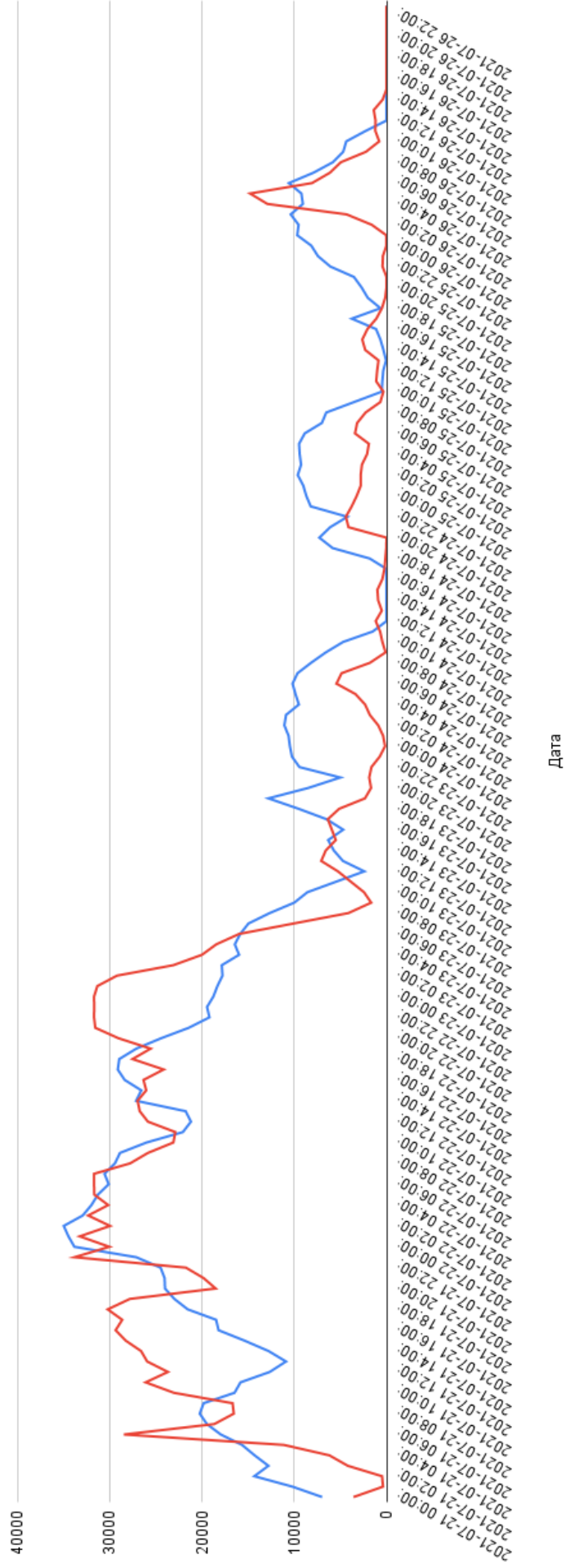
Прогноз і Генерація

— Прогноз — Генерація



Прогноз і Генерація

— Прогноз — Генерація



Додаток Ж

ВСТУП

Актуальність теми. Енергетика це галузь економіки, яка є індикатором рівня розвитку виробництва, науки і країни в цілому. Тому проблема освоєння нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії стає все більш актуальною. Нетрадиційні поновлювані джерела енергії включають сонячну, вітрову, геотермальну енергію, біомасу і енергію Світового океану. В останнє десятиліття інтерес до цих джерел енергії постійно зростає, оскільки їх можна вважати необмеженими.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає в пошуку рішень зменшення похибки прогнозування вироблення електроенергії, та прогнозування на прикладі сонячної електростанції потужністю 650 кВт та вітрової – 40МВт, спрямованої на підвищення ефективності планування режиму роботи інших типів електростанцій (ТЕС, АЕС, ГЕС і т.д.), а також, знаючи наперед графік виробництва сонячної електроенергії, можна редагувати балансування піків навантаження ГЕС/ГАЕС. Цю задачу можна вирішити прогнозуванням машинним інтелектом.

Для досягнення поставленої мети роботи потрібно **вирішити такі задачі:**

- Розробити модель прогнозування
- Знайти причину високої похибки прогнозування в Україні.
- Порахувати вартість врегулювання небалансів
- Оцінити економічний ефект від покращення похибки прогнозування ВДЕ

Об'єкт дослідження – ОЕС України та сонячна електростанція потужністю 650 кВт та вітрова – 40МВт.

Предмет дослідження – прогнозування виробітку ВДЕ.

Методи досліджень. Штучний інтелект, аналітика даних, математичний розрахунок, графічне зображення

Наукова новизна. Удосконалено метод прогнозування виробітку електроенергії ВДЕ з використанням машинного моделювання графіків генерування за попередній період часу та запропоновано заміну розрахункової формули вартості небалансів.

Практична цінність. Заміна формули розрахунку вартості врегулювання небалансів допоможе покращити похибку прогнозування ВДЕ, що у свою чергу призведе до покращення умов для балансування енергосистеми України, зменшить фінансове навантаження на виробників ВДЕ та зменшить витрати ТЕС на закупівлю палива.

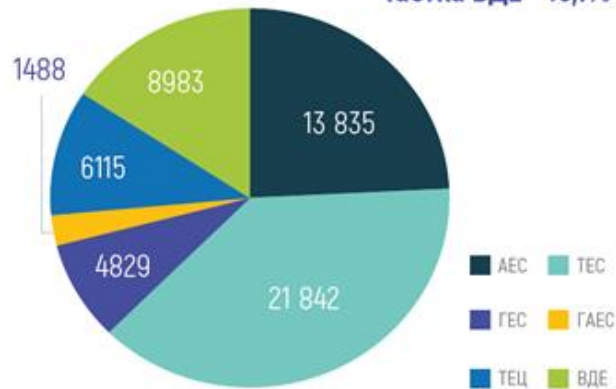
Апробації результатів магістерської роботи. Тему зменшення похибки прогнозування ВДЕ, представлено на Конференції ВНТУ в електронному науковому виданні.

Публікації: За результатом досліджень опубліковано тезу доповіді.

Об'єкт дослідження

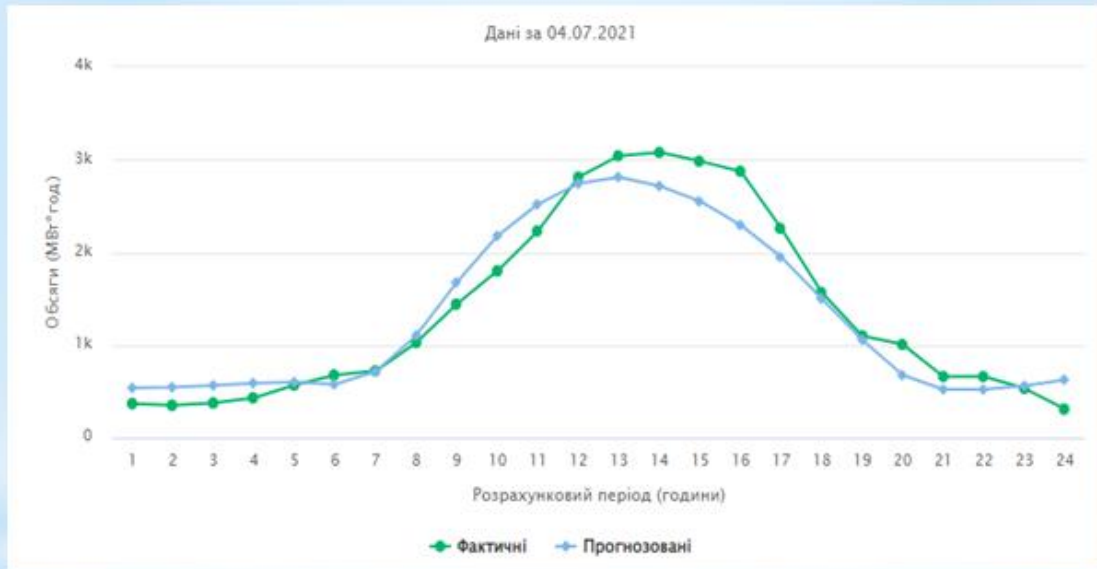
Об'єктом дослідження є відновлювані джерела енергії. За останні 10 років світ зробив великий крок назустріч глобального «зеленого» переходу з метою протистояння кліматичним змінам та недопущення зростання середньої глобальної температури вище +2 °С, та невпинно продовжує нарощувати темпи розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Загальна встановлена потужність
Об'єднаної енергетичної системи України.
Частка ВДЕ - 15,7%



Аналіз методів прогнозування

Методи прогнозування поділяються на фізичні або статистичні. Фізичний підхід використовує моделі поведінки сонячної та фотоелектричної енергії, а статистичний підхід спирається насамперед на накопичені дані для визначення тенденцій. Відправною точкою статистичних підходів є набори даних, які містять інформацію про попередню роботу СЕС, погодні дані в районі станції тощо. Цей набір даних використовується для "навчання" моделей, таких як авторегресійні або моделі штучного інтелекту, які виводять прогноз потужності СЕС у даний момент часу на основі історичних даних.



Аналіз похибок прогнозування ВДЕ

Заміна розрахункової формули витрат на врегулювання небалансів як метод зменшення відхилення прогнозування.

якщо $\varepsilon_{z,t}^p > 0$,

$$\text{то } CIEQ_{z,t}^p = \varepsilon_{z,t}^p \cdot (PDAM_{z,t} - \min(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 - K^{im})), \text{ грн.} \quad (2.2)$$

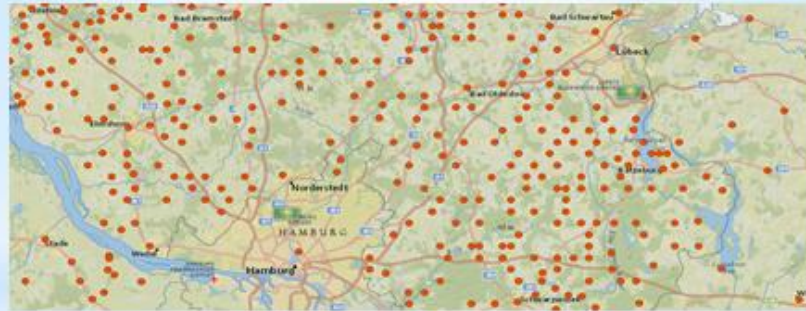
якщо $\varepsilon_{z,t}^p < 0$,

$$\text{то } CIEQ_{z,t}^p = |\varepsilon_{z,t}^p| \cdot (\max(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 + K^{im}) - PDAM_{z,t}), \text{ грн.} \quad (2.3)$$

якщо $\varepsilon_{z,t}^p = 0$, то $CIEQ_{z,t}^p = 0$ грн.

$$CIEQ_{z,t}^p = \frac{CIEQ_{z,t}^p}{\sum_p CIEQ_{z,t}^p} \cdot CIEQ_{GB,z,t} \cdot k,$$

Перегляд формули допоможе краще стимулювати виробників до зменшення відхилення прогнозу. Наприклад, використання формули, де не буде грати роль напрямок відхилення та не буде впливу торгівельної діяльності ДП «Гарантований покупець», а лише пряма залежність від відхилення прогнозу від фактичних даних виробітку. Це допоможе покращити ситуацію в прогнозуванні ВДЕ в Україні.



Збільшення кількості метеопостів як вирішення проблеми прогнозування в Україні

Прогнозування виробітку ВДЕ

```

date_from = "2021-01-01"
date_to = "2021-06-30"
gen_df = getgeneration(station, date_from, date_to)

meteo = getmeteo(id_station, date_from, date_to)
meteo_df = meteo[['dswrf', 'total_cloud', 'dt']]

data_df = gen_df.set_index('DATE TIME').join(meteo_df.set_index('dt'))
data_df = data_df.dropna()

gen_max = 320
gen_min = 0
dswrf_max = 725
dswrf_min = 0
total_cloud_max = 100
total_cloud_min = 0

train_df = pd.DataFrame()
train_df[['dswrf']] = (data_df[['dswrf']] - dswrf_min) / (dswrf_max - dswrf_min)
train_df[['total_cloud']] = (data_df[['total_cloud']] - total_cloud_min) / (total_cloud_max - total_cloud_min)
train_df[['generation']] = (data_df[['generation']] - gen_min) / (gen_max - gen_min)
train_df = train_df.dropna()

pred_cols = ['dswrf', 'total_cloud']

tr_x = train_df[pred_cols]
tr_y = pd.DataFrame(train_df[['generation']])

date_from_test = "2021-07-01"
date_to_test = "2021-08-31"

gen_df_test = getgeneration(station, date_from_test, date_to_test)
meteo_test = getmeteo(id_station, date_from_test, date_to_test)
wind_df_test = meteo_test[['dswrf', 'total_cloud', 'dt']]

data_df_test = gen_df_test.set_index('DATE TIME').join(wind_df_test.set_index('dt'))
data_df_test = data_df_test.dropna()

test_df = pd.DataFrame()
test_df[['dswrf']] = (data_df_test[['dswrf']] - dswrf_min) / (dswrf_max - dswrf_min)
test_df[['total_cloud']] = (data_df_test[['total_cloud']] - total_cloud_min) / (total_cloud_max - total_cloud_min)
test_df = test_df.dropna()

ts_x = test_df[pred_cols]
test_X = np.array(ts_x)

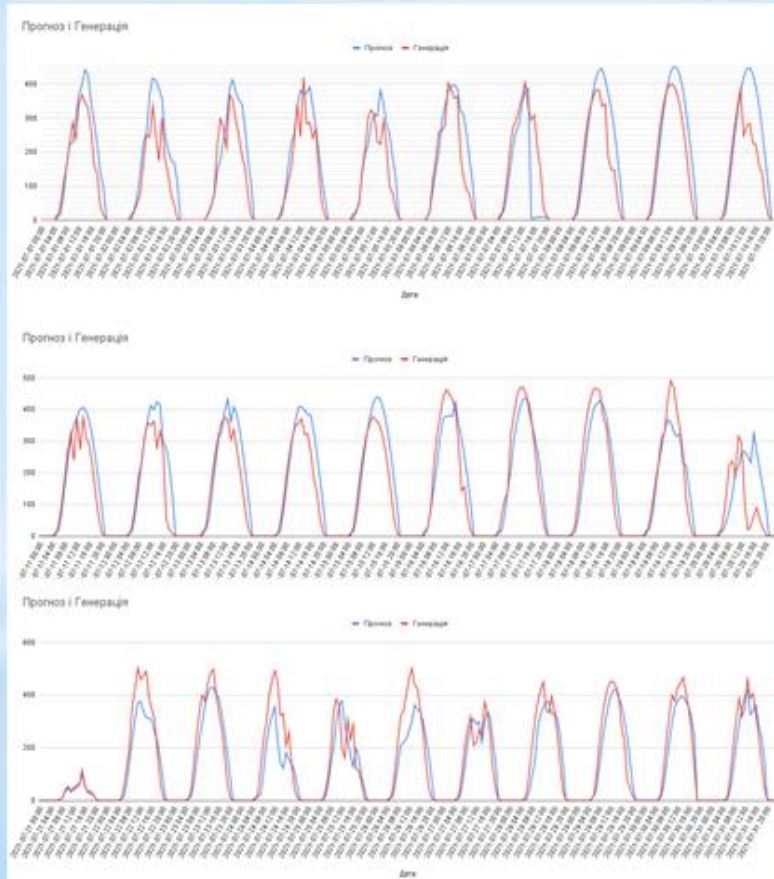
model = get_polynom_model(2, tr_x, tr_y)

forecastpv = model.predict(test_X)

pred = forecastpv * (gen_max - gen_min) + gen_min
test_df[['predict']] = pred
test_df.to_excel('D:/porovno CEC.xlsx', engine='openpyxl')

```

Для прогнозування виробітку СЕС та ВЕС використано модель на основі машинного навчання, а саме поліноміальної регресії.



Прогнозування СЕС

Похибка прогнозування по обсягу спрогнозованого до згенерованого становить 5,64 %.



Прогнозування ВЕС

Похибка прогнозування по обсягу спрогнозованого до згенерованого обсягу становить 2,83 %.

Розрахунок витрат на врегулювання небалансів

$$CIEQ_{z,t}^p = \frac{CIEQ_{z,t}^p}{\sum_p CIEQ_{z,t}^p} \cdot CIEQ_{GB,z,t}, \text{ грн.}$$

якщо $\varepsilon_{z,t}^p > 0$,

$$\text{то } CIEQ_{z,t}^p = \varepsilon_{z,t}^p \cdot (PDAM_{z,t} - \min(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t})) \cdot (1 - K^{im}), \text{ грн.} \quad (2.2)$$

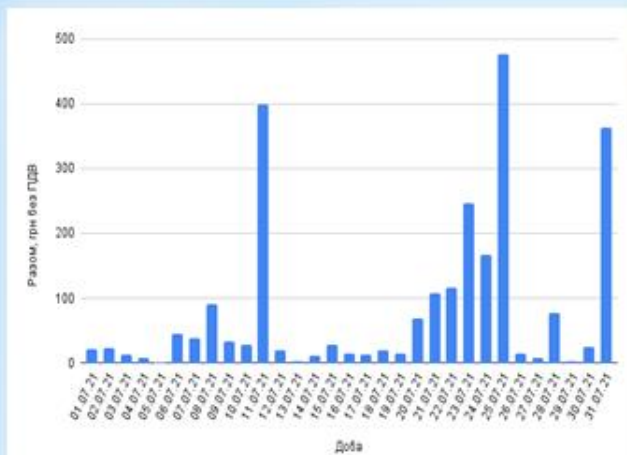
якщо $\varepsilon_{z,t}^p < 0$,

$$\text{то } CIEQ_{z,t}^p = |\varepsilon_{z,t}^p| \cdot (\max(PDAM_{z,t}, IMSP_{z,t}) \cdot (1 + K^{im}) \cdot PDAM_{z,t}), \text{ грн.} \quad (2.3)$$

якщо $\varepsilon_{z,t}^p = 0$, то $CIEQ_{z,t}^p = 0$ грн.

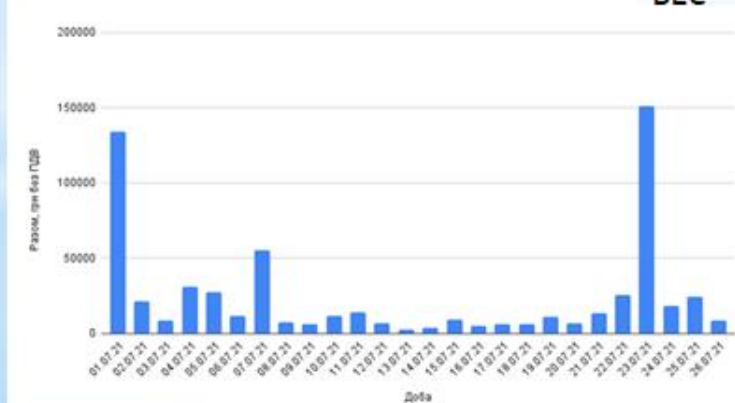
$$\varepsilon_{z,t}^e = (W_{z,t}^e - PR_{z,t}^e + \Delta W_{z,t}^e) \cdot \alpha^e / 100$$

СЕС



Загальні витрати – 2498 грн

ВЕС



Загальні витрати – 625673 грн

Висновок

Зменшення похибки прогнозування в Україні можливе, шляхом збільшення кількості метеостанцій, заміни формули розрахунку вартості врегулювання небалансу та використовуючи нові методи прогнозування на основі штучного інтелекту. Покращення точності прогнозування призведе до зменшення економічного навантаження на виробників електроенергії та зменшить витрати палива на балансування енергетичної системи України

Додаток Ж

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення точності прогнозування виробітку електроенергії відновлюваними джерелами.

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота.

Підрозділ: Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Науковий керівник: д.т.н. професор Бурбело М.Й.

Показники звіту подібності	
UNICHECK	
Схожість	12%

Аналіз звіту подібності

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Заявляю, що ознайомлений з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи.

Автор _____ Бажура В.С.

Опис прийнятого рішення

Магістерська кваліфікаційна робота допускається до захисту

Особа відповідальна за перевірку _____ Лобода Ю.В.

Керівник роботи _____ Бурбело М.Й.

Експерт _____ Бурбело М.Й., зав кафедри ЕСЕМ