

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. Потебні
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА
ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему **Методи прогнозування генерації електроенергії сонячними**
електростанціями

Виконала: студентка 2 курсу, групи 8.1211-2іпз
спеціальності 121 Інженерія програмного
забезпечення

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Інженерія програмного
забезпечення

(код і назва освітньої програми)

Є.О. Осадча

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н., Ю.О. Лимаренко

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

Рецензент директор ТОВ «Дісітел» П.О. Лютий

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

Запоріжжя
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. Потебні
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення
(код та назва)

Освітня програма Інженерія програмного забезпечення
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Т.В. Критська
“ 12 ” вересня 2022 року

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

Осадча Євгенія Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями

керівник роботи Лимаренко Юлія Олексіївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від 02.06.2022 р. № 597-с

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 1 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані магістерської роботи

- комплект нормативних документів ;
- технічне завдання до роботи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- огляд та збір літератури стосовно теми кваліфікаційної роботи;
- огляд та аналіз існуючих рішень та аналогів;
- дослідження методів прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями;
- створення програмного продукту та його опис;
- перелік вимог для роботи програми;
- дослідження поставленої проблеми та розробка висновків та пропозицій.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
15 слайдів презентації

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 12.09.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	17.09.2021 – 21.09.2021 р.	виконано
2	Формулювання основної задачі дипломної роботи та узгодження її з науковим керівником	22.09.2021 р. – 13.10.2021 р.	виконано
3	Аналіз методів прогнозування генерації електроенергії на сонячних станціях	15.10.2021 р. – 29.10.2021 р.	виконано
4	Дослідження існуючих засобів для прогнозування генерації електроенергії на сонячних станціях	30.10.2021 р. – 26.11.2021 р.	виконано
5	Дослідження джерел погодних даних	28.11.2021 р. – 14.12.2021 р.	виконано
6	Узгодження подальших дій з науковим керівником	15.12.2021 р. – 25.02.2021 р.	виконано
7	Реалізація служби прогнозування генерації електроенергії на сонячних станціях	26.02.2022 р. – 23.04.2022 р.	виконано
8	Реалізація застосування для порівняння результатів прогнозування	24.04.2022 р. – 08.07.2022 р.	виконано
9	Реалізація служби завантаження прогнозів	08.07.2022 р. – 14.08.2022 р.	виконано
10	Представлення отриманих результатів науковому керівнику та узгодження плану подальшого дослідження	15.08.2022 р. – 16.10.2022 р.	виконано
11	Усунення додаткових проблем та помилок	16.10.2022 р. – 30.10.2022 р.	виконано
12	Тестування та порівняння результатів прогнозування з реальними даними	01.11.2022 р. – 15.11.2022 р.	виконано
13	Оформлення звіту	16.11.2022 р. – 01.12.2022 р.	виконано

Студент _____ Є.О. Осадча
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Ю.О. Лимаренко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ І.А. Скрипник
(підпис) (ініціали та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ	12
1.1 Огляд проблеми прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями	12
1.2 Сфери застосування прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями	14
1.3 Підходи до вирішення проблеми прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями.....	16
1.4 Аналіз програмного забезпечення для прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями	16
1.4.1 Рішення від компанії Solargis	16
1.4.2 Рішення від компанії Energy Line.....	18
1.5 Висновки з розділу 1	19
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ.....	20
2.1 Методи прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями	20
2.1.1 Фізичні моделі	21
2.1.2 Статистичні моделі	22
2.1.3 Адаптивні моделі	24
2.1.4. Гібридні моделі	26
2.2 Вплив помилки прогнозу погоди на результат прогнозування генерації сонячної енергії	27
2.3 Висновки з розділу 2.....	30
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СЛУЖБ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ЗАВАНТАЖЕННЯ ПРОГНОЗІВ	31
3.1 Призначення розробки.....	31

3.2 Функціональні та нефункціональні вимоги	31
3.2.1 Функціональні вимоги.....	31
3.2.2 Нефункціональні вимоги.....	32
3.3 Діаграма використання	33
3.4 Діаграми послідовності.....	34
3.5 Вимоги до інтерфейсу.....	37
3.6 Діаграми класів	37
3.6.1 Діаграма класів служби прогнозування.....	37
3.6.2 Діаграма класів служби завантаження прогнозів	38
3.5 Засоби реалізації	40
3.6 Модулі та алгоритми	43
3.7 Висновки з розділу 3	50
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ.....	51
4.1 Аналіз впливу інтервалу архівних даних на результат прогнозування	51
4.2 Аналіз впливу погодних параметрів на результат прогнозування ..	53
4.3 Варіанти покращення точності прогнозування	55
4.4 Висновки до розділу 4	56
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58

АНОТАЦІЯ

Сторінок: 59

Рисунків: 18

Джерел: 22

Осадча Є. О. Комп'ютерна система для прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями 121 «Інженерія програмного забезпечення» / наук. керівник Ю. О. Лимаренко. Запоріжжя : ЗНУ, 2022. 59 с.

Мета і завдання дослідження полягають у аналізі методів прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями та створенні комп'ютерної системи, що буде вирішувати цю проблему використовуючи історичні дані згенерованої електроенергії та погодні показники.

У процесі дослідження була розглянута проблема прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями та різні підходи до її вирішення. В результаті роботи було розроблено комп'ютерну систему, що на основі вхідних історичні даних згенерованої електроенергії та прогнозу погоди передбачує кількість електроенергії, що буде згенерована сонячною електростанцією та формує звіт для завантаження на сайт «Гарантованого покупця».

Ключові слова: *автоматизація, гарантований покупець, комп'ютерна система, енергетика, сонячна електростанція, прогнозування, зелений тариф, windows служба.*

SUMMARY

Pages: 59

Figures: 18

Sources: 22

Osadcha Y.O. Computer system for forecasting electricity generation by solar power plants: qualification work of the master of specialty 121 "Software Engineering" / Science head Y.O. Lymarenko. Zaporizhzhia: ZNU, 2022. 59 p.

The purpose and objectives of the study are to analyze the methods of forecasting power generation by solar power plants and the creation of a computer system, which will solve this problem using historical data of generated electricity and weather data.

In the course of the research the problem of forecasting energy generation by solar power plants and different approaches to its solution were considered. As a result, a computer system was developed that, based on the historical input of the generated electricity and the weather forecast, predicts the amount of electricity to be generated by the solar power plant and generates a report for uploading to the Guaranteed Buyer's website.

Keywords: *automatization, guaranteed buyer, computer system, energy, solar power plant, forecasting, green tariff, windows service.*

ВСТУП

Актуальність теми

Якісне та своєчасне прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями в майбутньому може забезпечити виробників електричної енергії точним прогнозом. Це позитивно відобразиться на енергетичній стабільності країни та на рівні життя громадян, так як завдяки точності прогнозу у енергоринку буде можливість точно регулювати кількість згенерованої енергії та своєчасно скорегувати її перетоки між споживачами.

Зважаючи на набуття чинності впровадження штрафів за небаланси з вироблення електроенергії сонячними електростанціями, проблема прогнозування генерації електроенергії і питання зниження штрафів до мінімуму за неточність такого прогнозування набуває досить вагомого значення. Прогнозування стане вирішальним інструментом для економічно ефективної інтеграції ресурсів змінної відновлюваної енергії, таких як вітер і сонячна енергія, в локальні, регіональні і національні енергосистеми та дасть можливість виробникам та операторам мережевих компаній грамотно управляти показниками продуктивності сонячних панелей, таким чином, ефективно впроваджуючи «зелену» енергію в загальну енергетичну систему країни.

Проте на сьогодні не винайшли загальноприйнятого якісного методу прогнозування, який давав би точні прогнози.

Мета і завдання дослідження

Дослідження методів прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями.

Розробка системи прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями та передачі значень відпуску енергії ДП «Гарантований покупець».

Проведення аналізу факторів, що впливають на точність прогнозування кількості енергії згенерованої на сонячних електростанціях.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є методи прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є порівняння точності прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями з урахуванням впливу різних факторів на результат прогнозування.

Методи дослідження

Для досягнення результатів прогнозування будуть використані такі методи дослідження:

1. Аналіз вже існуючих рішень та методів прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями.
2. Аналіз переваг та недоліків існуючих методів прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями.
3. Аналіз різних бібліотек, призначених для реалізації.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна одержаних результатів дослідження полягає у створенні унікального алгоритму прогнозування з урахуванням доступних даних.

Практичне значення одержаних результатів

В роботі чітко подано аналіз результатів порівняння прогнозу з реальними даними та наведені пропозиції щодо покращення створеного

алгоритму прогнозування на основі результатів дослідження підходів та методів прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями.

Створена система прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями може бути застосована при розробці програмних апаратів з прогнозування генерації сонячних електростанцій.

Апробація одержаних результатів

Результати дослідження були представлені на науково-технічній конференції студентів, аспірантів, магістрантів і викладачів Інженерного навчально-наукового інституту Запорізького національного університету «Молода наука-2022» [1] та на II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» [2].

Глосарій

База даних — це будь-яка сукупність даних, організованих відповідно до концепції, яка описує характеристику цих даних і взаємозв'язки між їх елементами.

Веб-сайт — це сукупність веб-сторінок та залежного вмісту, доступних у мережі Інтернет, які об'єднані як за змістом, так і за навігацією під єдиним доменним ім'ям, може розміщуватися як на одному, так і на кількох серверах.

«Гарантований покупець» — це спеціально створене державне підприємство, яке представляє інтереси держави та її громадян при формуванні ринку електричної енергії.

Електронний цифровий підпис (ЕЦП) — це такий вид електронного підпису, який отримується в результаті криптографічного перетворення набору електронних даних. Такий підпис додається до набору даних або логічно з ним поєднується та дає змогу підтвердити його цілісність та ідентифікувати людину, яка його підписала.

Зелений тариф — це такий особливий тариф, за яким закуповується електрична енергія, що генерується на об'єктах електроенергетики, таких як сонячні електростанції.

Прогнозування генерації електроенергії — це процес передбачення кількості електричної енергії згенерованої сонячними електростанціями.

Сервіс (служба) Windows — це програмні додатки, які при наявності відповідних налаштувань запускаються системою автоматично при запуску операційної системи Windows. Додатки виконуються в фоновому режимі.

MS SQL — це об'єктно-реляційна система керування базами даних.

Sql Server Reporting Services (SSRS) — це засіб для створення звітів, що надає набір локальних інструментів і служб, які створюють, розгортають і керують звітами з розбивкою на сторінки.

Web Api — це інтерфейс програмування додатків для веб-сервера або для веб-браузера.

РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

1.1 Огляд проблеми прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями

На сучасному етапі розвитку країни прогнозування впливає на такі ключові моменти управління енергосистемою як планування, диспетчеризацію, балансування в реальному часі, резервні вимоги до енергосистеми і віддання команд для завчасного запуску (глушіння) компенсуючих потужностей.

Отримуючи прогнози оператори енергосистеми можуть передбачати швидкі зміни генерації електричної енергії, щоб потім економічно збалансувати споживання і заплановану генерацію за день і впродовж самого дня. Це призводить до зниження витрат на невідновлюване паливо, підвищення надійності енергосистеми в цілому і мінімізації витрат на придбання енергії з відновлюваних джерел енергії. Це допоможе не лише збалансувати енергосистему за потужністю і напругою, але й вчасно відрегулювати коливання частоти та фазові зсуви, що дуже важливо для споживачів енергії.

Згідно з Законом України " Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії» (далі — Закон), запроваджено повну відповідальність за небаланс своїх фактичних та акцептованих (прогнозних) графіків виробництва електроенергії для всіх виробників з відновлювальних джерел енергії (далі — ВДЕ), що створить для таких суб'єктів економічні стимули для підвищення точності прогнозування своїх графіків відпуску електричної енергії і сприятиме розвитку сектору балансуєчих потужностей [3].

Окремо варто приділити увагу «зеленому» тарифу як економічному механізму винагороди за генерацію електроенергії із відновлюваних джерел енергії. Зелений тариф досяг значного попиту із розвитком доступності технологій та сприяє переходу на відновлювані джерела енергії. Проте він не може повністю компенсувати або замінити базові та маневрові генерації та у зв'язку з залежністю від багатьох погодних факторів потребують прогнозування, коригування і радше допомагають операторам енергосистем задовольнити денні пікові потреби, та заощадити дорогі ресурси високоманеврових потужностей.

Зазначеним вище Законом врегульовано нагальні проблеми функціонування «зеленої» електрогенерації, що сприятиме зменшенню фінансового навантаження на кінцеву ціну електричної енергії через оптимізацію рівня «зеленого» тарифу, досягненню балансу інтересів суспільства, споживачів електричної енергії та учасників ринку електричної енергії та покращить платоспроможність суб'єктів ринку, забезпечивши одночасно подальший розвиток відновлюваної енергетики.

Таким чином нове законодавче регулювання підвищує вимоги до прогнозування сонячної енергії. Найважливішим є прогнозування генерації на добу вперед. Для точного та успішного прогнозування необхідно охопити всі можливі варіанти різних погодних моделей, вивчати та досліджувати систематичні помилки у прогнозуванні хмарності та радіації, збільшувати точність програмного моделювання погоди, впроваджувати точне моделювання потужності на основі технічних характеристик обладнання електростанції та її виробничих даних за останні місяці або роки.

Проблемою у сфері відновлюваної енергетики України на сьогодні є нестача сервісів по оперативному моніторингу локальних погодних умов та прогнозуванню рівня сонячної радіації в режимі он-лайн. Сьогодні застосовується персистентний (стійкий, незмінний) метод, заснований на аналізі статистичних даних, зібраних за кілька років генерації, з урахуванням

даних поточної генерації, але в умовах змінення клімату, точність персистентного методу значно впала.

Зважаючи на всі вищезазначені етапи та проблеми розвитку відновлюваної енергетики, проблема створення систему автоматизованої обробки та передачі даних про погодні умови та про прогнозовану генерацію є актуальною а її рішення стане неодмінним етапом успішного розвитку виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії.

1.2 Сфери застосування прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями

Дивлячись на створені гарні та сприятливі кліматичні умови для розвитку сонячної енергетики в нашій країні, все більше малих та крупних виробників електроенергії підключаються до «зеленого» тарифу.

Згідно з Законом України «Про ринок електричної енергії», електростанції, що використовують «зелений» тариф повинні надсилати прогнози генерації електроенергії до «Гарантованого покупця», а «Гарантований покупець» у свою чергу повинен забезпечувати купівлю усієї «зеленої» енергії для забезпечення усіх загальносуспільних потреб та інтересів.

Таким чином, з промислових виробників електричної енергії за "зеленим тарифом" почала стягуватись вартість небалансів обсягів електроенергії, які розраховуються як різниця між власним прогнозом на добу наперед і фактичними згенерованими обсягами електричної енергії. Цей механізм штрафів стимулює виробників електричної енергії до якісного прогнозування виробітку електроенергії, для зниження та переходу до повної відсутності небалансів і забезпечення функціонування балансуючих потужностей енергосистеми України.

Виходячи із вимог діючого законодавства України, прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями має використовуватися

в усіх сферах діяльності підприємств та організацій, які мають безпосереднє відношення до генерації електроенергії.

Згідно з прогнозом Європейської асоціації сонячної енергії (SolarPower Europe), на 2022 рік встановлена потужність світової сонячної енергетики може перевищити 1 000 ГВт. Це досить суттєвий вклад у виробництво електроенергії (майже 5% від загального виробництва).

Державне агентство України з енергоефективності та енергозбереження проводить моніторинги по результатам роботи проектів відновлюваної енергетики. Так, в Україні за перше півріччя 2020 року було введено в експлуатацію понад 700 МВт нових генеруючих потужностей. Кожен рік збільшується кількість інвестицій у проекти сонячної генерації електричної енергії.

Приватне акціонерне підприємство «Укргідроенерго» є найбільшою гідрогенеруючою компанією в Україні. За інформацією пресслужби підприємства напрямок будівництва сонячних електростанцій у найближчому майбутньому буде розвиватися та планується реалізація низки вже готових проектів з будівництва сонячних електростанцій разом з акумуляторними батареями на діючих ГЕС і ГАЕС. Це дасть змогу продовжити терміни експлуатації ГЕС та зменшити витрати на технічне обслуговування.

Зокрема, планується будівництво СЕС, потужністю 10,6 МВт, на філії «Каскад Київських ГЕС і ГАЕС». Тут встановлять одну літій-іонну акумуляторну батарею, ємністю 46 МВт. Очікується, що інвестиції в проєкт складуть понад 40 мільйонів доларів [4], а будівництво сонячної установки на Канівській ГЕС, потужністю 13,5 МВт (три акумуляторні батареї будуть здатні накопичувати надлишкову електроенергію, обсягом 22 МВт), очікує понад 56 мільйонів доларів інвестицій [4].

І таких проєктів у ПрАТ «Укргідроенерго» є ще декілька. Підприємство розробило техніко-економічне обґрунтування для будівництва сонячних електростанцій та працює над залученням міжнародних інвестицій. Такі обґрунтування повинні мати незаперечні прогнози на майбутні видобуток

електричної енергії, що в котре підтверджує значимість прогнозування генерації електроенергії.

1.3 Підходи до вирішення проблеми прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями

Різні види використання прогнозування PV вимагають різних типів прогнозів. Прогнози можуть стосуватися однієї PV системи або відноситися до сукупності великої кількості систем, поширених на великій географічній території. Прогнозування може зосереджуватися на вихідній потужності системи або швидкості зміни (також відомої як швидкість підйому). Тому використовуються різні підходи прогнозування. Вони також залежить від інструментів та інформації, доступної для прогнозуючої системи, наприклад дані з метеостанцій і супутників, дані фотоелектричної системи та модель числового прогнозу погоди (NWP).

Підходи прогнозування загалом можна описати як фізичні або статистичні. Фізичний підхід створює прогнози PV за допомогою сонячних і PV моделей, не покладаючись спочатку на статистичні методи, тоді як статистичний підхід покладається в першу чергу на минулі реальні дані генерації і майже не покладаються на сонячні та фотоелектричні моделі.

1.4 Аналіз програмного забезпечення для прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями

1.4.1 Рішення від компанії Solargis

Компанія Solargis в своїй системі (Рис.1) пропонує прогнозування, засноване на найточніших моделях числового прогнозу погоди (NWP) і моделях супутника до випромінювання.

Прогнози Solargis на період від 0 до 14 днів базуються на подальшій обробці метеорологічних вихідних даних найефективнішої глобальної моделі

числового прогнозування погоди (NWP). Постобробка вихідних параметрів виконується з моделі IFS, керованої ECMWF, також використовуються дані моделі GFS, якою керує NOAA, де це необхідно. Результати прогнозів поєднуються з короткостроковим прогнозуванням (інформація до 6 годин), обробленим моделлю Solargis Cloud Motion Vector (CMV).

Solargis регулярно обробляє супутникові зображення з 5 геостаціонарних метеорологічних супутників. Супутникові дані використовуються в реальному часі, що дозволяє прогнозувати рух хмар у найближчому майбутньому. Модель Solargis Cloud Motion Vector (CMV) надає більш точні дані в часовому діапазоні від 1 до 6 годин вперед. Модель CMV дає змогу отримувати сонячні та фотоелектричні дані від недавніх попередніх даних до теперішнього часу на наступні 10 днів.

Виробництво фотоелектричної енергії можна розрахувати на основі прогнозів сонячного опромінення та температури з використанням фізичних або статистичних підходів. Це буде більш точним підходом до розрахунку фотоелектричної потужності. Прогнози фотоелектричної енергії Solargis базуються на напівфізичних моделях, які використовують інформацію про конфігурацію фотоелектричної системи. Він дає точніші результати порівняно зі статистичними методами, які вимагають попереднього використання архівних сонячних або фотоелектричних даних як вхідних даних для моделі. Для Solargis дані, які надає користувач, є лише можливістю підвищення точності.

Окрім отримання прогнозів, Solargis виконує звіти про показники точності прогнозу та підвищення точності, звіти про ефективність прогнозу з інтервалом до кожного місяця. Сервіс допомагає зрозуміти точність прогнозів Solargis та виявити систематичні помилки. Моделі Solargis налаштовані на підвищення точності прогнозів для сонячних електростанцій.

Окремо можна виділити доступний прогноз для PV трекерів. Solargis впровадив алгоритми для розрахунку сонячного опромінення площини масиву та вихідної потужності PV для більшості типів систем відстеження.

home Legal info purchase support contact sign in

SOLARGIS PURCHASE climData

climData order Start ▶ 1 Select site ▶ 2 Select product ▶ 3 Cart ▶ 4 Customer info ▶ 5 Summary

▼ **Selected offer** Start ?

Name: **climData – time series and Typical Meteorological Year (TMY) – professional**
Version: 2022-07-25/11

▼ **Help**

In this section you can order and purchase various data and licenses for Solargis applications.

You will be interactively guided through this process in a few steps. Each step represents a new screen. In the last step you will be asked to choose your preferred payment type.

You may change or cancel your order anytime before the payment is done.

Check the [prices and options](#) of Solargis data and applications.

climData 	climData – time series and Typical Meteorological Year (TMY) – professional read more	Buy now
	climData – Typical Meteorological Year (TMY) – basic – P50 read more	Buy now
	climData – time series – professional read more	Buy now
	pvPlanner – full coverage + iMaps + Prospect read more	Buy now
	pvSpot – annual access read more	Buy now

Accepted payments

Рис.1 Рішення від компанії Solargis

1.4.2 Рішення від компанії Energy Line

Компанія Energy Line займається як технічним обслуговуванням та монтажем систем для обліку постачання електричної енергії, так і самим постачанням, а також надає послуги прогнозування генерації сонячної електроенергії (Рис.2). Зі створених прогнозів компанія пропонує формування та відправку звітів до системи ДП «Гарантований покупець» за поточний і наступний день з можливістю погодинного коригування даних за поточний день.

Для прогнозування компанія використовує напівемпіричну супутникову модель розрахунку. Отримавши дані випромінювання сонця (розсіяне, пряме і відбите) розраховуються показники переміщення хмар та інші важливі фактори. Дані з супутника постійно оновлюються завдяки чому ця модель коригується для підвищення точності прогнозування генерації сонячної енергії.

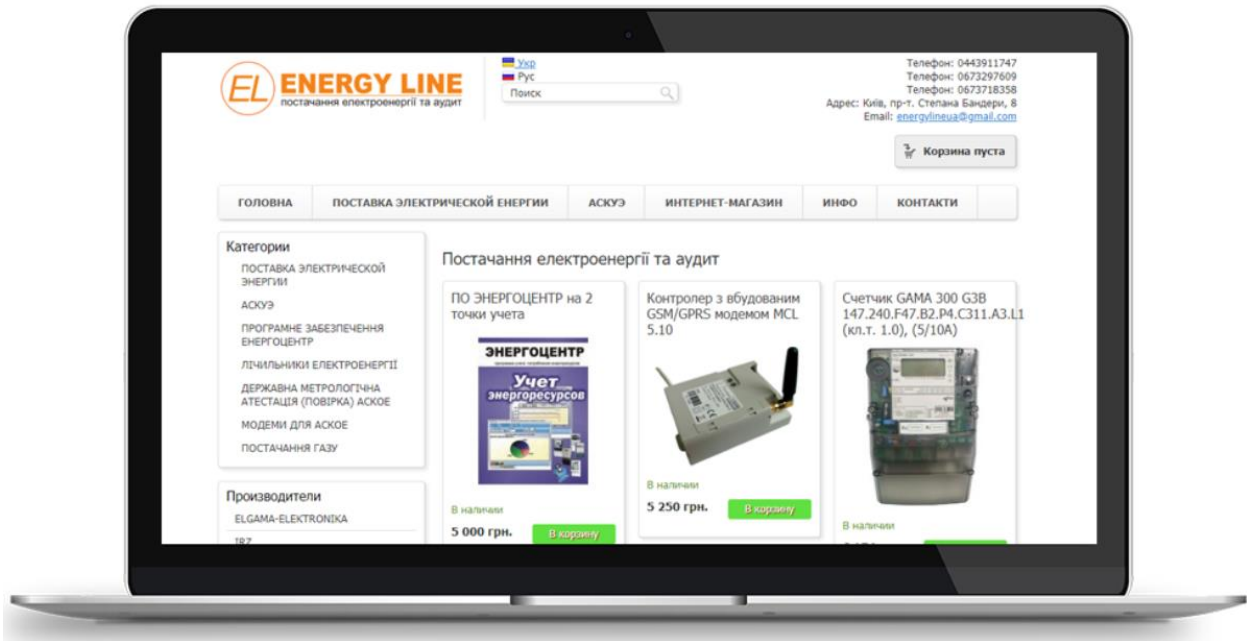


Рис.2 Рішення від компанії Energy Line

1.5 Висновки з розділу 1

В даному розділі було проведено огляд проблеми прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями; розглянуто сфери застосування прогнозування. На основі цього, можна зробити висновки:

1. Підвищений попит до точних прогнозів генерації електроенергії сонячними електростанціями базується на прийнятих змінах в законодавчі акти України. Для виробників електроенергії платити штрафи за небаланс прогнозованих та фактичних графіків виробництва є куди більш економічно невигідним, ніж організувати точний прогноз.

2. Прогнозування застосовується в сфері виробництва електричної енергії як стаціонарними так і альтернативними джерелами енергії.

3. Україна з її величезним потенціалом енергетичного розвитку має досліджувати опит інших країн та впроваджувати свої програмні застосунки і методи прогнозування.

4. Існуючі рішення для прогнозування генерації електроенергії переважно спираються на фізичні властивості метеорологічних показників.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

2.1 Методи прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями

Одним з найперспективніших і швидко розвиваючихся напрямків відновлюваної енергетики є сонячна генерація електричної енергії. У всьому світі темпи розвитку сонячних електростанцій з 2016 року випереджають темпи розвитку вугільних електростанцій [5].

На теперішній час у світі сонячної енергетики короткостроковий прогноз виробництва сонячної енергії не має універсальної та повністю перевіреної технології та часто пов'язаний з великими помилками, які іноді досягають 60—65%. При цьому прогноз на тривалий період дає на багато точніший результат, ніж на короткостроковий [5].

По суті, прогноз кількості електроенергії, виробленої сонячною електростанцією, є прогнозом кількості сонячного випромінювання, яке буде вироблено сонячними панелями. На прогноз впливає багато факторів, основними з яких є кліматичні та метеорологічні умови, тривалість світлового дня, положення сонця на небосхилі, опади, хмарність, сила вітру та інші погодні явища [5].

Всі існуючі на сьогоднішній день методи прогнозування вироблення електроенергії сонячними електростанціями можуть бути розділені на чотири основні групи [5, 6] (Рис.3):

1. Фізичні моделі описують фізичний зв'язок між погодними умовами та сонячною енергією випромінювання, отриманий за допомогою чисельного прогнозу погоди, і генерацією електричної енергії на станції.

2. Статистичні моделі описують залежність між отриманою щільністю потоку сонячного випромінювання з використанням числового прогнозу погоди та виробництва електроенергії на сонячній електростанції із

статистичним аналізом часових рядів ретроспективних даних без урахування фізичних факторів.

3. Адаптивні моделі використовують системи штучного інтелекту для визначення зв'язку між прогнозованими погодними умовами та потужністю електростанції.

4. Гібридні моделі є комбінацією фізичних, статистичних і адаптивних моделей.

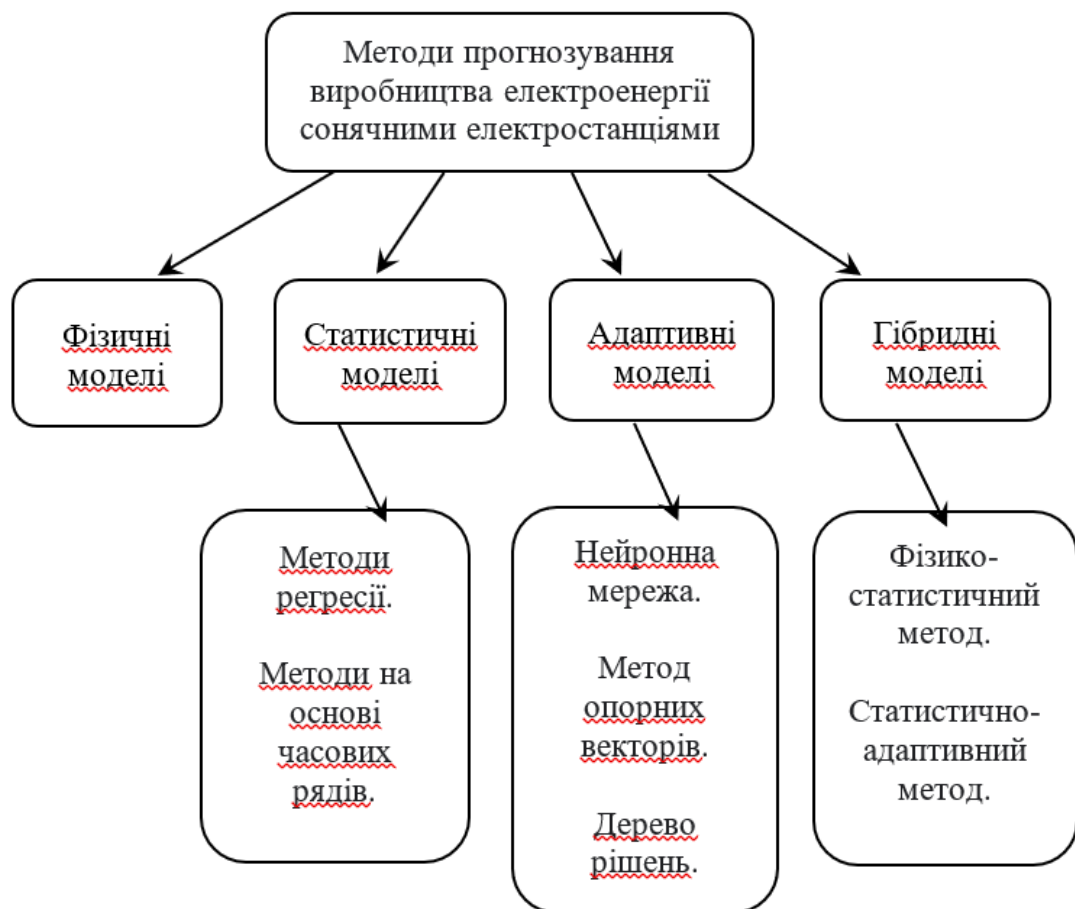


Рис.3 Класифікація методів прогнозування виробництва електроенергії сонячною електростанцією

2.1.1 Фізичні моделі

Вхідними даними для моделей фізичного прогнозу є чисельний прогноз погоди, локальні метеорологічні вимірювання, дані про рельєф і тип земної поверхні, а також дані про вихідну потужність сонячної електростанції. Крім

того, є можливість використання супутника системи відстеження напрямку і швидкості хмар, що забезпечує можливість прогнозування сонячної радіації в реальному часі.

Практичне використання різноманітних фізичних моделей у прогнозуванні виробництва електричної енергії сонцем електростанцій наведено в [7, 8].

В роботі [7] проведено дослідження вплив оптичної глибини аерозолі на якість прогнозу сонячної радіації за допомогою MM5. За результатами було виявлено, що коли значення оптичної глибини аерозолі менше 0,1, похибка прогнозу прийнятна і становить близько 3—4%, а коли значення оптичної глибини аерозолі перевищує 0,1, середнє відхилення становить близько 100 Вт/м².

В роботі [8] представлено та розглянуто одну з фізичних моделей прогнозу, засновану на короткочасних варіаціях шкали Oktas і зміни температури для визначення середньо годинної вихідної потужності фотоелектричних систем у сонячній електростанції. Ця модель надала результати, за якими зроблено висновок, що вона має прийнятну точність прогнозу вироблення сонячної енергії в похмуру погоду, а в сонячну дає в рази гірші результати.

2.1.2 Статистичні моделі

Числові дані прогнозу погоди, відомості про сонячну радіацію та ретроспективні дані про виробництво електроенергії сонячною електростанцією використовуються як вхідні дані для статистичного прогнозу моделі. Статистичні моделі найбільш широко використовуються для середньо- та довгострокового прогнозу.

Методи регресії — це одні з широко використовуваних статистичних методів для прогнозування виробництва електроенергії сонячною електростанцією [9]. Вони дозволяють врахувати багато факторів, що впливають на прогноз, наприклад, метеорологічний. При використанні

регресійних методів можна оцінити причинно-наслідкові зв'язки та залежності в даних. Крім того, перевага цих методів полягає в тому, що вони прогнозують значення залежних змінних від значення незалежних, але необхідно щоб значення ознак були незбірними.

Рівняння лінійної регресії має такий вигляд

$$Y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + e,$$

де Y — результуюча ознака;

$x_1 \dots x_n$ — ознаки фактору;

$b_1 \dots b_n$ — коефіцієнти регресії;

a — вільний коефіцієнт в рівнянні;

e — «помилка» моделі.

Перевагою регресійних методів є простота їх реалізації, а основним недоліком є непередбачуваність параметрів, які впливають на фактичні значення. При різких змінах в наявних архівних даних, буде порушення точності прогнозу. Методи регресії застосовуються для пошуку закономірностей у даних і для визначення суттєвих фактори моделі, але вони не забезпечують високої точності побудови короткострокових моделей для прогнозування виробництва електроенергії.

Одним з найбільш часто використовуваних методів на основі часових рядів є модель Бокса-Дженкінса — ARIMA (авторегресійне інтегроване ковзне середнє) [10]. Ця модель застосовується до нестационарних часових рядів, які можна звести до стаціонарного, беручи різницю деякого порядку від початкових значень часу серії.

При побудові короткострокових прогнозів широко використовуються методи, засновані на теорії часових рядів виробництва електроенергії, оскільки підприємства мають велику кількість архівних даних щодо виробництва електроенергії сонячними електростанціями, а методи цієї групи спрямовані на обробку великих масивів даних та дозволяють знаходити в них закономірності, а також використовувати ці закономірності при побудові прогнозу моделі.

Головним недоліком цих методів є неможливість забезпечити необхідну точність прогнозу. Але при використанні методів на основі часових рядів у комплексі, наприклад з адаптивними моделями, необхідна точність досяжна, але методи, що використовуються в цьому випадку, будуть стосуватися гібридних моделей.

У роботах [11–13] розглядається практичне застосування статистичних моделей для прогнозування сонячної енергії.

В [11] описано двоетапний метод прогнозування електроенергії сонячною електростанцією. На першому етапі статистична нормалізація сонячної енергії виконується за допомогою моделі ясного неба, яка запропонована в [14]. На другому етапі розраховуються прогнози нормованої сонячної енергії з використанням моделей на основі часових рядів, зокрема авторегресійної моделі та авторегресійної моделі.

В результаті було виявлено, що використання моделі авторегресії з екзогенними вхідними даними дає на 12% кращий результат, ніж використання простої авторегресійної моделі у прогнозуванні дуже короткого горизонту та 23% у прогнозуванні наступного дня.

У [12] запропоновано модель прогнозу сонячної енергії, яка враховує різні параметри потужності хмарності. На основі статистичної поведінки параметрів було запропоновано простий процес перемикання між трьома класами: «сонячно», «хмарно», "мінлива хмарність". Прогноз будується шляхом ідентифікації поточного режиму та припущення, що він збережений у цьому режимі.

У роботі [13] автори запропонували короткостроковий прогноз сонячної енергії з використанням класичної концепції «сезонність». Особливістю цієї роботи є дуже короткий часовий горизонт 1, 15 і 60 хвилин.

2.1.3 Адаптивні моделі

Адаптивні моделі основані на ретроспективному аналізі даних. Ці моделі, на відміну від статистичні, можуть неявно описувати складні нелінійні

залежності між погодними умовами та електроенергією, виробленою сонячною електростанцією. Основним фактором, що впливає на точність прогнозу є вибірка та структура вихідних даних, використаних для побудови моделі [15].

Методи з використанням штучних нейронних мереж останнім часом набули широкого поширення не тільки в розв'язуванні проблеми короткострокового прогнозу вироблення сонячної енергії, а також у середньо- та довгостроковій перспективі прогнозів. Штучні нейронні мережі складаються з набору нейронів вхідного, прихованого та вихідного шарів, взаємодіючи один з одним. Нейрони мають функцію активації, яка залежить від ваги зв'язки між нейронами і зміщення.

Існує багато методів побудови нейронної мережі [16], які знайшли застосування для прогнозування виробництва електроенергії сонячними електростанціями.

Перевагою нейронних мереж є швидке складання алгоритмів і можливість працювати в присутності шумових вхідних сигналів [16].

Метод опорних векторів є однією з популярних методологій навчання прецедентів. Опорний вектор машини належить до лінійних класифікаторів і використовується в регресійному аналізі та класифікації проблеми.

Основною ідеєю методу є переведення векторів у простір більш високої розмірності та пошук розділової гіперплощини з максимальним розривом у ній [17]. З гіперплощини розділяючи класи з обох сторін, будуються дві паралельні гіперплощини. Гіперплощина, в якій відстань між двома паралельними площинами максимальна, і буде розділовою.

Основними перевагами методу опорних векторів є можливість отримання правильного розв'язку. Проблема в наявності неповних і спотворених даних, а також можливість розгляду багатьох додаткових факторів, що впливають на якість прогнозування. Недоліком є необхідність навчання і підвищені вимоги до програмно-технічних ресурсів.

Використання адаптивних моделей для прогнозування генерації сонячної енергії було показано в [18—20].

У роботі [18] продемонстровано використання дерев рішень для дуже короткострокового прогнозування генерації електроенергії від сонячної електростанції. У роботі показано, що точність прогнозу за допомогою градієнта підвищення становило 75—65%. Прогноз будується на 1 годину вперед.

У [19] використано штучну нейронну мережу, адаптивну нейронечітку систему логічного висновку та розглядається узагальнена нейронна мережа. Вхідними параметрами для запропонованої моделі є рівень сонячної радіації, температури навколишнього середовища, швидкості вітру та температури модуля. Як результат роботи — видно що найкращий результат дає використання узагальненої нейронної мережі.

У [20] автори використовують мережу радіальних базисних функцій для прогнозування сонячної енергії. Вхідними даними є дані про вимірювання потужності та метеорологічні прогнози сонячної радіації, відносної вологості повітря і температура на місці. Особливістю даної роботи є попередня класифікація типу погоди (сонячна, хмарна, дощова) і використання іншої структури мережі для кожного класу.

2.1.4. Гібридні моделі

Гібридні методи поєднують різні комбінації методів з інших відомих груп. Наприклад, часто зустрічаються комбінації методів фізичної, статистичної та адаптивної моделей.

Використання фізичних моделей не завжди виправдано через складність точного розгляду. Існують певні фактори, що потребують впровадження статистичного підходу для їх визначення.

Статистичні підходи мають більш високу точність при розрахунку усереднених значень сонячної радіації за тривалий час, період (день, місяць, рік), тоді як протягом коротшого періоду (хвилин, годин), коли фізичні

процеси, наприклад — хмарність, не можна усереднити для даного інтервалу, вони мають набагато меншу точність. Для оптимальної точності гібридних моделей статистична модель адаптована до умов, що постійно змінюються та описується фізичними моделями.

Більшість комбінованих підходів до прогнозу генерації сонячної енергії, як правило, можна використовувати для розрахунку ясних або хмарних днів.

Іншим прикладом гібридних моделей можуть бути методи, що поєднують різні методи від статистичних і адаптивних моделей. Такі гібридні методи мають перспективу, оскільки дозволяють врахувати специфіку фізичного процесу та використовувати можливості адаптивних методів. Методи цієї групи розвиваються, а фахівці знаходять різні комбінації методів, що забезпечують необхідну точність.

Використання гібридних моделей для прогнозування виробництва електроенергії сонячними електростанціями показано в [21, 22].

У роботі [21] для прогнозування генерації електроенергії використано гібридну фізико-статистичну модель. Два параметри, коефіцієнт прозорості та коефіцієнт дифузії, були визначені за допомогою статистичної моделі. Усі інші параметри визначали за допомогою фізичних моделей. В результаті застосування методу похибка склала 22,3%.

У роботі [22] використовується двокрокова модель, яка поєднує авторегресійне інтегроване ковзне середнє, принаймні квадратна опорна векторна машина, штучна нейронна мережа та адаптивний нейронечіткий висновок системи з генетичним алгоритмом на другому етапі. Помилка методу в результаті дослідження була близько 5,21%.

2.2 Вплив помилки прогнозу погоди на результат прогнозування генерації сонячної енергії

Більшість моделей прогнозування енергії будуються на основі спостережуваних змін погоди, яких досить багато в нашому часовому поясі.

Всі дослідження зосереджені на вдосконаленні моделей прогнозування за допомогою ефективних методологій.

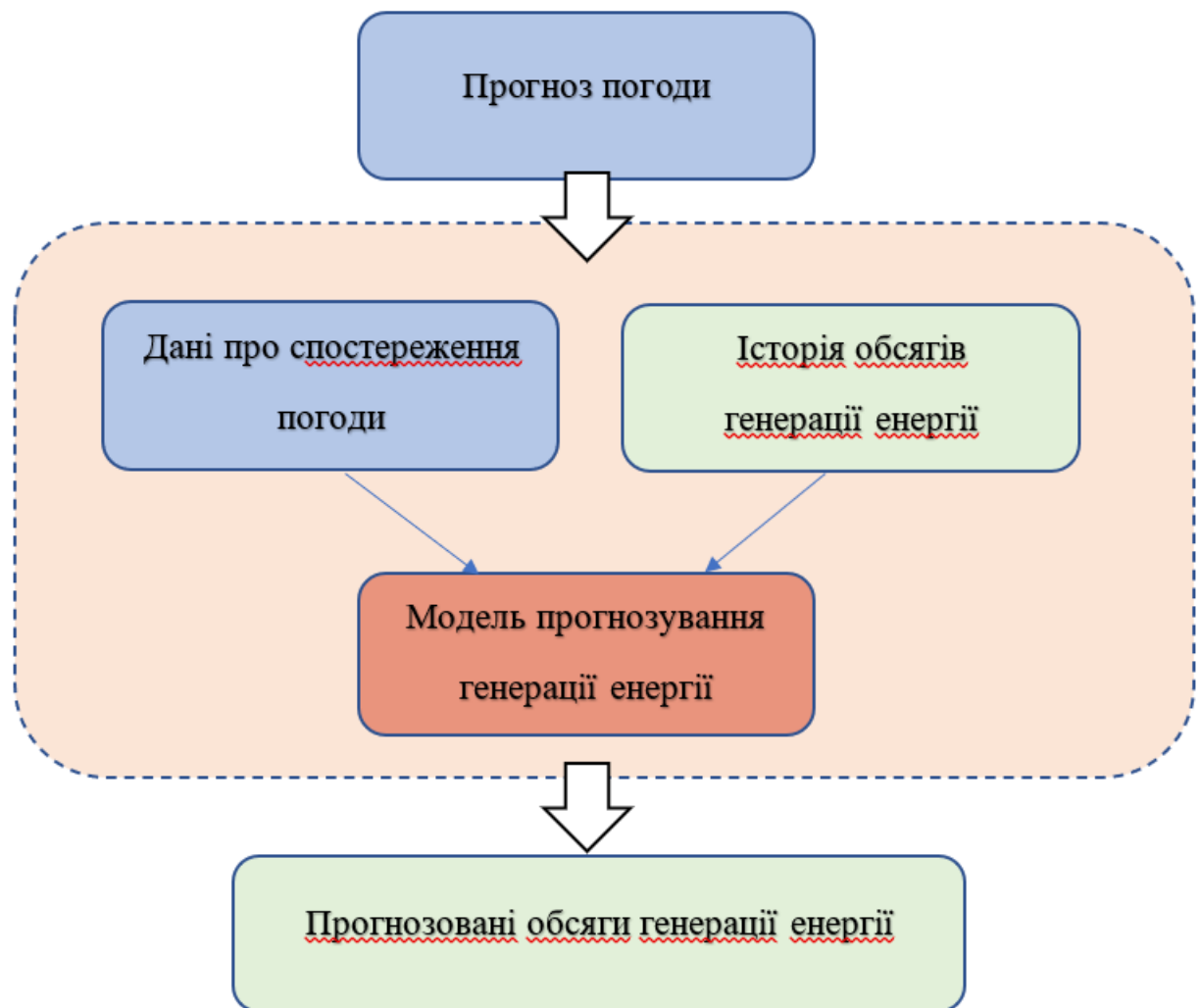


Рис.4 Типовий процес прогнозування сонячної фотоелектричної енергії

Основне питання прогнозування полягає в тому, що якщо неконтрольовані зміни погоди або прогнозовані зміни погоди з величезними помилками вводяться в прогноз моделі, отриманий прогноз може бути незадовільним. Ці помилки більш серйозні, якщо прогнозований час виконання стає довшим. Отже, ефективність моделі прогнозування є неприйнятною, коли вхідні дані мають значні помилки або містять некоректні дані.

У світі було проведено багато досліджень для прогнозування відновлюваних розподілених енергетичних ресурсів (DER) і багато методів

були запропоновані для вдосконалення моделей прогнозування та в цілому комплексні (гібридні) методи прогнозування перевершують інші методи.

Похибки прогнозування обсягів вироблення сонячної енергії на короткі періоди (день, кілька днів, тиждень) у світовій сонячній енергетиці можуть становити 60-65% від прогнозу. При цьому чим більше період прогнозу — тим більше точно можна спрогнозувати результат генерації. Дане правило цілком справедливо і для площі — точковий прогноз завжди менш точний, точність прогнозу сонячної ефективності значно зростає в міру збільшення площі географічної області, для якої складається прогноз.

Механізм погодо утворення для різних місць планети і кліматичних поясів різний і при порівняно однакових умовах можуть виникати істотно відрізняючі ефекти. Існуючі моделі прогнозування метеорологічних умов враховують тільки основні чинники, які впливають на утворення погоди в даній місцевості. При цьому жодна з моделей не враховує особливості, наприклад, для регіонів у моря — обрис берегової лінії, нічні і денні бризи та інші. Хоча навіть відносно невеликі водні об'єкти — озера, річки, водоймища — мають досить сильний вплив на погодні умови в конкретній місцевості. Крім того, дуже проблематичним є прогнозування погоди для гірських місцевостей, навіть починаючи з невеликих висот. Саме тому кожна модель протягом певного часу повинна пройти адаптацію для конкретних кліматичних умов місцевості, щоб надалі з високою ймовірністю отримувати достовірні прогнози погоди.

Із факторів, які впливають на точність прогнозу погоди, слід виділити кут піднесення Сонця над горизонтом — чим він нижчий, наприклад, в зимові час для наших широт, тим нижче точність прогнозів.

Окремо варто відзначити фактори, які побічно пов'язані з природними особливостями. Наприклад, ступінь запиленості панелей, яка зростає при тривалій жаркій погоді без опадів. А також наскільки збільшиться генерація електроенергії після опадів (дощу), які змивають накопичилася пил — ці чинники також необхідно враховувати при складанні прогнозів генерації.

Беручи до уваги вищенаведене можна зробити висновок, що кращий метод прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями — це об'єднання (усереднення) прогнозів, отриманих від різних моделей чисельного прогнозування погоди. Як варіант — усереднення прогнозів погоди, отриманих від різних метеорологічних служб.

На сьогоднішній день прогнозування обсягів генерації сонячної енергії виконується кількома великими компаніями, розташованими в країнах з розвинутою сонячною енергетикою: в США (Clean Power Research, Windlogic Inc), в Європі, перш за все в Німеччині (WEPROG), в Іспанії (IRSOLAV) і в Норвегії (DNV-GL). Україні ще належить побудувати власні системи прогнозування, які зможуть стати ефективними інструментами і будуть практично застосовними для сонячної енергетики з урахуванням особливостей як місцевого законодавства, так і кліматичних і метеоумов нашої країни.

Існують дослідницькі роботи по впливу помилки прогнозу погоди на результат прогнозування генерації сонячної енергії.

2.3 Висновки з розділу 2

В даному розділі було проведено аналіз методів, які застосовуються для прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями. На основі цього можна сформулювати такі висновки:

1. Кожен з існуючих методів прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями має свої переваги і недоліки та потребують удосконалення на практиці.

2. Помилки прогнозу погоди та неконтрольована поява природних явищ негативно впливає на прогнозування генерації енергії, тому необхідно більше уваги приділити дослідженню яка саме атмосферна складова або який вид погодних умов в місцевості, де розташовані сонячні станції, має найбільший вплив на точність прогнозу генерації.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СЛУЖБ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ЗАВАНТАЖЕННЯ ПРОГНОЗІВ

3.1 Призначення розробки

Побудовані служби Windows призначені для автоматизування процесу надання прогнозних даних Держпідприємству «Гарантований покупець», додавання та оновлення в бази даних погодних даних а також реальних даних відпуску електричної енергії на сонячних станціях, прогнозування та порівняння результатів створених прогнозів.

Побудований десктопний застосунок призначений для зручної зміни параметрів прогнозування та генерації звіту з результатами порівняння різних способів прогнозування.

Побудовані шаблони звітів SSRS дозволяють провести аналіз порівняння результатів створених прогнозів та визначити який з реалізованих методів прогнозування є найближчим до реальних даних.

3.2 Функціональні та нефункціональні вимоги

3.2.1 Функціональні вимоги

Windows служба прогнозування генерації електроенергії СЕС повинен задовольняти наступні функціональні вимоги:

1. Кожні 4 години (приблизний час оновлення джерела погодних даних) опитувати джерело погодних даних через Web Api та додавати отримані результати до бази даних.
2. Раз в день опитувати та додавати отримані результати до бази даних.
3. Виконувати прогнозування для обраних користувачем СЕС та записувати результат в базу даних після кожного оновлення погодних даних.

4. Порівнювати результати створених прогнозів з реальними даними генерації електроенергії СЕС.

Windows служба для завантаження прогнозів добової виробки електроенергії СЕС повинен задовольняти наступні функціональні вимоги:

1. З прогнозованих даних у базі формувати xml файли у відповідному форматі.
2. Підписувати сформовані файли за допомогою ЕЦП.
3. За допомогою веб-інтерфейсу завантажувати сформований файл до сайту Укренерго «Гарантований покупець» раз в годину.
4. На початку кожного дня формувати звіт зі зведенням роботи служби та розсилати його на електронну пошту відповідальних осіб.
5. У випадку виникнення непередбачених ситуацій негайно надсилати повідомлення електронною поштою відповідальним особам.
6. Статус служби повинен відслідковуватись та при зміні на «зупинено» повинна відновлюватись робота служби.

3.2.2 Нефункціональні вимоги

Windows служба прогнозування генерації електроенергії СЕС повинен задовольняти наступні нефункціональні вимоги:

1. Працювати неперервно та без збоїв на великому проміжку часу.
2. Мати систему фіксації виниклих помилок та збоїв у роботі.
3. Забезпечити відмовостійкість служби та відновлення після виникнення непередбачених ситуацій.
4. Оброблювати велику кількість даних.

Windows служба для завантаження прогнозів добової виробки електроенергії СЕС повинен задовольняти наступні вимоги:

1. Працювати неперервно та без збоїв на великому проміжку часу.
2. Мати систему фіксації виниклих помилок та збоїв у роботі.
3. Забезпечити захист ключів ЕЦП.

4. Забезпечити захист даних для авторизації користувачів сайту Укренерго.

5. Забезпечити відмовостійкість служби та відновлення після виникнення непередбачених ситуацій.

3.3 Діаграма використання

Дійовою особою є користувач, який відповідає за прогнозування відпуску електроенергії сонячними електростанціями.

Виходячи з потреб дійових осіб, виділяються наступні варіанти використання (Рис.5):

1. Запустити процес завантаження прогнозів на сайт ДП «Гарантованого покупця».

2. Запустити процес прогнозування відпуску електроенергії сонячними електростанціями.

3. Відкрити звіт з результатами прогнозування та порівнянням створеного прогнозу.

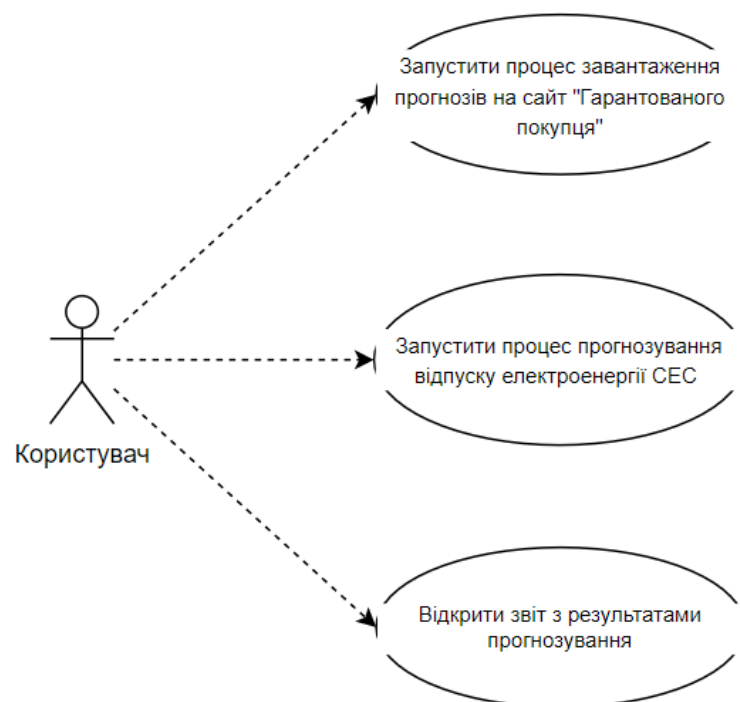


Рис.5 Діаграма використання системи

3.4 Діаграми послідовності

На рисунку 6 представлена діаграма послідовності для варіанту використання «Запустити процес прогнозування відпуску електроенергії сонячними електростанціями».

Після запуску застосунку користувач обирає інтервал прогнозування, необхідні сонячні станції, типи прогнозування та натискає кнопку «Прогнозувати генерацію». Застосунок передає параметри до методу служби прогнозування, який виконує прогнозування генерації електроенергії за обраними параметрами. При недостатці погодних даних служба надсилає запити до Web Api VisualCrossing, отримані погодні дані служба записує до бази даних. Наступним кроком служба виконує прогнозування і записує прогнозовані значення до бази даних, повертаючи результат виконання до застосунку.

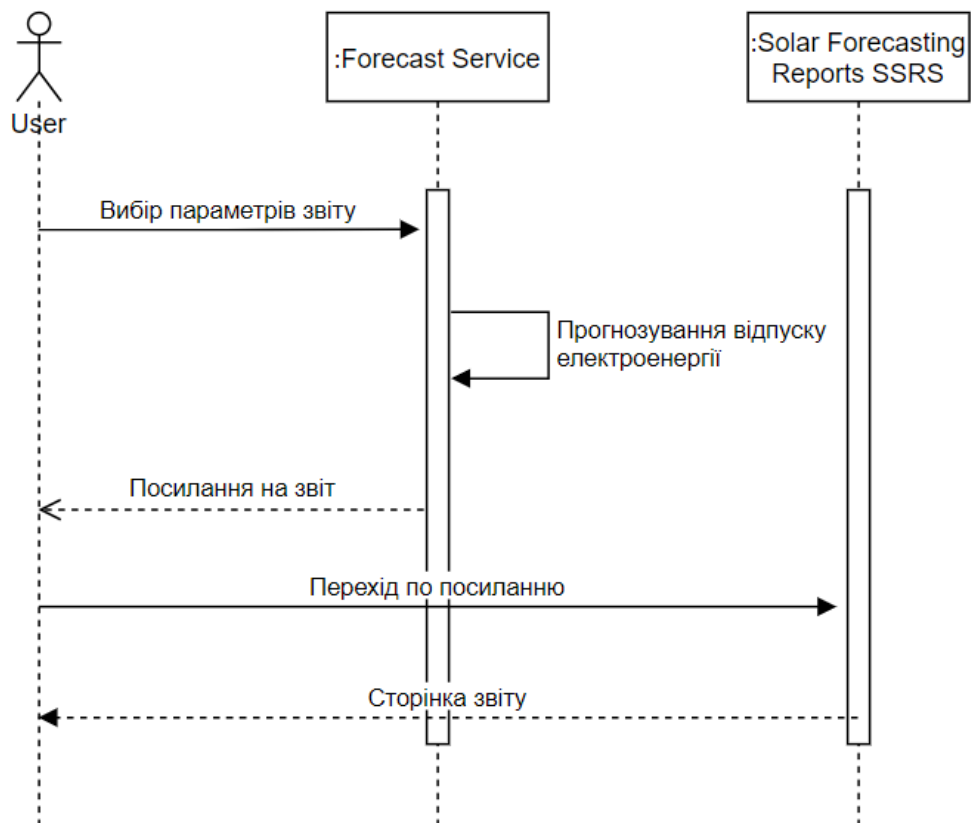


Рис.6 Діаграма послідовності «Перегляд звіту з результатами прогнозування»

На рисунку 7 представлена діаграма послідовності для варіанту використання «Відкрити звіт з результатами прогнозування та порівнянням створеного прогнозу».

Після запуску застосунку користувач обирає інтервал прогнозування, необхідні сонячні станції, типи прогнозування та натискає кнопку натискає кнопку «Порівняти прогнози». Застосунок передає параметри до методу служби прогнозування, який виконує порівняння прогнозованої та реальної генерації електроенергії за обраними параметрами. Наступним кроком служба виконує порівняння цих значень і записує його результат до бази даних, повертаючи як результат виконання посилання на звіт. Користувач натискає на посилання або копіює url і вставляє в браузер. SSRS генерує сторінку зі звітом порівняння прогнозованої та реальної генерації електроенергії на сонячних електростанціях за заданими параметрами.

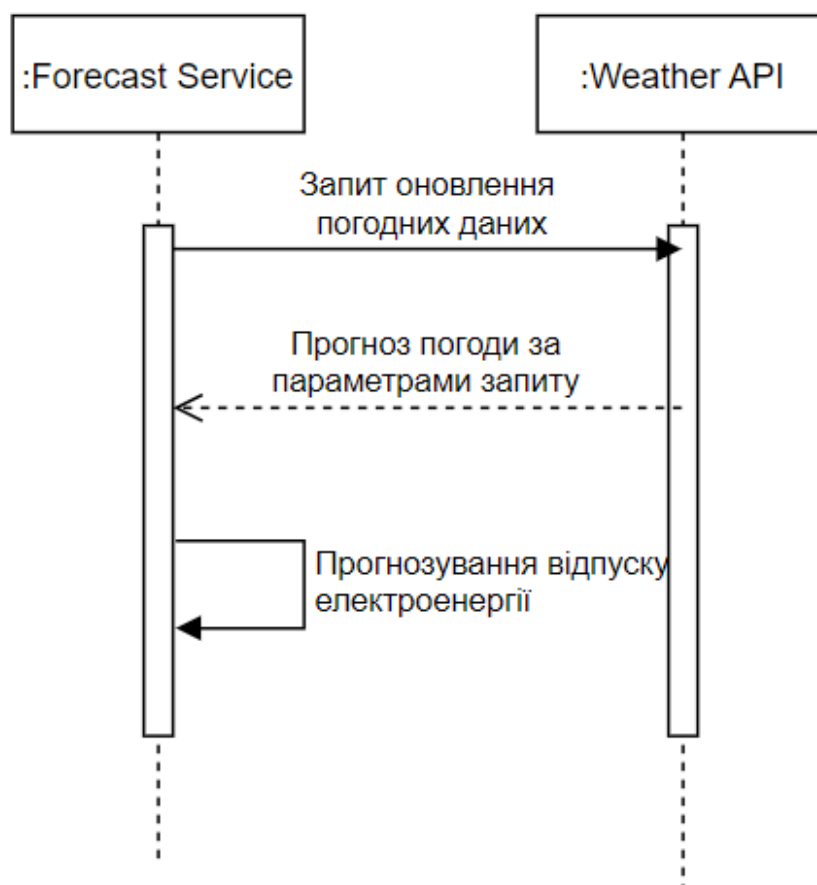


Рис.1 Діаграма послідовності «Процесу прогнозування відпуску електроенергії СЕС»

На рисунку 8 представлена діаграма послідовності для варіанту використання «Запустити процес завантаження прогнозів на сайт ДП «Гарантованого покупця»».

Після старту роботи служба завантаження прогнозів отримує прогнозні значення із бази даних, створює файли відпуску електроенергії та підписує їх, потім створені файли завантажуються на сайт ДП «Гарантованого покупця» за допомогою веб-драйвера, а результат виконання процесу записується до бази даних та потім розсилається всім підписаним користувачам.



Рис.8 Діаграма послідовності «Процесу завантаження файлу відпуску електроенергії СЕС»

3.5 Вимоги до інтерфейсу

Оскільки вихідний програмний продукт є Windows службою і працює в фоновому режимі, то графічного інтерфейсу він не має.

Для зручного подальшого порівняння результатів прогнозування було виділено наступний ряд рекомендацій до застосунку та шаблонів звітів:

1. Форма прогнозування повинна містити параметри прогнозу (період, сонячні станції, алгоритми прогнозування)
2. Форма прогнозування повинна надати користувачу можливість запуску прогнозування з обраними параметрами та генерувати звіт для аналізу результатів прогнозування
3. Звіт повинен містити погодинні реальні дані відпуску сонячної електричної енергії та прогнозованої, різницю між ними, оцінку достовірності прогнозу за обраний період, СЕС та алгоритмами прогнозування
4. Звіт повинен містити наглядні діаграми порівняння реальних дані відпуску сонячної електричної енергії та прогнозованих за обраний період, СЕС та алгоритмами прогнозування

3.6 Діаграми класів

3.6.1 Діаграма класів служби прогнозування

На рисунку 9 зображена діаграма класів служби завантаження прогнозів.

Клас WeatherHelper містить методи для опитування Web Api VisualCrossing та додавання або оновлення отриманих погодних даних до бази даних.

Клас ForecastHelper відповідає за прогнозування та порівняння прогнозованих даних з реальними.

Клас PVoutDataFetcher є парсером, який зчитує з файлів та додає значення реальної генерації електроенергії до бази даних.

Клас `Logger` допомагає записувати усі помилки до логів.

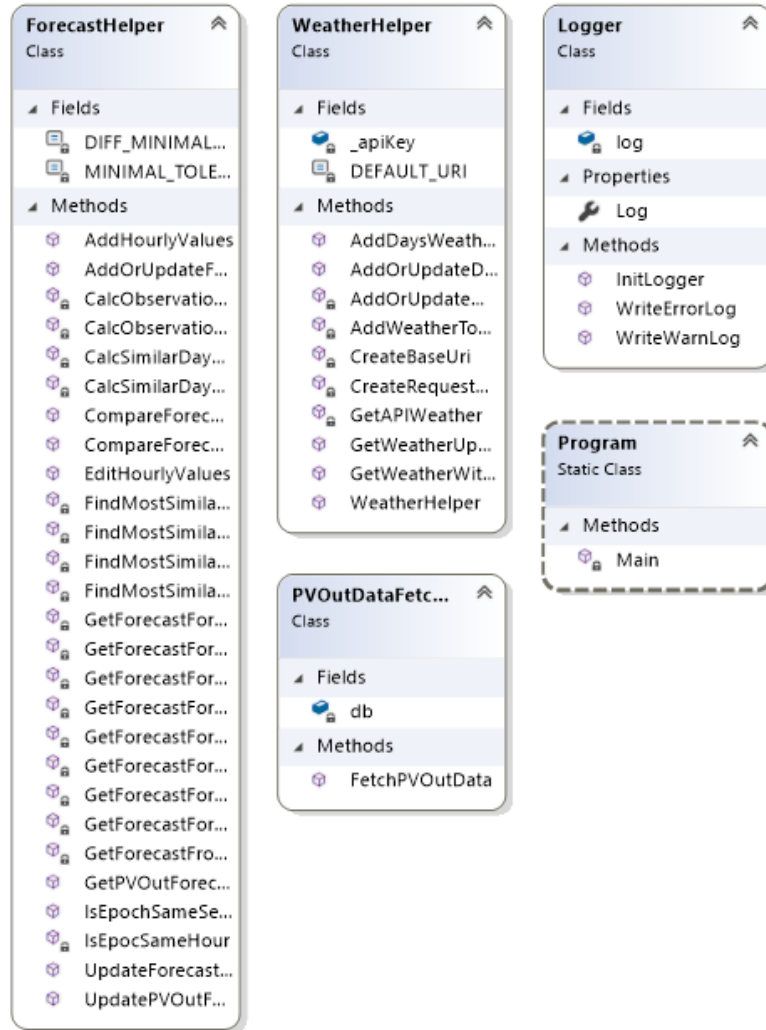


Рис.9 Діаграма класів служби прогнозування

3.6.2 Діаграма класів служби завантаження прогнозів

На рисунку 10 зображена діаграма класів служби завантаження прогнозів.

Клас `Worker` відповідає за основну логіку виконання програми і використовує екземпляри усіх інших класів.

Клас `SharedDBContext` містить контекст бази даних.

Клас `DataEncryptor` є допоміжним засобом для шифрування конфіденційних даних, таких як дані для входу в аккаунт на сайті «Гарантованого покупця».

Клас `JsonFileHelper` є допоміжним засобом для зчитування та розшифровки файлу конфігурації системи.

Клас `Logger` допомагає записувати усі помилки до логів.

Клас `Mailer` допомагає розсилати повідомлення на електронну пошту усім підписаним на різні типи оновлень користувачам.

Клас `IEUSignCP` є обгорткою для використання функції бібліотеки «Користувач-1» підпису файлів ЕЦП через технологію COM Interop.

Клас `SignHelper` використовується для підпису конкретних файлів ЕЦП.

Клас `CleanUpHelper` містить методи для очищення надлишкових файлів та застарілих даних в базі даних.

Клас `XMLFileCreator` допомагає створювати файли з прогнозованою генерацією електроенергії сонячними електростанціями.

Клас `BrowserWorkAutomator` містить методи для роботи з браузером через `Selenium Chrome WebDriver` та покрокове завантаження файлів з прогнозованою генерацією електроенергії сонячними електростанціями на сайт «Гарантованого покупця».

Клас `ProcessKiller` завершує процеси браузерів через які здійснювалось завантаження файлів з прогнозованою генерацією електроенергії сонячними електростанціями на сайт «Гарантованого покупця».

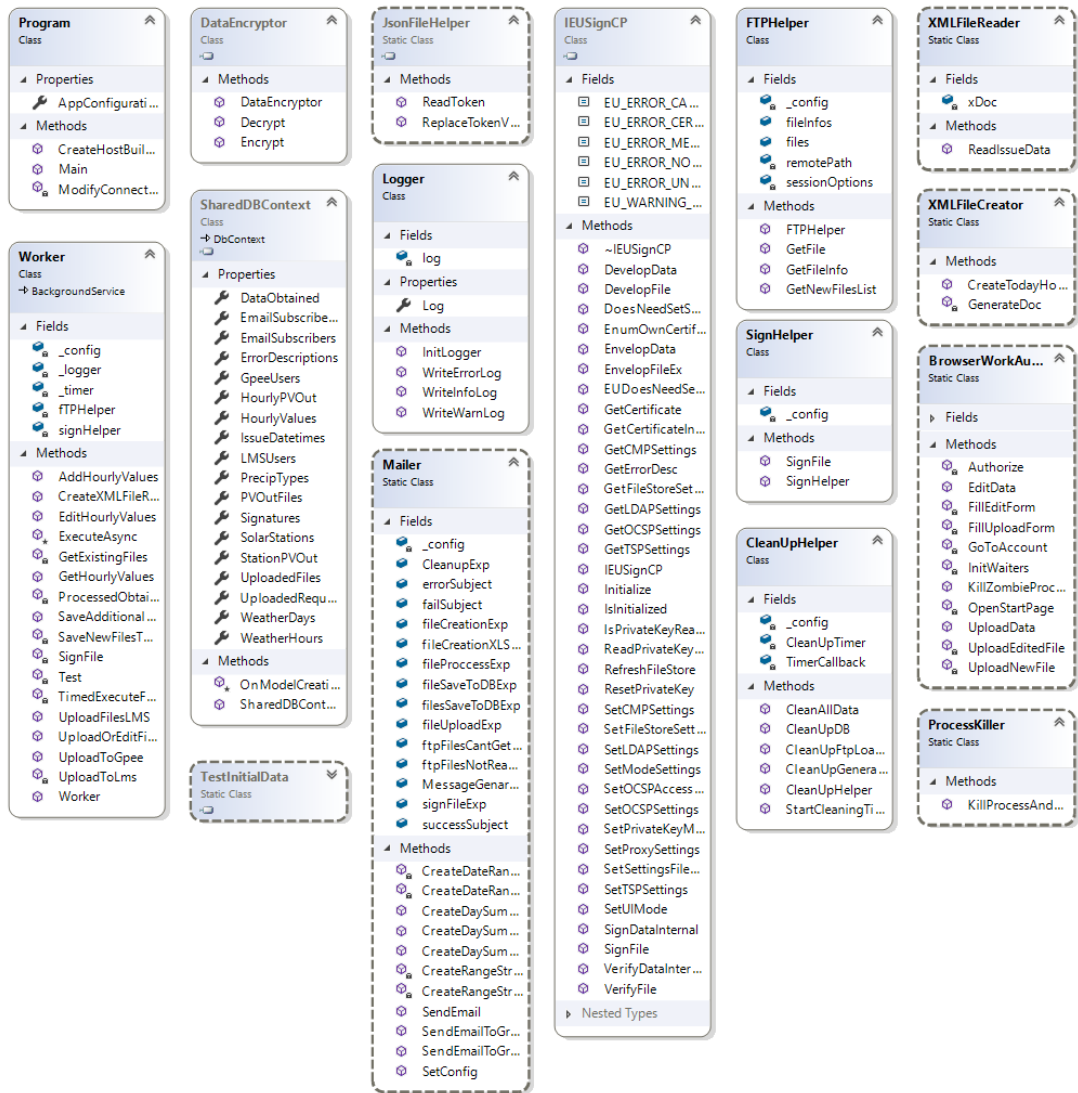


Рис.10 Діаграма класів служби завантаження прогнозів

3.5 Засоби реалізації

Дана система була створена у середовищі розробки Microsoft Visual Studio 2021 мовою C#.

C# — це об'єктно-орієнтованою мовою програмування і аналогічно іншим сучасним мовам групує пов'язані поля, методи, властивості і події в структури даних, які називаються класами.

ORM-технологію Entity Framework було використано для автоматичного зв'язку баз даних з концепціями об'єктно-орієнтовної мови. Entity Framework дозволяє абстрагуватися від бази даних та її таблиць і працювати з даними

незалежно від типу сховища. Її вирізняє застосування запитів LINQ to Entities, що транслюються в запити SQL зрозумілі для джерела даних.

Центральною концепцією є поняття сутності, що визначає набір даних, які пов'язані з певним об'єктом. Всі сутності, з якими працює Entity Framework, визначаються в вигляді моделей класів.

Для автоматизації взаємодії з сайтом «Гарантованого покупця» використовувався фреймворк для тестування Selenium з веб-драйвером Chromium.

Selenium це об'єктно-орієнтований Java-додаток, який може аналізувати файли певної структури для того, щоб знаходити в них команди для маніпуляції браузером і команди для виконання певних дій і перевірок. Крім того, команди Selenium можна викликати з наступних мов програмування: Java, C#, Ruby, Haskell, JavaScript, Perl, PHP, Python. Selenium підтримується Microsoft Internet Explorer, Google Chrome, Mozilla Firefox для Microsoft Windows, Linux і Apple Macintosh.

В рамках проекту Selenium також випускається інструмент Selenium WebDriver, який являє собою драйвер що дозволяє керувати веб-браузером за допомогою Selenese або API.

Файли, створені програмою, підписуються «Користувач-1» Юридичної особи публічного права інформаційно-довідкового департаменту державної податкової служби.

Особистим ключем накладається Електронний цифровий підпис (далі — ЕЦП), а його перевірка відбувається за допомогою відкритого ключа. За статусом Електронний цифровий підпис прирівнюється до власноручного підпису (печатки). Він є дійсним незалежно від того, що має електронну а не власноручну форму, та не може бути визнаним нечинним за те, що не ґрунтується на посиленому сертифікаті ключа.

Особистий ключ неможливо підробити. Обов'язковою умовою є його надійне та правильного зберігання власником. Перевага електронного

документ в тому, що його не можливо підробити, так як будь-які несанкціоновані втручання або зміни в ньому миттєво виявляються.

Формування особистого ключа ЕЦП відбувається на підставі випадкових чисел, які генеруються генератором випадкових чисел. Відкритий ключ обчислюється з особистого ключа ЕЦП з такою унікальністю, що одержати другий з першого взагалі неможливо.

Послідовність символів особистого ключа ЕЦП є унікальною. Її довжина складає 264 біти. Працює особистий ключ ЕЦП лише в парі з відкритим ключем. У разі неналежного збереження таємниці особистого ключа будь хто може використати його та підробити ЕЦП.

Відповідність ЕЦП його власнику можливо перевірити за допомогою відкритого ключа. Особистий ключ ЕЦП існує в одному екземплярі і тільки у власника ключа.

Для перевірки ЕЦП відправлених або отриманих файлі використовується Відкритий ключ, який працює тільки в парі з особистим ключем, міститься в Сертифікаті відкритого ключа та підтверджує належність відкритого ключа ЕЦП певній особі. Сертифікат відкритого ключа окрім самого відкритого ключа також містить в собі персональну інформацію про його власника, а саме його ім'я та реквізити, унікальний реєстраційний номер та термін дії Сертифікату відкритого ключа. Для забезпечення цілісності представлених у Сертифікаті даних він підписується особистим ключем Центру сертифікації ключів. Сертифікат відкритого ключа може публікуватися на сайті відповідного ЦСК відповідно до Договору про надання послуг ЕЦП.

При підписанні електронного документа його початковий зміст не змінюється, а додається блок даних, так званий «Електронний цифровий підпис». Отримання цього блоку можна розділити на два етапи.

На першому етапі за допомогою програмного забезпечення і спеціальної математичної функції обчислюється так званий «відбиток повідомлення».

Таким чином, якщо документ був модифікований, то зміниться і його відбиток, що відобразиться при перевірці Електронного цифрового підпису.

На другому етапі відбиток документа шифрується за допомогою програмного забезпечення і особистого ключа автора. Розшифрувати ЕЦП і одержати початковий відбиток, який відповідатиме документу, можна тільки використовуючи Сертифікат відкритого ключа автора. Таким чином, обчислення відбитку документа захищає його від модифікації сторонніми особами після підписання, а шифрування особистим ключем автора підтверджує авторство документа.

Для використання бібліотеки додавання до документів підпису ЕЦП було використано технологію COM Interop.

COM Interop (Взаємодія з COM) — технологія, включена до .NET CLR, що дозволяє об'єктам COM взаємодіяти з об'єктами .NET, і навпаки.

Завданням COM Interop є забезпечення доступу до існуючих компонентів COM без необхідності модифікації оригінальних компонентів. Ця технологія намагається зробити типи .NET еквівалентними типу COM. Крім того, COM Interop дозволяє розробникам COM отримати доступ до об'єктів, що керуються, так само просто, як і доступ до інших об'єктів COM.

.NET Framework створює бібліотеку типів та спеціальні записи в реєстрі під час реєстрації компонента. Це виконується спеціальною утилітою (RegAsm.exe), що експортує керовані типи в бібліотеку типів і реєструє керовані компоненти як звичайний COM-компонент. У той час як тип породжується через COM, .NET CLR — дійсний об'єкт COM, який виконує будь-який виклик методу або реалізує доступ до реалізації типів.

3.6 Модулі та алгоритми

У процесі проектування було спроектовано багатомодульну архітектуру, яка складається з наступних модулів:

Solar Forecast Service — модуль прогнозування, який отримує дані з джерела погоди та виконує прогнозування. Цей модуль являється службою Windows. Для своєї роботи він використовує усі інші модулі, окрім Watchdog Service.

Solar Planner Service — основний модуль з бізнес логікою. Цей модуль являється службою Windows. Для своєї роботи він використовує усі інші модулі, окрім Watchdog Service.

Services Config — модуль, який відповідає за налаштування всіх інших модулів.

Shared Models — модуль, у якому зберігаються моделі бази даних, методи взаємодії з ними та інші допоміжні методи, які використовуються в усіх модулях.

Watchdog Service — модуль, який відповідає за моніторинг статусу служб Solar Planner Service та Solar Forecast Service відновлює їх роботу при зупиненні.

Solar Forecast Reports — модуль, що містить шаблони звітів з порівнянням точності прогнозування.

Solar Forecast WPF — WPF застосунок, що дозволяє користувачу обрати параметри для тестового прогнозування.

Архітектура системи представлена нижче на рисунку 11.

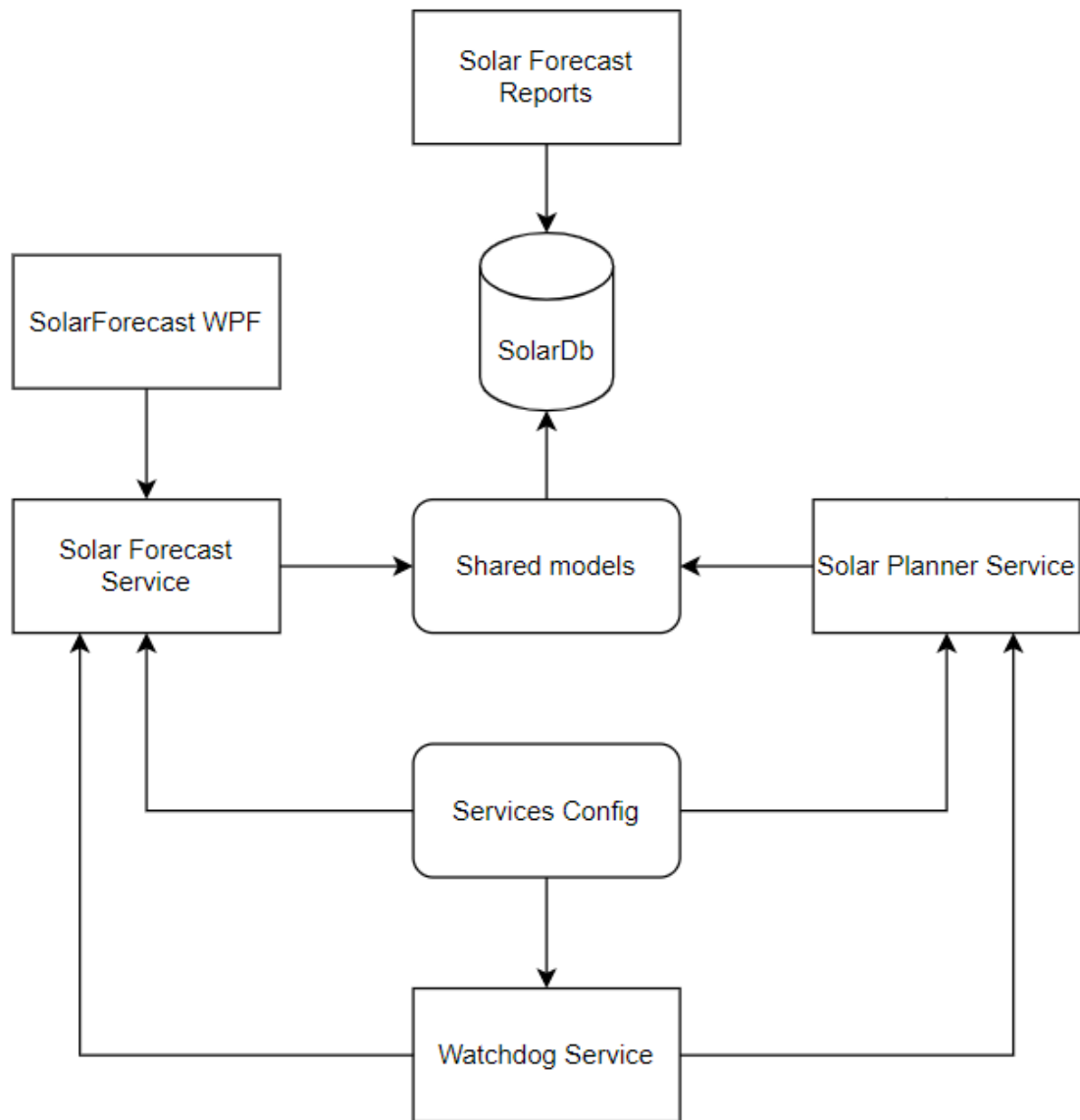


Рис.11 Схема архітектури системи

На лістингу 1 відображено метод «GetAPIWeather (string requestUri)» — призначений для отримання погодних даних з Web Api VisualCrossing. Метод приймає в якості параметру рядок uri запиту, створює екземпляр класу HttpClient, робить виклик асинхронного методу GetAsync(requestUri) та очікує відповіді від Web Api VisualCrossing, яка потім парситься до моделі WeatherApiResponseModel, у разі помилки деталі записуються до файлу логу і в кінці всі дані HttpClient вивільнюються.

Лістинг 1. Метод запиту web api погодних даних

```

private async Task<WeatherApiResponseModel>
GetAPIWeather(string requestUri) {
    try{
        WeatherApiResponseModel weatherApiResponse =
null;

        HttpClient client = new HttpClient();
        client.BaseAddress = new Uri(DEFAULT_URI);

client.DefaultRequestHeaders.Accept.Clear();
        client.DefaultRequestHeaders.Accept.Add(new
MediaTypeWithQualityHeaderValue("application/json"));
        client.Timeout = TimeSpan.FromSeconds(30);
        HttpResponseMessage response = await
client.GetAsync(requestUri).ConfigureAwait(false);
        Logger.Log.Info("Status code: " +
response.StatusCode);
        if (response.IsSuccessStatusCode) {
            weatherApiResponse = await
response.Content.ReadAsAsync<WeatherApiResponseModel>();
        }
        else {
            var httpError =
JsonConvert.DeserializeObject<dynamic>(response.Content.Rea
dAsStringAsync().Result);
            string errorDescription =
httpError.Message;
            client.Dispose();
            throw new Exception("GetAPIWeather():
API answer error - " + response.StatusCode + " " +
errorDescription + " - " + DateTime.Now.ToString());
            client.Dispose();
            return weatherApiResponse; }
        catch (Exception ex) {
            Logger.Log.Info("Error in GET request - " +
ex.Message);
            if (ex.InnerException != null)
Logger.Log.Info("Inner exception: " +
ex.InnerException.Message);
            return null;
}
}

```

На лістингу 2 відображено метод `FindMostSimilarDayByIdealPoint3D` (`WeatherDay frstDay, List<WeatherDay> observationsWeather`) — призначений для пошуку найбільш схожого до поточного за погодними значеннями дня (враховується хмарність, сонячна радіація, температура та опади). Метод приймає в якості параметрів об'єкт класу `WeatherDay` з погодними даними дня

на який виконується прогнозування та списку об'єктів класу `WeatherDay` з архівними погодними даними попередніх днів. У циклі виконується обхід списку з архівними погодними даними від найближчого за датою до дня прогнозу, де порівнюються погодні значення обраних параметрів за ці дні, якщо знайдено ідеальне співпадіння цикл одразу завершується і повертає знайдені архівні дані, у іншому разі відшукується день з мінімальною різницею погодних значень. У разі помилки деталі записуються до файлу логу.

Лістинг 2. Пошук найближчого схожого дня за погодою до поточного

```
private WeatherDay
FindMostSimilarDayByIdealPoint3D(WeatherDay frcstDay,
List<WeatherDay> observationsWeather){
    bool isFound = false;
    WeatherDay mostSimilarDay =
observationsWeather[0];
    double mostSmiliarParamsDiff =
CalcSimilarDayParamsDiff3D(frcstDay, mostSimilarDay);
    foreach (WeatherDay obsDay in
observationsWeather) {
        double paramsDiff =
CalcObservationDayParamsDiff3D(frcstDay, obsDay);

        if (obsDay.Conditions == frcstDay.Conditions
&& paramsDiff < DIFF_MINIMAL_TOLERANCE) {
            mostSimilarDay = obsDay;
            mostSmiliarParamsDiff = paramsDiff;
            isFound = true;
            return mostSimilarDay; }
        else if (paramsDiff < mostSmiliarParamsDiff)
    {
        mostSimilarDay = obsDay;
        mostSmiliarParamsDiff = paramsDiff; }
    if (isFound) return mostSimilarDay;}
return mostSimilarDay;}
```

На лістингу 3 відображено метод «`CalcSimilarDayParamsDiff3D(WeatherDay frcstDay, WeatherDay mostSimilarDay)`» — призначений для розрахунку різниці погодних значень між двома днями, що були передані у якості параметрів. У разі помилки деталі записуються до файлу логу.

Лістинг 3. Пошук найближчого схожого дня за погодою до поточного

```
private double CalcSimilarDayParamsDiff3D(WeatherDay
frcstDay, WeatherDay mostSimilarDay){
    double similarDayCloudDiff =
Math.Pow((mostSimilarDay.CloudCover - frcstDay.CloudCover),
2);
    double similarDayRadiationDiff =
Math.Pow((mostSimilarDay.SolarRadiation -
frcstDay.SolarRadiation), 2);
    double similarDayTempDiff =
Math.Pow((mostSimilarDay.Temp - frcstDay.Temp), 2);
    double mostSmiliarParamsDiff =
Math.Sqrt(similarDayCloudDiff + similarDayRadiationDiff +
similarDayTempDiff);
    return mostSmiliarParamsDiff;
}
```

На лістингу 4 відображено метод «GenerateDoc (List<HourlyValue> todayHourlyValues)» — призначений для створення файлу з прогнозованими значеннями генерації за шаблоном «Гарантованого покупця».

Лістинг 4. Створення файлу з прогнозованими значеннями генерації

```
private static XDocument GenerateDoc(List<HourlyValue>
todayHourlyValues){
    HourlyValue value = todayHourlyValues.First();
    List<XElement> amountGroupElems = new
List<XElement>();
    List<XElement> powerGroupElems = new
List<XElement>();
    int i = 0;
    foreach (HourlyValue hourlyValue in
todayHourlyValues){
        i++;
        amountGroupElems.Add( new
XElement("amount", new XAttribute("timepoint",
i.ToString("D2")), new XAttribute("val",
hourlyValue.PVOutput.ToString("0.000").Replace(',', ' ',
'.'))));
        powerGroupElems.Add( new XElement("amount",
new XAttribute("timepoint", i.ToString("D2")), new
XAttribute("val",
value.SolarStation.Power.ToString("0.000").Replace(',', ' ',
'.'))));
        XDocument doc = new XDocument( new
XElement("userRequest", new XAttribute("date",
```



```

value.Date.Value.Date.ToShortDateString()), new
XmlAttribute("number_station",
value.SolarStation.StationNumber),
                                new XElement("amount_Group",
amountGroupElems),
                                new XElement("power_Group",
powerGroupElems),
                                new XElement("unit_Info", new
XElement("produce_Type", value.SolarStation.ProduceType),
new XElement("rate", value.SolarStation.Rate), new
XElement("generation_Type",
value.SolarStation.GenerationType), new
XElement("source_Type", value.SolarStation.SourceType), new
XElement("region", value.SolarStation.Region), new
XElement("bidding_Area",
value.SolarStation.BiddingArea)))));
        return doc;}

```

На лістингу 5 відображено метод «SignFile (string filePath, string signedFilePath, Signature signature)» — призначений для підпису ЕЦП створеного файлу з прогнозованими значеннями генерації. В якості параметрів метод приймає рядок з шляхом до файлу на сервері, шляхом для запису нового підписаного файлу, та об'єкт класу Signature з даними про ЕЦП. Бібліотека IEUSignCP ініціалізується, через неї зчитується ЕЦП, яким в кінці підписується файл зі значеннями генерації.

Лістинг 5. Підпис файлу ЕЦП з прогнозованими значеннями генерації

```

public void SignFile(string filePath, string signedFilePath,
Signature signature){
    int error;
    if (!IEUSignCP.IsInitialized()){
        error = IEUSignCP.Initialize();
        if (error != IEUSignCP.EU_ERROR_NONE)
            throw new
AggregateException(IEUSignCP.GetErrorDesc(error));}
    if (IEUSignCP.IsPrivateKeyReaded())
        IEUSignCP.ResetPrivateKey();
    IEUSignCP.EU_CERT_OWNER_INFO ownerCertif;
    error =
IEUSignCP.ReadPrivateKeyFile(signature.Path,
DataEncryptor.Decrypt(signature.Password,
_config.Value.PassPhrase), out ownerCertif);
    if (!IEUSignCP.IsPrivateKeyReaded())

```

```

        throw new
AggregateException(IEUSignCP.GetErrorDesc(error));
        error = IEUSignCP.SignFile(filePath,
signedFilePath, 0);
        if (error != 0)
            throw new
AggregateException(IEUSignCP.GetErrorDesc(error));    }

```

3.7 Висновки з розділу 3

В даному розділі було реалізовано служби прогнозування та завантаження прогнозів на сайт «Гарантованого покупця»; проведено аналіз функціональних та нефункціональних вимог застосунків; побудовано діаграми класів, діаграми використання, діаграми послідовності, тощо. На основі цього, можна зробити такі висновки:

1. Було реалізовано Windows служби для прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями та завантаження прогнозованого відпуску електроенергії на сайт ДП «Гарантований покупець».
2. Побудовано та надано опис діаграм класів розроблених служб.
3. Використовувалися бібліотеки Selenium WebDriver, NPOI, Entity Framework та EUSignCP.
4. Служби використовують єдину спільну базу даних MS SQL.
5. Користувач має можливість запустити процес завантаження прогнозів на сайт ДП «Гарантованого покупця», запустити процес прогнозування відпуску електроенергії сонячними електростанціями, та відкрити звіт з результатами прогнозування та порівнянням створеного прогнозу.
6. Застосунок має простий дизайн та легкий у керуванні функціонал.

РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

4.1 Аналіз впливу інтервалу архівних даних на результат прогнозування

На рисунку 12 і рисунку 13 представлені графіки реальної та прогнозованої генерації електроенергії сонячною електростанцією за 1 липня 2021 та 5 вересня 2022 відповідно. Кількість архівних даних на 2021 була значно менша ніж у 2022, що вплинуло на точність прогнозування. Прогнозовані значення за 2021 рік є менш точними ніж спрогнозовані у 2022, так як кількість попередніх спостережень стала більше.

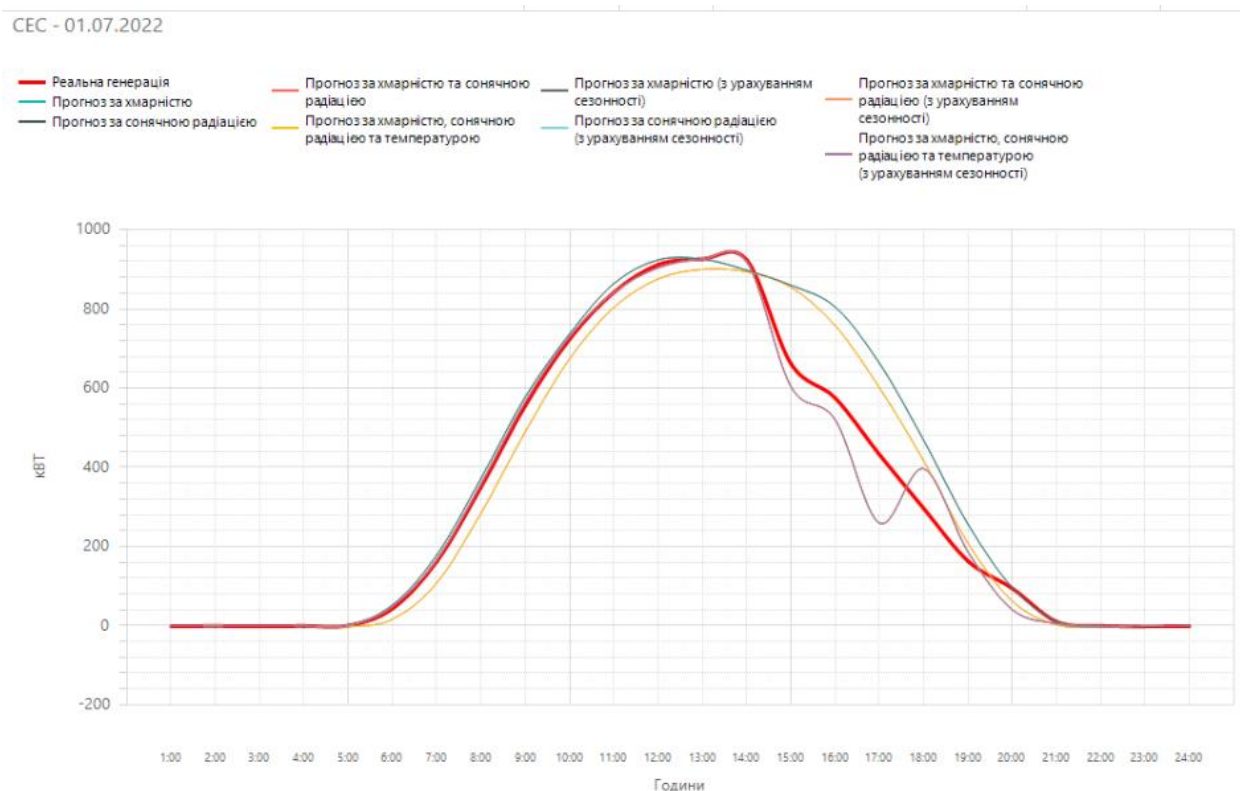


Рис.12 Діаграма генерації електроенергії за 01.07.2022 (СЕС)

1 ПК - 05.09.2021

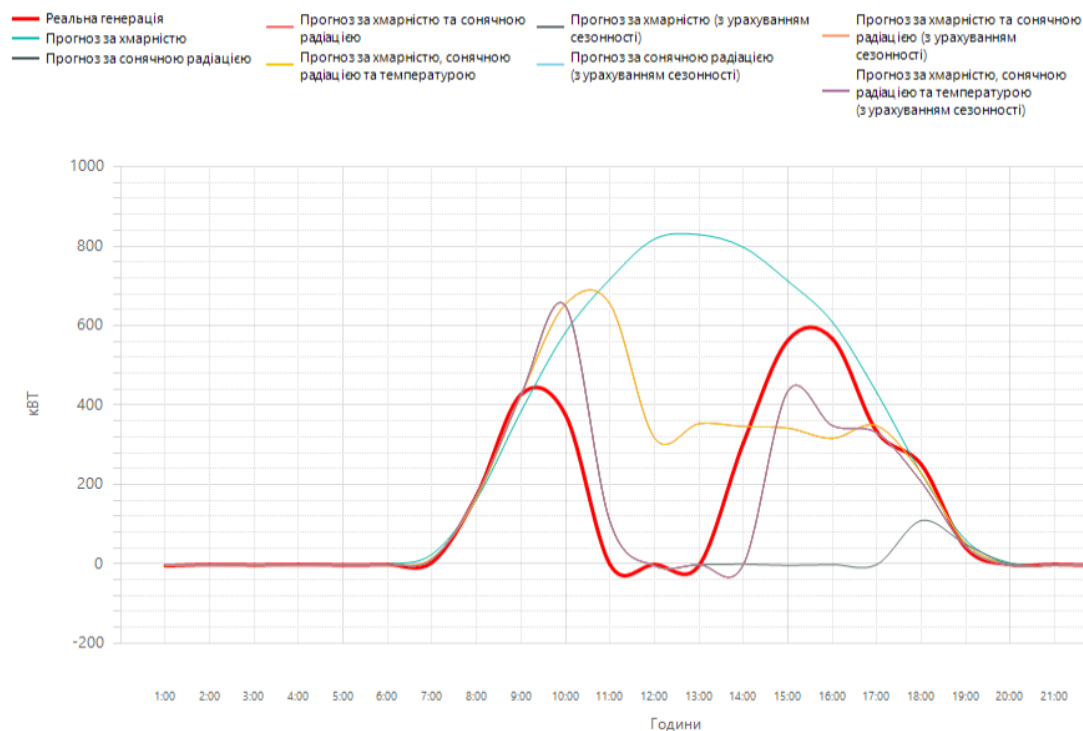


Рис.13 Діаграма генерації електроенергії за 05.09.2022 (1 ПК)

На рисунку 14 представлено реальні дані генерації електроенергії та прогнозовані значення на 3 сонячних електростанціях за 1 рік у кВт.

Сонячна станція	Місяць	Прогноз (кВт)									
		Реальна генерація	За хмарністю	За сонячною радіацією	За хмар. та сон. рад.	За хмар., сон. рад. та температурою	За хмарністю (з урахуванням сезону)	За сонячною радіацією (з урахуванням сезону)	За хмар. та сон. рад. (з урахуванням сезону)	За хмар., сон. рад. та температурою (з урахуванням сезону)	За хмарністю
В СЕС	Всього за період	1 481 351,00	1 495 457,00	1 547 835,00	1 541 158,00	1 524 406,00	1 519 852,00	1 534 398,00	1 523 063,00	1 504 953,00	570 595,00
В 1 ПК	Всього за період	874 110,00	894 814,00	1 058 877,00	1 094 555,00	1 103 012,00	1 012 407,00	951 514,00	961 787,00	952 109,00	821 768,00
В 2 ПК	Всього за період	2 099 071,00	2 124 522,00	2 422 317,00	2 522 433,00	2 512 923,00	2 440 139,00	2 320 253,00	2 294 067,00	2 277 344,00	1 583 737,00
Всього за період за всіма станціями		4 454 532,00	4 514 793,00	5 029 029,00	5 158 146,00	5 140 341,00	4 972 398,00	4 806 165,00	4 778 917,00	4 734 406,00	2 976 100,00

Рис.14 Загальні дані генерації електроенергії

На рисунку 15 представлена різниця між реальними даними генерації електроенергії та прогнозованими значення на 3 сонячних електростанціях за 1 рік у відсотках. За загальними даними за весь розглянутий період (1 рік) та

за всіма сонячними електростанціями (СЕС, 1 ПК, 2 ПК) визначено похибку прогнозування, краща з яких складає близько 35%.

Сонячна станція	Місяць	Різниця між реальною генерацією та прогнозом (%)							
		За хмарністю	За сонячною радіацією	За хмар. та сон. рад.	За хмар., сон. рад. та температурою	За хмарністю (з урахуванням сезону)	За сонячною радіацією (з урахуванням сезону)	За хмар. та сон. рад. (з урахуванням сезону)	За хмар., сон. рад. та температурою (з урахуванням сезону)
☒ СЕС	Всього за період	38,16	41,70	39,96	38,94	35,85	33,31	32,06	31,83
☒ 1 ПК	Всього за період	91,84	80,27	75,52	76,37	84,87	84,87	82,68	83,17
☒ 2 ПК	Всього за період	74,55	76,77	68,55	67,95	69,04	71,36	69,27	69,22
Всього за період за всіма станціями		65,92	66,71	61,49	61,15	62,12	61,89	60,11	60,14

Рис.15 Загальна різниця між реальною генерацією та прогнозом

4.2 Аналіз впливу погодних параметрів на результат прогнозування

На рисунку 16 представлений графік реальної та прогнозованої генерації електроенергії сонячною електростанцією за липень 2022 року. Він відображає, що прогнозована виключно за 1 погодним параметром генерація є менш точною ніж прогнозована за комбінацією декількох параметрів.

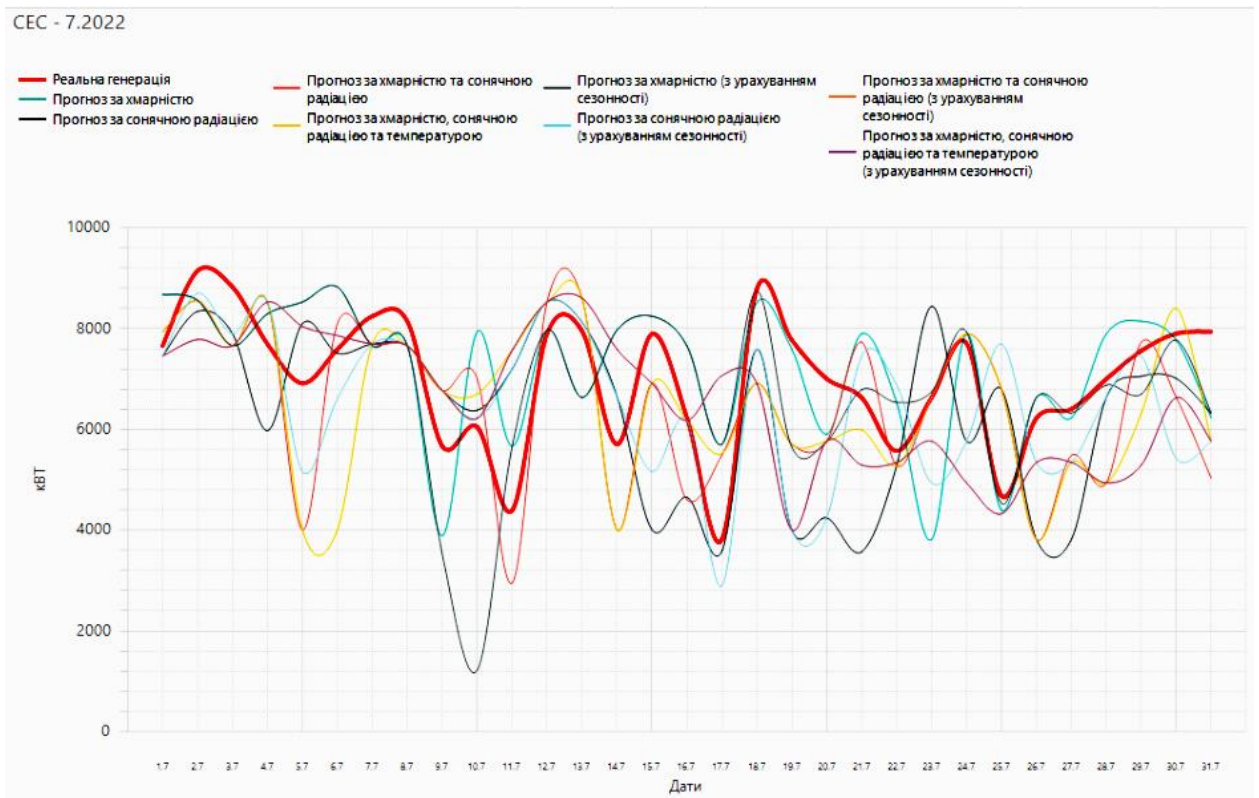


Рис.16 Діаграма генерації електроенергії за липень 2022 (СЕС)

На рисунку 17 детально представлена різниця між реальними даними генерації електроенергії та прогнозованими значення на 3 сонячних електростанціях за 1 рік помісячно у кВт.

Сонячна станція	Місяць	Реальна генерація	Прогноз (кВт)							
			За хмарністю	За сонячною радіацією	За хмар. та сон. рад.	За хмар., сон. рад. та температурою	За хмарністю (з урахуванням сезону)	За сонячною радіацією (з урахуванням сезону)	За хмар. та сон. рад. (з урахуванням сезону)	За хмар., сон. рад. та температурою (з урахуванням сезону)
СЕС	9.2021	140 921,00	167006,00	167 536,00	167 478,00	166 284,00	156 685,00	150 801,00	157 766,00	157 583,00
	10.2021	102 121,00	137396,00	128 640,00	146 324,00	137 213,00	109 536,00	108 049,00	112 666,00	110 517,00
	11.2021	46 653,00	67622,00	73 252,00	79 729,00	74 948,00	69 184,00	66 709,00	59 411,00	55 676,00
	12.2021	17 377,00	26321,00	47 445,00	34 562,00	33 746,00	26 290,00	20 727,00	22 021,00	19 091,00
	1.2022	31 329,00	37220,00	39 121,00	36 806,00	33 114,00	34 209,00	31 457,00	36 352,00	30 441,00
	2.2022	61 798,00	53921,00	64 783,00	67 751,00	54 061,00	53 497,00	49 462,00	52 161,00	51 405,00
	3.2022	120 983,00	99391,00	132 094,00	134 496,00	120 066,00	125 164,00	126 581,00	124 925,00	123 156,00
	4.2022	128 063,00	99871,00	141 686,00	137 033,00	136 602,00	127 306,00	149 564,00	129 249,00	129 048,00
	5.2022	209 078,00	190079,00	199 750,00	197 882,00	198 586,00	195 499,00	225 444,00	226 080,00	226 080,00
	6.2022	223 197,00	201241,00	205 893,00	203 048,00	204 739,00	209 916,00	218 276,00	218 518,00	218 518,00
	7.2022	217 697,00	223049,00	196 906,00	201 381,00	202 426,00	213 850,00	202 027,00	203 829,00	203 829,00
	8.2022	177 826,00	184777,00	147 344,00	131 283,00	158 225,00	191 153,00	178 102,00	173 296,00	173 296,00
9.2022	4 308,00	7563,00	3 385,00	3 385,00	4 396,00	7 563,00	7 199,00	6 789,00	6 313,00	
Всього за період		1 481 351,00	1 495 457,00	1 547 835,00	1 541 158,00	1 524 406,00	1 519 852,00	1 534 398,00	1 523 063,00	1 504 953,00

Рис.17 Детальні дані генерації електроенергії

На рисунку 18 детально представлена різниця між реальними даними генерації електроенергії та прогнозованими значення на 3 сонячних електростанціях за 1 рік помісячно у відсотках. Порівнювався вплив хмарності, сонячної радіації та температури на точність прогнозу. При аналізі виявлено, що похибка прогнозування збільшується у зимові місяці, коли погодні параметри стають менш передбачуваними. Найменше значення похибки було отримано при прогнозуванні за хмарністю, сонячною радіацією та температурою з врахуванням сезонності і часу світлового дня, проте з результатів дослідження зрозуміло, що таке врахування фізичних властивостей сонячного випромінювання покращує результати прогнозування незалежно від кількості розглянутих погодних параметрів.

Сонячна станція	Місяць	Різниця між реальною генерацією та прогнозом (%)							
		За хмарністю	За сонячною радіацією	За хмар. та сон. рад.	За хмар., сон. рад. та температурою	За хмарністю (з урахуванням сезону)	За сонячною радіацією (з урахуванням сезону)	За хмар. та сон. рад. (з урахуванням сезону)	За хмар., сон. рад. та температурою (з урахуванням сезону)
ЕСС	9.2021	27,52	41,90	33,30	34,62	27,60	27,57	25,19	25,68
	10.2021	40,48	45,77	44,98	46,54	38,45	36,34	35,09	35,81
	11.2021	53,18	58,36	54,89	56,06	57,68	56,02	49,59	48,11
	12.2021	57,75	73,04	69,29	68,81	65,25	75,21	72,35	69,21
	1.2022	69,13	70,57	55,72	61,17	64,14	64,04	59,99	63,35
	2.2022	70,42	61,60	52,28	56,42	63,51	56,85	52,25	52,60
	3.2022	52,80	41,86	37,36	33,59	35,44	40,19	30,88	29,83
	4.2022	65,33	39,61	43,22	40,42	52,47	36,68	45,21	45,14
	5.2022	34,84	32,22	31,90	33,35	35,41	24,64	24,93	24,93
	6.2022	27,97	23,44	24,86	26,64	27,93	18,76	20,06	20,06
	7.2022	22,86	32,79	28,13	30,24	24,95	30,16	30,77	30,77
	8.2022	32,28	54,88	67,75	48,49	26,63	35,39	30,03	30,03
	9.2022	43,06	59,17	59,17	43,54	43,06	40,19	37,52	42,40
	Всього за період		38,16	41,70	39,96	38,94	35,85	33,31	32,06

Рис.18 Детальна різниця між реальною генерацією та прогнозом

4.3 Варіанти покращення точності прогнозування

На основі проведеного дослідження, аналізу розробленого алгоритму та результатів його виконання визначено, що для подальшого зменшення похибки прогнозування можливе використання додаткових погодних

параметрів та збільшення кількості їх джерел для усунення помилки прогнозу погоди, також накопичення більшої кількості архівних даних підвищує вірогідність того, що буде знайдено найближчий за погодними параметрами день.

4.4 Висновки до розділу 4

Проведено дослідження різних факторів на результати прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями.

Для покращення точності алгоритму прогнозування необхідно враховувати декілька погодних параметрів, таких як сонячне випромінювання, хмарність та температура, а також розглядати сезонність і час світлового дня.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи було запроєктовано та реалізовано служби для генерації електричної енергії сонячними електростанціями та передачі значень відпуску енергії ДП «Гарантований покупець». Тому, можна зробити такі висновки:

1. Досліджена проблема прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями.

2. Досліджені засоби, бібліотеки та інструменти для вирішення поставленої проблеми.

3. Виконано аналіз існуючих методів прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями.

4. Проведено аналіз факторів, що впливають на точність прогнозування кількості генерованої на сонячних електростанціях енергії.

5. Представлено результати порівняльного аналізу створених алгоритмів.

6. На основі дослідження виявлено, що врахування сезонності та часу світлового дня допомагає зменшити похибку прогнозування.

7. Створено систему прогнозування генерації електричної енергії сонячними електростанціями та передачі значень відпуску енергії ДП «Гарантований покупець».

8. Надано рекомендації щодо зменшення похибки прогнозування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Осадча Є. О., магістрант, Лимаренко Ю. О., доцент, науковий керівник. Дослідження методів прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями. Молода наука-2022 : зб. наук. праць студентів, аспірантів і молодих вчених. Запоріжжя : ЗНУ, 2022. Т. 5. С.182–184.
2. Осадча Є. О., магістрант, Лимаренко Ю. О., доцент, науковий керівник. Огляд методів прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями. II Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ» Запоріжжя : ЗНУ, 2022. С. 82–84.
3. Закон України " Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії»
4. Сонячні плани. Як в Укргідроенерго розвивають альтернативну енергетику. URL : https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/sonyachni-plani-yak-v-ukrgidroenergo-rozvivayut-alternativnu-energetiku (дата звернення 01.12.2022 р.)
5. Кочнева Е. 2018 МАТЕС Веб-конференція 208, 04005
6. Снегірьов Д.А., Валієв Р.Т., Єрошенко С.А. та Халясма А.І. Міжнародна конференція «Енергія та навколишнє середовище». 2017, С. 349—353
7. Замора Р.Д., Даттон Е.Г., Тренер М., МакКін С.А., Вільчак Д.М. та Хоу Ю.Т. 2005 р. Щомісячник «Огляд погоди» 133(4) С. 783—792.
8. Gandoman F.H, Abdel Aleem S.H.E., Omar N., Ahmadi A. and Alenezi F.Q. 2018 Renewable Energy 123, P.793—805.
9. Abuella M. and Chowdhury B. Solar Power Probabilistic Forecasting by Multiple Linear Regression Analysis SoutheastCon 2015, С.1—5.

10. Kaur H. and Ahuja S. Матеріали шостої міжнародної конференції з програмних обчислень 2017, С. 347—358.
11. Bacher P., Madsen H. and Nielsen H.A. Solar Energy 83(10). 2009, P. 1772—1783
12. Рамакрішна Р.; Scaglione A і Vittal V A 2016 Stochastic Model for Short-Term
13. Mora-López L, Martínez-Marchena I., Piliouguine M. and Sidrach-de-Cardona M. Досягнення в інтелектуальному аналізі даних. 2011, С. 294—305
14. Chowdhury B. and Rahman S. IEEE Photovoltaic Specialists Conference. 1987, С.171—176
15. Романов А., Романов М., і Харченко А. Дослідники в галузі електротехніки та електронної техніки (EIconRus) 2017, С. 976—981
16. Хайкін С.О. Нейронні мережі та навчальні машини (3-є видання) (Лондон: Pearson). 2008, 936 с.
17. Статников А, Аліферіс К. Ф. та Хардін Д. П. М'яке знайомство з опорним вектором. Машини в біомедицині: теорія та методи (Сінгапур: World Scientific). 2011, 200 с.
18. Єрошенко С., Халясма А., Снегірьов Д. 2018 E3S Веб-конференція 51, 02004
19. Сінгх В.П., Віджай В., Сіддхартха Б.М. та Чатурведі Д.К., 2013 Матеріали 13-ї Міжнародної конференції з навколишнього середовища та електротехніки (EEEIC) С.1—5.
20. Chen C., Duan S., Cai T. and Liu B. 2011 Сонячна енергія 85 (11), С. 856—2870.
21. Снегірьов Д.А., Єрошенко С.А., Валієв Р.Т. та Халясма А.І. 2017 IEEE II Міжнародна конференція з управління в технічних системах (CTS) С. 228—231
22. Wu Y-K., Chen C-R and Abdul Rahman H. 2014 Міжнародний журнал фотоенергії 2014 С.1—9.

Декларація
академічної доброчесності
здобувача ступеня вищої освіти ЗНУ

Я, Осадча Євгенія Олександрівна, студент 2 курсу, форми навчання денної, Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні, спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення, адреса електронної пошти ipz17bd-23@stu.zsea.edu.ua, — підтверджую, що написана мною кваліфікаційна робота на тему «**Методи прогнозування генерації електроенергії сонячними електростанціями**» відповідає вимогам академічної доброчесності та не містить порушень, що визначені у ст.42 Закону України «Про освіту», зі змістом яких ознайомлений.

- заявляю, що надана мною для перевірки електронна версія роботи є ідентичною її друкованій версії;

- згоден на перевірку моєї роботи на відповідність критеріям академічної доброчесності у будь-який спосіб, у тому числі за допомогою інтернет-системи, а також на архівування моєї роботи в базі даних цієї системи.

Дата 30.11.2022 _____ Осадча Євгенія Олександрівна
(студент)

Дата 30.11.2022 _____ Лимаренко Юлія Олексіївна
(науковий керівник)