

## СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

І. Оленич, М. Павлик, М. Марцінів

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Драгоманова, 50, 79005 Львів, Україна*

[igor.olenych@lnu.edu.ua](mailto:igor olenych@lnu.edu.ua)

У роботі запропоновано систему прогнозування потужності сонячної батареї розумного будинку на основі аналізу погодних даних. Для аналізу використовуються отримані за допомогою он-лайн сервісу OpenWeatherMap значення ступеня хмарності у заданій місцевості та відповідні значення потужності фотоелектричного модуля Buheshui JZ-110X69 для різних погодних умов. Прогнозування здійснюється за допомогою кореляційного аналізу методом Пірсона. На основі експериментальних даних визначено коефіцієнт лінійної кореляції та параметри лінії регресії. Встановлено високий ступінь оберненої лінійної кореляції хмарності та потужності фотоелектричного модуля. Для прогнозу потужності сонячних батарей використано рівняння лінійної регресії. Отримані результати можуть бути використані для формування рекомендованих сценаріїв раціонального використання енергоресурсів.

*Ключові слова:* розумний будинок, енергоменеджмент, енергоефективність, кореляція, лінія регресії, прогнозування.

### 1. Вступ

Інформаційні технології (ІТ) революційно змінили наш побут завдяки інтелектуалізації побутових пристроїв і формуванню нового напрямку розвитку – Інтернету речей (ІоТ), тим самим забезпечуючи комфорт та безпеку мешканців розумного будинку, а також економію ресурсів [1-3]. Покращення якості життя зумовлене інтеграцією різноманітних приладів у єдину інтелектуальну систему, яка здійснює постійний моніторинг багатьох параметрів середовища проживання та централізоване керування електронними пристроями [4-7]. Розумний будинок – це органічне поєднання різних підсистем обслуговування та управління за допомогою передових технологій. У міру ускладнення підсистем і збільшення кількості виконуваних ними функцій управління ними стає все складнішим.

Надзвичайно важливою є функція енергоменеджменту помешкання. Ефективне використання електроенергії та керування побутовими приладами в автоматичному режимі згідно з заданою логікою та потребами мешканців дає змогу заощадити час і кошти. Тому розробка систем та алгоритмів, які забезпечують ефективний енергоменеджмент розумного будинку, є одним із актуальних напрямів досліджень у сфері інтелектуальних рішень та ІоТ.

Одним з основних підходів, спрямованих на забезпечення енергоефективності та енергозбереження в системі розумного будинку, є використання енергоекономних при-

ладів та компонентів [8]. Зокрема, за допомогою інтелектуальних інтерактивних терміналів, розумних розеток та інших пристроїв можна автоматично збирати інформацію про енергоспоживання та на основі її аналізу – керувати роботою побутової техніки. Крім того, система може стежити за критичним станом електромережі і в разі перевантаження чи аварійної ситуації – вимикати обладнання. Інший підхід полягає у своєчасному виявленні та усуненні втрат енергії за допомогою різноманітних інтелектуальних сенсорів. Також широко представлені підходи, які забезпечують використання енергії тільки в потрібному місці, у необхідній кількості та лише в той час, коли вона потрібна. Зокрема, прогнозне керування на основі моделей (model-based predictive control) прогнозує майбутню поведінку системи енергоспоживання на основі моделей і коригує її відповідно до результатів моделювання [9]. Така система добре себе зарекомендувала для оптимізації енергоспоживання, наприклад, для збалансування витрат та підвищення енергоефективності шляхом мінімізації пікових навантажень тощо.

Підвищення енергоефективності розумного будинку зазвичай впливає на рівень комфорту мешканців. І навпаки, у багатьох випадках забезпечення зручності, комфорту чи безпеки може обмежувати реалізацію сценаріїв заощадження енергії. Для збалансування рівня комфорту та енергоспоживання у роботі [10] запропоновано адаптивну інтелектуальну систему енергомнеджменту, яка здійснює моніторинг споживання енергії та за допомогою різноманітних сенсорів розпізнає поведінку мешканців у режимі реального часу. Зазначена система здатна знаходити компроміс між споживанням енергії та комфортом мешканців розумного будинку. Для формування рекомендацій щодо ефективного використання енергії й одночасного забезпечення необхідного рівня безпеки та комфорту також використовують алгоритми машинного навчання та технології аналізу великих даних [11, 12].

Рекомендації щодо оптимальних сценаріїв енергоспоживання набувають особливої ваги у разі використання системою розумного будинку відновлювальних джерел енергії. Зокрема, врахування погодних умов під час формування рекомендованих сценаріїв споживання електроенергії дає змогу максимально використовувати потужність сонячних батарей і може бути одним з основних шляхів економії енергоносіїв. На основі прогнозу погоди на найближчі декілька днів можна скласти графік оптимального навантаження на електромережу [13]. Наприклад, у хмарні дні не доцільно використовувати потужні електроприлади (пральну машину, електронагрівачі, зарядку електромобіля тощо) без крайньої необхідності, а всю цю активність можна запланувати у сонячні дні. Тому розробка системи прогнозування потужності сонячних батарей для управління енерговитратами розумного будинку є актуальною задачею, яка привертає увагу багатьох дослідників [14-16].

У роботі запропоновано інтелектуальну систему розумного будинку, яка на основі аналізу погодних даних прогнозує потужність сонячних батарей, що дає змогу обирати ефективний сценарій енергоспоживання.

## 2. Методи та засоби реалізації

Для отримання даних про погодні умови використовувався он-лайн сервіс OpenWeatherMap, який надає web-сервісам та мобільним додаткам API для доступу до даних про поточну погоду, а також прогноз погоди для заданої місцевості. Сервіс OpenWeatherMap отримує погодні дані з різних джерел, таких як офіційні метеорологічні служби, метеостанції аеропортів, професійні та аматорські метеостанції. Велика кіль-

кість метеостанцій, дані яких використовує сервіс, забезпечує високу точність та оперативність отриманої інформації як щодо поточної погоди, так і її прогнозу. Система геокодування сервісу OpenWeatherMap дає змогу знайти міста за назвою або географічними координатами. Для подальшого аналізу використовувались виражені у відсотках дані про хмарність у денний час для зазначеної місцевості.

Прогнозування потужності сонячних батарей здійснювалося методами кореляційного аналізу, зокрема за допомогою методу Пірсона, який передбачає кількісне вираження ознак, що аналізуються. Формування кореляційно-регресійної моделі і визначення кореляційних характеристик, а саме коефіцієнта лінійної кореляції та параметрів лінії регресії, здійснювалося на основі експериментальних даних. Для визначення відносної потужності  $P/P_{\max}$  сонячної батареї використовувався кремнієвий фотоелектричний модуль Buheshui JZ-110X69 (рис. 1) з такими характеристиками:  $U = 5$  В,  $I_{\max} = 240$  мА,  $P_{\max} = 1,2$  Вт. Обчислення поточної потужності фотоелектричного модуля здійснювалось на основі виміряного значення фотоструму через навантаження з опором  $R_n = 100$  Ом.

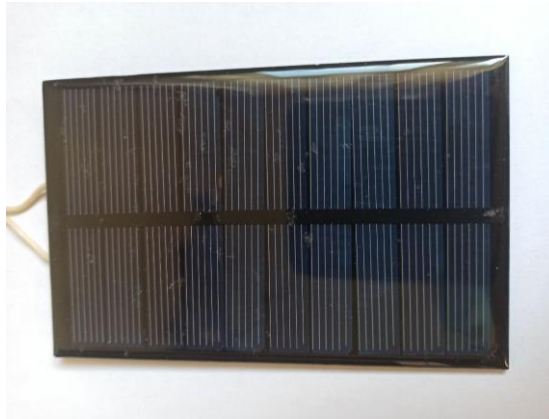


Рис. 1. Зображення фотоелектричного модуля Buheshui JZ-110X69.

Основною вимогою до застосування кореляційного аналізу є достатня кількість спостережень, тобто сукупності факторних і результативних показників – ступеня хмарності та відповідних значень потужності сонячної батареї. У роботі використані дані щогодинних спостережень за ступенем хмарності у м. Львові у період з 21.03.2022 року до 20.04.2022 року. Вимірювання фотоструму здійснювалось у випадку розташування сонячного модуля у південному напрямку під кутом близько  $50^\circ$  до горизонту, що є оптимальним значенням кута нахилу сонячних панелей для географічної широти м. Львова у весняний період, коли проводилися спостереження.

### 3. Результати та їх аналіз

На основі спостережень сформовано матрицю з щогодинними погодними даними (ступінь хмарності та опади) і вимірними у денний час значеннями фотоструму та відносної потужності сонячного модуля Buheshui JZ-110X69. Додатково проаналізовано залежність потужності фотоелектричного перетворювача від часу доби. Зображені на рис. 2 дані виміряні в м. Львові у безхмарний день 22.03.2022 року.

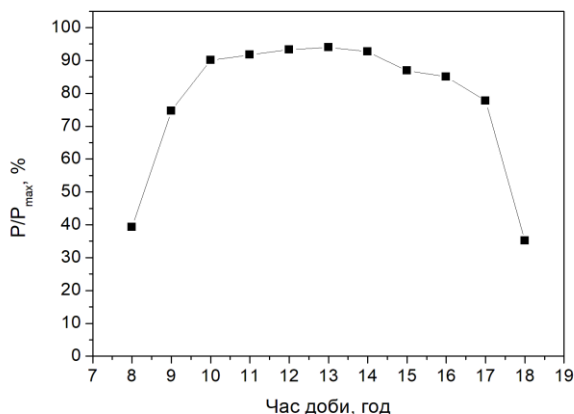


Рис. 2. Залежність відносної потужності фотоелектричного модуля Buheshui JZ-110X69 від часу доби у безхмарний день.

Спостерігалось значне зменшення потужності фотоелектричного модуля у ранковий і вечірній час, що пов'язано із збільшенням кута між сонячними променями і нормаллю до поверхні панелі [17]. Оскільки кореляційний аналіз здійснювався лише за одним факторним показником (ступенем хмарності) незалежно від часу доби, то отримані значення потужності додатково корегувалися відповідно до часу доби. Значення корегувального коефіцієнта визначали у безхмарний день для кожної години як відношення потужності сонячного модуля у час вимірювання до потужності, вимірної о 13 годині (див. рис. 2). На рис. 3 представлені експериментальні залежності відносної потужності кремнієвого фотоелектричного модуля Buheshui JZ-110X69 від отриманого за допомогою сервісу OpenWeatherMap ступеня хмарності.

Отриманий набір даних охоплює значення хмарності у широких межах: від практично безхмарної погоди до стовідсоткової хмарності та рясних опадів. Експериментально визначені значення відносної потужності фотоелектричного модуля знаходились у межах 0,3–94 %. Після корегування отримано дещо вищі значення відносної потужності, що вказує на усунення впливу кута падіння сонячних променів на встановлення кореляційного зв'язку між потужністю сонячних панелей і погодними умовами. Як наслідок, після такого корегування можна очікувати підвищення точності кореляційного аналізу. Слід зазначити, що на точність прогнозування також впливає обсяг вибірки даних для побудови лінії регресії. Проте розширення періоду спостережень вимагатиме додаткового налаштування корегувальних коефіцієнтів відповідно до пори року. Отже, отримана у роботі вибірка, яка охоплює різні погодні дані є цілком достатньою для прогнозування потужності сонячних батарей для практичного застосування у системах енергоменеджменту розумного будинку.

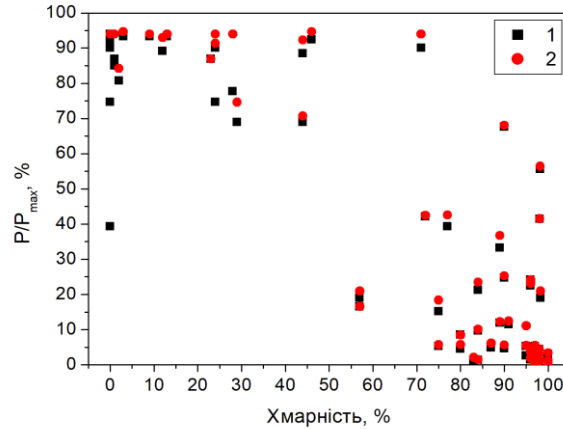


Рис. 3. Залежність відносної потужності фотоелектричного модуля Buheshui JZ-110X69 від ступеня хмарності без корегування (1) та кореговані відповідно до часу доби (2).

Для оцінки міцності зв'язку та ступеня лінійної кореляції погодних даних і потужності фотоелектричного модуля було обчислено коефіцієнт Пірсона  $r$  за допомогою виразу:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

де  $n$  – обсяг вибірки,  $\bar{x}$  та  $\bar{y}$  – середні значення, а  $x_i$  та  $y_i$  – пари значень ступеня хмарності та відносної потужності сонячного модуля, відповідно. Отримані на основі експериментальних даних значення коефіцієнта Пірсона становлять  $-0,85311$  і  $-0,89989$  для некорегованих і коригованих даних відносної потужності, відповідно. Аналіз значень коефіцієнта Пірсона вказує на доволі міцний зв'язок (близькість до одиниці модуля коефіцієнта Пірсона) та обернену лінійну кореляцію ступеня хмарності і потужності сонячного модуля. Застосування корегувальних коефіцієнтів підвищує ступінь кореляції, а значить і точність прогнозу.

Для прогнозу потужності сонячних батарей використано рівняння лінійної регресії, яке визначається виразом

$$y - \bar{y} = r \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} (x - \bar{x}). \quad (2)$$

Кут нахилу лінії регресії визначається коефіцієнтом

$$\operatorname{tg} \alpha = r \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} . \quad (3)$$

У результаті обчислень отримано рівняння регресії (4) і (5) відповідно для некорегованих і корегованих експериментальних даних відносної потужності:

$$y = -0.00836x + 0.926048 , \quad (4)$$

$$y = -0.00941x + 0.995456 . \quad (5)$$

Залежність прогнозованої потужності сонячної батареї розумного будинку від ступеня хмарності зображена на рис. 4. Слід зазначити, що використання множинної кореляції для аналізу впливу декількох факторів (наприклад, наявності та інтенсивності опадів, пилового забруднення атмосфери тощо) на потужність фотоелектричних перетворювачів може підвищити точність прогнозування.

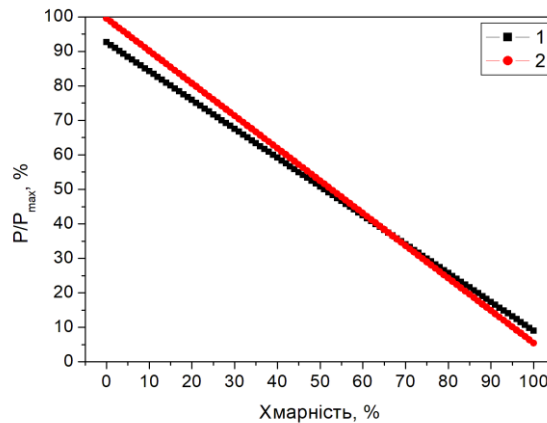


Рис. 4. Залежності прогнозованої потужності сонячної батареї від ступеня хмарності, отримані на основі некорегованих (1) і корегованих відповідно до часу доби (2) експериментальних даних.

За допомогою отриманих залежностей і прогнозу погоди інтелектуальна система розумного будинку може оцінити майбутню потужність сонячної батареї та сформулювати рекомендації для раціонального використання енергоресурсів. Вибір оптимальних сценаріїв вмикання побутових пристроїв відповідно до прогнозованої потужності відновлювальної енергії дає змогу збалансовано поєднати необхідний рівень комфорту та ощадливий енергоменеджмент розумного будинку.

#### 4. Висновки

Запропонована у роботі інтелектуальна система розумного будинку для прогнозування потужності сонячних батарей використовує отримані за допомогою он-лайн сервісу OpenWeatherMap погодні дані, а саме ступінь хмарності у потрібний час і зазначеній місцевості. Прогнозування здійснюється методами кореляційного аналізу. На основі

експериментально виміряної потужності модуля Buheshui JZ-110X69 за різних погодних умов визначено коефіцієнт Пірсона і параметри лінії регресії. Близьке до одиниці значення модуля коефіцієнта Пірсона вказує на тісний зв'язок і високу кореляцію ступеня хмарності та потужності сонячної панелі. Встановлено, що корегування значення потужності фотоелектричного модуля відповідно до часу доби підвищує ступінь лінійної кореляції та кут нахилу лінії регресії. На основі лінії регресії можна прогнозувати потужність сонячної батареї. Сформовані відповідно до погодних умов рекомендації дають змогу обирати раціональний сценарій енергоспоживання розумного будинку.

#### Список використаних джерел

- [1] *Harper R.* Inside the Smart Home. – London: Springer, 2003.
- [2] *Ming C., Kadry S., Dasel A.* Automating smart Internet of Things devices in modern homes using context-based fuzzy logic // *Computational Intelligence*. – 2020, <https://doi.org/10.1111/coin.12370>.
- [3] *Zhou S., Wu Z., Li J., Zhang X.* Real-time Energy Control Approach for Smart Home Energy Management System // *Electric Power Components and Systems*. – 2014. – Vol. 42. – P. 315–326, <https://doi.org/10.1080/15325008.2013.862322>.
- [4] *Robles R.J., Kim T.-H.* Applications, systems and methods in smart home technology: A review // *International Journal of Advanced Science and Technology*. – 2010. – Vol. 15. – P. 37–47.
- [5] *Hsu Y.L., Chou P.H., Chang H.C., Lin S.L., Yang S.C., Su H.Y., Chang C.C., Cheng Y.S., Kuo Y.C.* Design and Implementation of a Smart Home System Using Multisensor Data Fusion Technology // *Sensors*. – 2017. – Vol. 17. – P. 1631.
- [6] *Olenych I.* Smart home climate control system based on fuzzy logic controller // *Electronics and information technologies*. – 2022. – Issue 17. – P. 26–35.
- [7] *Olenych I.B.* Fuzzy logic controller for smart home lighting control // *Information and Telecommunication Sciences*. – 2017. – Vol. 9, No 2. – P. 50–55.
- [8] *Fabi V., Spigliantini G., Corgnati S.P.* Insights on smart home concept and occupants' interaction with building controls // *Energy Procedia*. – 2017. – Vol. 111. – P. 759–769.
- [9] *Felius L.C., Dessen F., Hrynyszyn B.D.* Retrofitting towards energy-efficient homes in European cold climates: a review // *Energy Efficiency*. – 2020. – Vol. 13. – P. 101–125.
- [10] *Isnen M., Kurniawan S., Garcia-Palacios E.* A-SEM: An adaptive smart energy management testbed for shiftable loads optimisation in the smart home // *Measurement*. – 2020. – Vol. 152. – P. 107285, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107285>.
- [11] *Machorro-Cano I., Alor-Hernández G., Paredes-Valverde M.A., Rodríguez-Mazahua L., Sánchez-Cervantes J.L., Olmedo-Aguirre J.O.* HEMS-IoT: A Big Data and Machine Learning-Based Smart Home System for Energy Saving // *Energies*. – 2020. – Vol. 13. – P. 1097, <https://doi.org/10.3390/en13051097>.
- [12] *Paredes-Valverde M.A., Alor-Hernández G., García-Alcaráz J.L., Salas-Zárate M.D.P., Colombo-Mendoza L.O., Sánchez-Cervantes J.L.* IntelliHome: An internet of things-based system for electrical energy saving in smart home environment // *Computational Intelligence*. – 2020. – Vol. 36. – P. 203–224, <https://doi.org/10.1111/coin.12252>.
- [13] *Теслюк В.М., Навитка М.Л., Пукач А.І., Коваль В.Я.* Розроблення моделі для автоматизованого розподілу споживання електроенергії від сонячних панелей системи «Розумний дім» // *Моделювання та інформаційні технології*. – 2017. – Вип. 80. – С. 129–137.

- [14] Chrobak P., Skovajsa J., Zalesak M. Effect of cloudiness on the production of electricity by photovoltaic panels / MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 76. – P. 02010. DOI:10.1051/mateconf/2016760201.
- [15] Premalatha L., Rahim N.A. The Effect of Dynamic Weather Conditions on Three Types of PV Cell Technologies - A Comparative Analysis // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 117. – P. 275–282.
- [16] Gulkowski S., Zdyb A., Dragan P. Experimental Efficiency Analysis of a Photovoltaic System with Different Module Technologies under Temperate Climate Conditions // Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9. – P. 141.
- [17] Слабінога М.О., Кучірка Ю.М., Криницький О.С., Юрків Н.М. Моделювання залежності зміни потужності сонячних панелей від кута падіння променів // Методи та прилади контролю якості. – 2018. – № 2 (41). – С. 18–24.

## SYSTEM OF FORECASTING THE SMART HOME SOLAR BATTERY POWER

I. Olenych, M. Pavlyk, M. Martsiniv

*Ivan Franko National University of Lviv,  
50 Drahomanov St., UA-79005 Lviv, Ukraine*

[igor.olenych@lnu.edu.ua](mailto:igor olenych@lnu.edu.ua)

Controlling household appliances in automatic mode according to the specified logic and the needs of the residents of a smart home allows efficient use of electricity and saves time and money. The paper proposes a system of forecasting the smart home solar battery power based on the analysis of weather data. The cloudiness degree values obtained using the OpenWeatherMap online service for a given area and time are used. Forecasting is carried out by methods of correlation analysis. The Pearson coefficient and parameters of the regression line were determined using the experimentally measured power of the Buheshui JZ-110X69 photovoltaic module under different weather conditions. The close to one value of Pearson coefficient modulus indicates a close relationship and high correlation between cloudiness and solar panel power.

Correction coefficients were introduced to eliminate the influence of the angle between sun rays and the normal to the panel surface on the photovoltaic module power. The correction coefficients were determined on a cloudless day on March 20, 2022, in Lviv for each hour as the ratio of the solar module power at the measurement time to the measured at 1 pm power. It was established that adjusting the photovoltaic module power value according to the time of day increases the degree of linear correlation and the angle of inclination of the regression line.

The weather forecast and obtained linear regression equation were used to estimate the future power of the solar battery. The use of correction coefficients according to the time of day increases the accuracy of the smart home solar battery power forecast. The obtained results can be used to form recommended scenarios for the rational use of energy resources. Choosing the optimal scenarios for using household devices in accordance with the forecasted solar battery power makes it possible to balance the comfort necessary level and frugal energy management of a smart home.

*Key words:* smart home, energy management, energy efficiency, correlation, regression line, forecasting.

*Стаття надійшла до редакції 10.10.2022.*

*Прийнята до друку 11.10.2022.*