

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

PREDICTION OF ENERGY SUPPLY OF THE REGIONS OF UKRAINE BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

УДК 621.311

<https://doi.org/10.32843/infrastruct41-53>**Сегеда І.В.**

к.е.н., доцент,

доцент кафедри автоматизації
проекування енергетичних процесів
і системНаціональний технічний університет
України«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**Segeda Irina**National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

У статті досліджено можливості прогнозування енергозабезпечення регіонів із використанням відновлюваних джерел енергії. Обґрунтовано застосування адаптивних моделей прогнозування, зокрема методу Хольта-Вінтерса для прогнозування енергетичних показників. Даний Метод – це трипараметрична модель прогнозу, яка враховує: згладжений експонентний ряд; тренд; сезонність. Доведено, що перевагою адаптивних методів є побудова самокорегуючих моделей, здатних враховувати результат прогнозу, зробленого на попередньому кроці. Запропоновано розробку програмного продукту, який вирішує задачу прогнозування кількості енергоресурсів, що можуть бути використані у наступному періоді та оцінки надійності прогнозу виходячи з попередніх даних. Впровадження даної системи прогнозування забезпечить власників об'єктів відновлювальної енергетики інструментами для зручного керування та планування енергетичних витрат.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, прогнозування, формалізовані методи прогнозування.

В статті досліджені можливості прогнозування енергозабезпечення

регионов с использованием возобновляемых источников энергии. Обосновано применение адаптивных моделей прогнозирования, в частности метода Хольта-Винтерса для прогнозирования энергетических показателей. Данный метод – это трехпараметрическая модель прогноза, учитывающая: сглаженный экспоненциальный ряд; тренд; сезонность. Доказано, что преимуществом адаптивных методов является построение самокорректирующихся моделей, учитывающих результат прогноза, сделанного на предыдущем шаге. Предложена разработка программного продукта, который решает задачу прогнозирования количества энергоресурсов, которые могут быть использованы в следующем периоде и оценка надежности прогноза исходя из предварительных данных. Внедрение данной системы прогнозирования обеспечит владельцев объектов возобновляемой энергетики инструментами для управления и планирования энергетических затрат.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, прогнозирование, формализованные методы прогнозирования.

As energy prices rise and the scale of climate change increases renewable energy sources (RES) and problems associated with them become a major concern. Development of pure renewable energy is a crucial strategy for the future development of the energy sector. Use of RES can solve the problems related to environmental issues, dependence on the import of fuel and vulnerability of the energy sector. The energy analysis and forecasting are the tasks of efficient energy consumption monitoring and optimization of energy production and control. This paper analyzes and investigates the development of long-term forecasting models as well as the need to develop scientific approaches and methods for evaluating and selecting priority RES projects for different territorial units. Currently, one of the most promising areas of study and prediction of one-dimensional time series is adaptive methods. The most important advantage of the adaptive methods is the creation of self-correcting models that are able to take into account the result of the prediction made during the previous step. Unfortunately, the application of individual forecasting methods does not lead to an optimal and sufficiently accurate result, due to the fact that forecasts can take into account not only factors that affect the subject of forecasting, but also different components of the forecast itself, such as its major development trend, seasonal and cyclical components, random components. One of the methods that consider several components of the forecast is the Holt-Winters method. Production of the most accurate forecast requires data over a sufficiently long period of time. Since the requirements for the data input are somewhat unusual for the weather data and have to be presented in detail over a rather long period of time, it is necessary to find the source of such data. The paper proposes a forecasting system that solves the problem of the prediction of the amount of energy resources that can be used in a set period of time and assessment of the reliability of the forecast based on previous data. Implementation of this forecasting system will provide renewable energy facility owners with the tools to conveniently manage and plan their energy expenditures.

Key words: renewable energy, forecasting, formalized forecasting methods.

Постановка проблеми. У час зростання ціни на енергоносії і тих масштабних завдань, які диктує нам зміна клімату, тема відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) стала однією з головних. При виборі джерела енергії, оптимальним рішенням за енергетичними, економічними та екологічними критеріями усе частіше стають ВДЕ. Це зумовлено постійним підвищенням цін на первинні енергоресурси з традиційних джерел енергії, нерівномірністю їх розміщення, що змушує транспортувати енергію або енергоносії на великі відстані з суттєвими втратами.

Так за даними Міністерства енергетики та захисту довкілля, в Україні частка електроенергії з відновлюваних джерел (сонячні та вітрові

електростанції, біомаса) у листопаді 2019 року зросла до 4,1% у загальній структурі виробництва електроенергії – проти 1,7% станом на листопад попереднього року [1].

Результати довгострокового прогнозування для України підтверджують світові тенденції розвитку енергетичної галузі, а саме збільшення попиту на енергію, зростання генерації традиційними і відновлюваними джерелами енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями економічного розвитку альтернативної енергетики займалися такі закордонні та вітчизняні вчені та фахівці як: Бехбергер М., Джекобс Д., Клейн А., Мендонса М., Пфлагер Б., Рагвиц М., Рех Г., Хелд А., Фабер Т., Геєць В.,

Долінський А., Носенко Ю., Масленнікова І., Шкрабець Ф., Шидловський А., Суходоля О., Сотник І., Онищенко А., Буяк А., Борщук Є., Ільясов В., Товажнянський Л., Касич А., Литвиненко Я., Мельничук П., Кудря С., та інші.

Постановка завдання. Незважаючи на науковий доробок зазначених вчених багато питань у сфері розвитку ВДЕ залишаються невирішеними. А саме задача вибору пріоритетних технологій енергозабезпечення регіонів України. Чиста відновлювальна енергія – це ключова стратегія розвитку енергетичного сектора в майбутньому. Використання ВДЕ може вирішити питання, пов'язані з глобальними екологічними проблемами, залежністю від імпорту викопного палива і вразливістю енергетичного сектора.

Метою дослідження є – можливість прогнозування енергозабезпечення регіонів України із застосуванням відновлюваних джерел енергії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Прогнозування в енергетиці є одним із завдань енергетичного моніторингу ефективності енергоспоживання, фінансового планування, управління та оптимізації обсягів виробництва енергії і контролю. Також це є основною складовою для формулювання стратегій і законів для енергетики.

В даний час одним з найбільш перспективних напрямів дослідження і прогнозування одновимірних часових рядів є адаптивні методи. Найважливішою перевагою адаптивних методів є побудова самокорегуючих моделей, здатних враховувати результат прогнозу, зробленого на попередньому кроці [2].

Задача розробки системи прогнозування. Метою розробки є створення програмного продукту, який дасть можливість проводити контроль, моніторинг та планування використання ВДЕ для енергозабезпечення регіонів України. Розроблений програмний продукт має являти собою повноцінну систему для моніторингу погодних умов, які напряму використовуються для генерації електроенергії за допомогою сонячних панелей та вітряків. Окрім моніторингу програма ставить перед собою задачу прогнозування кількості енергоресурсів, що можуть бути використані у наступному періоді та оцінки надійності прогнозу виходячи з попередніх даних.

У зв'язку зі зростаючою невизначеністю зовнішнього середовища, збільшенням ринкової конкуренції виникає необхідність в найбільш якісному прийнятті управлінських рішень в області стратегічного і тактичного планування. Також, зважаючи на найбільше поширення інтегрованого планування на підприємствах і в ланцюгах поставок, зростає важливість складової прогнозування в системі планування. Прогнозування – це передбачення (прогноз), яке передбачає стан або опис можливих чи бажаних аспектів, станів, рішень,

проблем майбутнього. Наразі існує близько 220 методів прогнозування, але найчастіше на практиці використовуються не більше 10. На жаль, застосування окремих методів прогнозування не приводить до оптимального і досить точного результату, оскільки прогнози можуть враховувати не тільки фактори, що робить вплив на предмет прогнозування, а й різні складові прогнозу, такі як його основна тенденція розвитку, сезонна і циклічні складові, випадкова компонента. Одним з методів, що враховує декілька складових прогнозу, є метод Хольта-Вінтерса. Метод Хольта-Вінтерса – це трипараметрична модель прогнозу [3; 4].

Модель Хольта-Вінтерса, або потрібне експоненціальне згладжування застосовується для процесів, які мають тренд і сезонну складову. Метод Хольта-Вінтерса заснований на тому, що досліджуваний часовий ряд може бути представлений у вигляді трьох компонент: базової компоненти, лінії тренда і сезонного ефекту. Алгоритм передбачає, що кожна з цих компонент змінюється в часі. До умов, що змінюють значенням кожної з компонент застосовується експоненціальне згладжування. Як і в методі експоненціального згладжування, прогноз на наступний період обчислюється застосуванням до поточного значення прогнозу коефіцієнтів α , β , γ . Дані коефіцієнти визначаються параметрами моделі і можуть приймати значення в межах від 0 до 1. При більш високих значеннях коефіцієнтів минулі значення компоненти враховуються в більшій мірі, ніж поточні, а при більш низьких найбільший вплив на прогноз надають поточні значення компонент. Прогнозом виступає сума всіх трьох компонент.

Алгоритм розрахунку по методу Хольта-Вінтерса

Розраховується експоненціально-згладжений ряд:

$$L_i = \frac{k \cdot y_i}{S_{i-S}} + (1+k) \cdot (L_{i-1} - T_{i-1}) \quad (1)$$

де S_{i-S} – коефіцієнт сезонності попереднього періоду. Сезонність в першому періоді дорівнює 1.

Визначення значення тренду:

Оцінюється сезонність:

$$S_i = \frac{q \cdot y_i}{L_i} + (1-q) \cdot S_{i-S} \quad (2)$$

де S_i – коефіцієнт сезонності для поточного періоду;

q – коефіцієнт згладжування сезонності (задається вручну і знаходиться в межах від 0 до 1);

S_{i-S} – коефіцієнт сезонності за цей же період в попередньому сезоні.

Оцінюється вплив тренду:

$$T_i = (L_i - L_{i-1}) \cdot b + (1-b) \cdot T_{i-1} \quad (3)$$

де b – коефіцієнт тренду.

Визначення прогнозу:

$$\hat{Y}_{t+p} = (L_{t+p} \cdot T_t) \cdot S_{t-S+p} \quad (4)$$

де \hat{Y}_{t+p} – прогноз на p-й період вперед;
 S_{t-S+p} – значення сезонності за цей самий період в останньому сезоні.

Розрахунок точності прогнозу

Для цього визначається відхилення помилки моделі від прогнозованої моделі:

$$\Delta\gamma_i = \frac{\gamma_i^2}{Y_i^2} \quad (5)$$

Точність прогнозу знаходиться як одиниця мінус середнє значення відхилень помилок моделі від прогнозованої моделі.

Метод Хольта-Вінтерса включає в себе три складових: основну тенденцію розвитку, сезонність і експоненціально-згладжений ряд. Завдяки тренду з включеним експоненціальним згладжуванням, можна не тільки виявити напрямок розвитку ряду динаміки, а й згладити дрібні коливання в ряду динаміки для пошуку приватних спадів і стрибків. Сезонність дозволяє побудувати прогноз на майбутні періоди з урахуванням даної сезонності, що наочно показує побудований прогноз [5].

Даний метод дозволяє будувати прогнози на досить великий проміжок часу. Оскільки він враховує кілька факторів прогнозування, то він буде більш точним при прогнозуванні на тривалий проміжок часу. Але даний метод має також наступні обмеження.

Для побудови найбільш точного прогнозу необхідні дані за досить тривалий проміжок часу. Для побудови найбільш точного прогнозу бажано використовувати дані за 4-5 закінчених прогнозних періодів. Відповідно, чим більше тимчасових даних, тим на довший період вперед може бути здійснений прогноз [6].

Оскільки вимоги до вхідних даних мають незвичайний характер для погодних показників та мають бути детально представлені за досить великий проміжок часу, виникла необхідність знайти джерело таких даних. Таким сервісом став Solcast – сервіс, що надає доступ до величезної погодної бази, яка наповнюється через систему новітніх супутників та внутрішніми алгоритмами Solcast для визначення таких показників як швидкість та напрям вітру, захмареність, точка роси, кут сонця та вищезгадані показники DHI, DNI та GHI [7; 8].

Система побудована за принципами MVC, представляє собою веб-додаток який користувач може використовувати через веб-браузер через HTTP. Розглянемо основні модулі системи. На Рисунку 1 представлена діаграма компонентів системи.

Користувач взаємодіє з системою через модуль за допомогою, який відповідає за керування сесією користувача, навігацію та через який відбувається взаємодія користувача із елементами системи та будь які інші модулі.

Також через цей модуль відбувається візуалізація даних у вигляді графіків до побудованих моделей та відображення карти за допомогою Google Maps Platform з помітками локацій до яких прив'язані ті чи інші моделі у межах обраного проекту.

Головний модуль відповідає за маніпуляцію з даними, через нього проводяться усі розрахунки, модифікації існуючих елементів, створення нових та взаємодія із зовнішньою системою Solcast для імпортування статистичних даних у моделі.

Модуль оновлення відповідає за імпорт даних у модель через CSV-файл або через HTTP-запит до Solcast API. Головною відмінністю у результаті

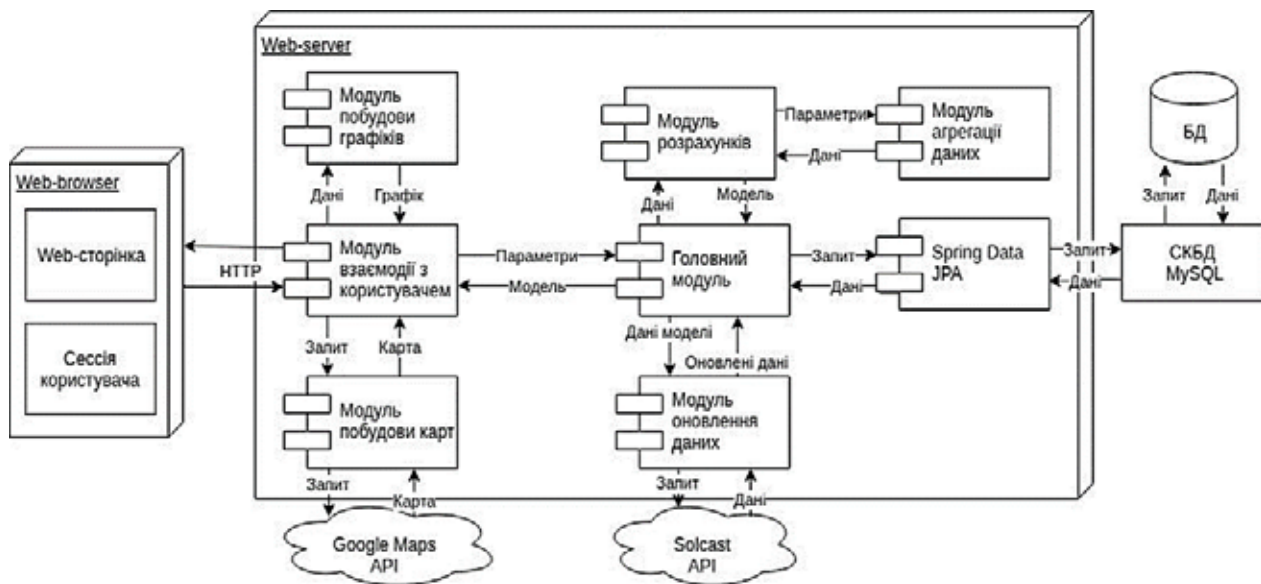


Рис. 1. Діаграма компонентів

між цими способами – це обсяг отриманих даних та складність операції. Через файл можна завантажити будь-яку кількість записів моделі, а через запит – тільки дані за останній тиждень. Але отримання файлу пов'язано з деякими труднощами, тоді я оновлення через API відбувається за два кліки.

Для користувача це означає, що при першому імпорті бажано використовувати файл завантажений з сайту Solcast, після чого періодично оновлювати дані за допомогою запиту до Solcast API.

Модуль розрахунків забезпечує прогнозування за допомогою реалізованої моделі Хольта-Вінтерса, також через нього відбуваються усі підготовчі дії над вхідними даними – фільтрація, агрегація та підбір оптимальних коефіцієнтів за їх відсутності.

До фільтрації належить відсіювання даних, що виходять за межі зазначеного користувачем періоду а також виокремлення обраного користувачем

типу даних – повного горизонтального опромінення або швидкості вітру.

Агрегація слугує для того, щоб користувач міг перемикатися між часовими періодами – щодіньними та щоденними. Також модуль агрегації забезпечує однорідність даних, оскільки дані отримані через Solcast API мають інтервал у півгодини, а дані у CSV файлі – годину. Ці дані агрегуються у щоденні періоди, оскільки занадто висока детальність може зашкодити точності прогнозу системи та займає занадто багато місця. Наприклад дані за 5 років (мінімально бажана кількість статистичних даних) з інтервалом у півгодини становлять 87 600 записів у базі даних.

Збереження інформації у базу даних відбувається через Spring Data JPA, що допомагає уникнути зайвого коду у вигляді DAO-класів.

На рисунках 2 – 4 наведені основні етапи роботи системи. На рисунку 2 зображено інтерфейс користувача після входу у систему.

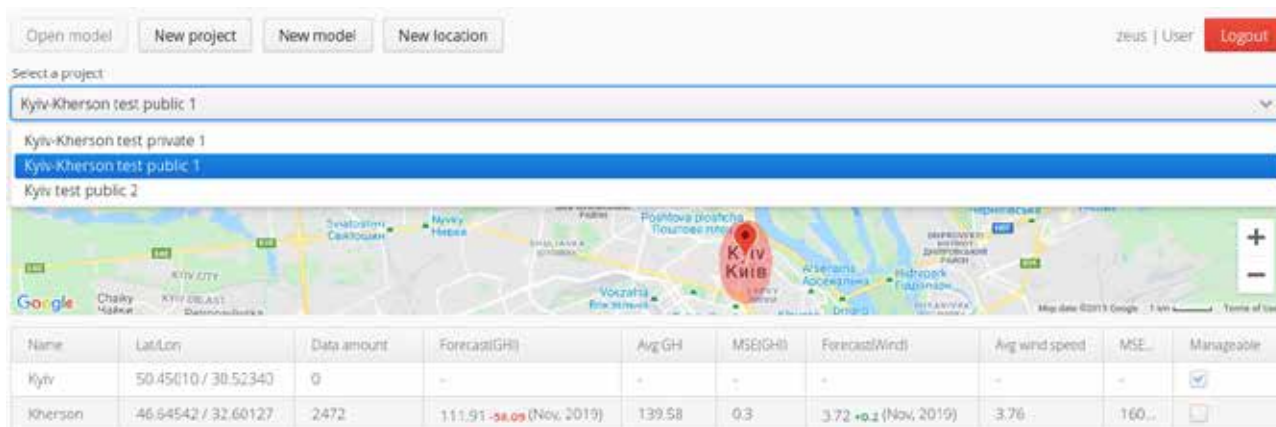


Рис. 2. Інтерфейс програмного продукту, головна форма

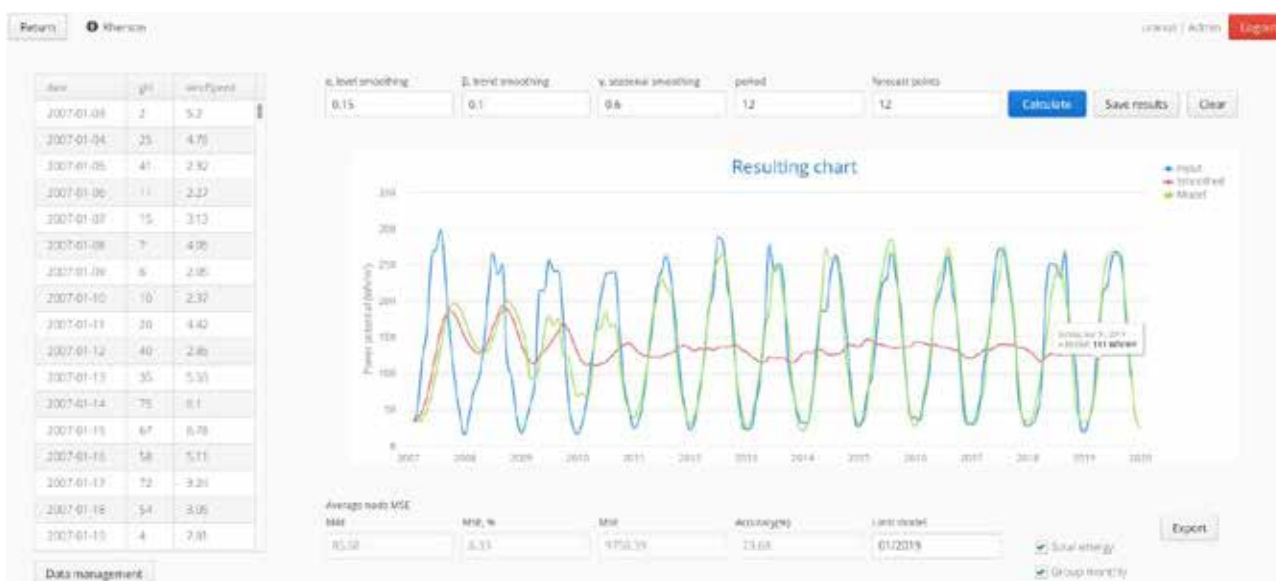


Рис. 3. Інтерфейс побудови моделі



13

Рис. 4. Аналіз побудованої моделі

Після завантаження статистичних даних, модель готова до побудови прогнозу. Від користувача необхідно тепер лише обрати періодичність даних, опції моделі та кількість побудованих прогнозних точок. На рисунку 3 зображена побудована модель швидкості вітру, дані агреговані по місяцях на 12 місяців вперед.

На рисунку 4 можна побачити два етапи побудови моделі: аналітичний та прогнозний.

Аналітичний етап супроводжується побудовою згладженого експоненційного ряду зображеного червоним, а після відбувається прогнозний етап – побудова виділеного у зелений квадрат частина графіку, зображеного зеленим.

Висновки з проведеного дослідження.

Проведений аналіз показав необхідність дослідження питань розробки моделей довгострокового прогнозування для планування енергозабезпечення регіонів України.

Розроблено автоматизовану систему для прогнозування кількісних показників відновлювальних джерел енергії з використанням моделі Хольта-Вінтерса та автоматичним підбором оптимальних коефіцієнтів для кожного регіону, враховуючи кліматичні особливості.

Впровадження даної системи прогнозування забезпечить власників об'єктів відновлювальної енергетики інструментами для зручного керування та планування енергетичних витрат на великий проміжок часу. А використання ВДЕ в масштабах держави є важливим кроком на шляху до стабільного майбутнього всього населення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Укрінформ. Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного

комплексу України за листопад та 11 місяців 2019 року (за фактичними даними): веб-сайт URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2856407-castka-elektriki-z-vidnovlivanih-dzerel-u-listopadi-zrosla-bilsk-utrici.html> (дата звернення: 9.03.2020).

2. Лукашин Ю.П. Адаптивні методи короткострокового прогнозування часових рядів. – М.: Фінанси і статистика, 2003. 416 с.

3. Holt-Winters' seasonal method | Forecasting: Principles and Practice. URL: <https://otexts.com/fpp2/holt-winters.html> (дата звернення: 9.03.2020).

4. Revenue Forecasting using Holt-Winters Exponential Smoothing URL: https://www.researchgate.net/publication/311945797_Revenue_Forecasting_using_HoltWinters_Exponential_Smoothing. (дата звернення: 9.03.2020).

5. Применение метода Хольта – Винтерса при анализе и прогнозировании динамики временных рядов URL: <http://masters.donntu.org/2017/fknt/vudvud/library/article6.pdf> (дата звернення: 9.03.2020).

6. Прогноз по методу експоненціального сглаживания с трендом и сезонностью Хольта-Винтерса. URL: <http://4analytics.ru/prognozirovanie/prognoz-pometoduekspencialnogo-sglajivaniya-s-trendom-i-sezonnostyu-xoltavintersa>. (дата звернення: 9.03.2020).

7. SolarWX® GHI and Estimated Power Output Forecast Service: веб-сайт. URL: <https://globalweathercorp.com/solarwx.html> (дата звернення: 9.03.2020).

8. Weather Sites – Solcast API Documentation. веб-сайт. URL: <https://docs.solcast.com.au/#weather-site> (дата звернення: 9.03.2020).

REFERENCES:

1. Ukrinform (2020) Informatsiyna dovidka pro osnovni pokaznyky rozvytku haluzey palyvno-energetychnoho kompleksu Ukrayiny za lystopad ta 11 misyatsiv 2019 roku (za faktychnymy danymy) [Information

note on the main indicators of the development of the branches of the fuel and energy complex of Ukraine for November and 11 months of 2019 (according to actual data)] Available at: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2856407-castka-elektriki-z-vidnovluvanih-dzherel-u-listopadi-zroslo-bils-ak-utrici.html> (accessed 9 March 2020).

2. Lukashin, Y. (2003), *Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov* [Adaptive methods of near-term time series forecasting], Finance and statistics, Moscow. (in Russian)

3. Holt-Winters' seasonal method | Forecasting: Principles and Practice (2017) Available at: <https://otexts.com/fpp2/holt-winters.html> (accessed 9 March 2020)

4. Revenue Forecasting using Holt-Winters Exponential Smoothing (2016). – Available at: https://www.researchgate.net/publication/311945797_Revenue_Forecasting_using_HoltWinters_Exponential_Smoothing. (accessed 9 March 2020).

5. *Primeneniye metoda Khol'ta –Vintersa pri analize i prognozirovanii dinamiki vremennykh ryadov* (2019) [Application of the Holt – Winters method in the analysis and forecasting of time series dynamics] Available at: <http://masters.donntu.org/2017/fknt/vudvud/library/article6.pdf> (accessed 9 March 2020).

6. *Prognoz po metodu eksponentsial'nogo sglazhivaniya s trendom i sezonnost'yu Khol'ta-Vintersa* (2016) [Forecasting using the method of exponential smoothing with a trend and Holt-Winters seasonality] Available at: <http://4analytics.ru/prognozirovanie/prognoz-pometodueksponencialnogo-sglajivaniya-s-trendom-i-sezonnostyu-xoltavintersa>. (accessed 9 March 2020).

7. SolarWX® GHI and Estimated Power Output Forecast Service (2019) – Available at: <https://globalweathercorp.com/solarwx.html> (accessed 9 March 2020).

8. Weather Sites – Solcast API Documentation (2019) – Available at: <https://docs.solcast.com.au/#weather-sites>(accessed 9 March 2020).