

## НЕЧІТКА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ ДЛЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ КЕРУВАННІ ГІБРИДНОЮ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖЕЮ

Тимчук С. О.<sup>1</sup>, Шендрик С. О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка,  
<sup>2</sup>Сумський державний університет

*В статті наведено результати побудови математичної моделі потужності сонячної батареї будь-якої площини в нечіткій формі. Основні залежності отримано за допомогою нечіткого регресійного аналізу. Модель має достатню точність для застосування в системах підтримки прийняття рішень при керуванні гібридними електромережами в умовах невизначеності вхідної інформації. Дані рекомендації для застосування розробленої моделі в умовах оперативних вимірювань освітленості та температури, а також в умовах прогнозування потужності сонячної батареї від зазначених факторів.*

**Постановка проблеми.** Для забезпечення прийняття рішень у системі підтримки прийняття рішень при керуванні гібридною системою електропостачання необхідно мати поточні дані та прогнозні показники функціонування її складових елементів, а саме, сонячних батарей (СБ), вітроустановок, мікроГЕС, дизель- та бензогенераторів, генераторів на біопаливі, тощо. Збір поточних даних здійснюється за допомогою різноманітних датчиків. Прогнозні ж показники можливо отримати лише на основі математичних моделей.

В даному дослідженні увагу зосереджено на СБ. Електричні параметри СБ залежать від зовнішніх факторів, таких, як температура та освітленість, а також від конструктивних факторів, таких як розмір, матеріал і кількість фотоелементів, наявність концентраторів та тепловідводу, тощо. Всі ці параметри характеризуються певною невизначеністю. Наприклад, температура та освітленість мають деяку нерівномірність по площині СБ, яка складно вимірюється, а також певну похибку вимірювання. Конструктивні фактори також залежать від якості технологічного процесу при їх виготовленні.

Зазвичай локальний контролер заряду-розряду підтримує максимальний відбір потужності від СБ, яка перерозподіляється між акумуляторною батареєю та навантаженням, тому з точки зору системи прийняття рішень математична модель СБ має описувати залежність максимальної потужності СБ від зовнішніх та конструктивних факторів. Причому бажано, щоб ця модель враховувала невизначеність вхідної інформації. Розкриття подібного роду невизначеності доцільно здійснювати в рамках нечіткого підходу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Традиційно моделювання потужності СБ здійснюється на основі детермінованого підходу. Здебільше в основі побудови математичної моделі потужності СБ лежить модель вольт-амперної характеристики окремого фотоелемента [1-4], отримана теоретично, або на основі обробки експериментальних даних. Це пояснюється відносною простотою дослідження характеристик фотоелементів.

Однак при розрахунку характеристик СБ великої площини виникають труднощі у визначенні різноманітних втрат внаслідок неідентичності фотоелементів, комутації, нерівномірності температури та освітлено-

сті по площині СБ.

Введення відповідних коефіцієнтів [5, 6] не вирішують вказані проблеми, а намагання вдосконалити детерміновану математичну модель СБ приводить до суттєвого її ускладнення [6]. Також в ряді робіт пропонується враховувати інтегрально означені втрати за рахунок експериментальних досліджень не фотоелементів, а невеликих СБ з подальшим розповсюдженням результату на параметри СБ будь-якої площини [7, 8].

Однак і такий підхід виправдовує себе в певних межах. До того ж додаються похибки внаслідок застосування регресійного аналізу для побудови моделі вольт-амперної характеристики в умовах невеликих виборок експериментальних даних. Здається більш доцільним в цьому випадку застосувати нечіткий регресійний аналіз, наприклад як в [9].

**Мета статті.** Метою статті є побудова нечіткої математичної моделі, що описує залежність потужності сонячних батарей від зовнішніх та конструктивних факторів для системи підтримки прийняття рішень при керуванні гібридною електромережою.

**Основні матеріали дослідження.** В даній статті пропонується визначити оптимальну (максимальну) потужність СБ у вигляді трикутного нечіткого числа, тобто кортежем

$$P_{opt} = \langle P_{opt\ m}, P_{opt\ -}, P_{opt\ +} \rangle, \quad (1)$$

де  $P_{opt\ m}$  – модальне значення,  
 $P_{opt\ -}, P_{opt\ +}$  – ліва та права межа інтервалу невизначеності.

В межі невизначеності інтегрально потрапляють всі згадані вище параметри, які напряму не можуть бути визначені і навіть ті, що невідомі.

Для врахування залежності  $P_{opt\ m}, P_{opt\ -}, P_{opt\ +}$  від зовнішніх та конструктивних факторів було оброблено експериментальні дані, що наведено в [7] оскільки ці експерименти було проведено саме з метою виявлення впливу невизначених факторів на електричні характеристики СБ. Досліджувались 16 груп сонячних елементів площиною 0,0403 м<sup>2</sup> в діапазоні температури (12 - 70)° С та освітленості (550 - 1260) Вт/м<sup>2</sup>. У складі груп зкомутовано фотоелементи різних розмірів для врахування цього роду невизначеності. Нерівномір-

ність температури по площині груп встановлювалась на рівні  $\pm 1^\circ\text{C}$  від середньої, а освітленості – в межах  $\pm 3\%$ . Поблизу оптимальної точки реєструвалося декілька режимних точок вольт-амперної характеристики для врахування похибки контролера, що регулює максимальний відбір потужності від СБ.

Для обробки застосовано нечіткий регресійний аналіз з двома критеріями якості: степінь співпадіння та степінь невизначеності, суть якого наведено в [9, 10].

В даному випадку експериментальні дані вважаються синглтонами, а їх оцінки – трикутними нечіткими числами. Степінь співпадіння трикутного нечіткого числа і синглтона визначається за їх перетинанням, тобто дорівнює значенню функції приналежності синглтона до трикутного нечіткого числа. При наявності  $n$  експериментальних точок середня степінь співпадіння визначається як [9]

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu(P_i),$$

де  $P_i$  – експериментальні дані (рис. 1). Відповідно степінь невизначеності визначається як

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{opt+i} - P_{opt-i}).$$

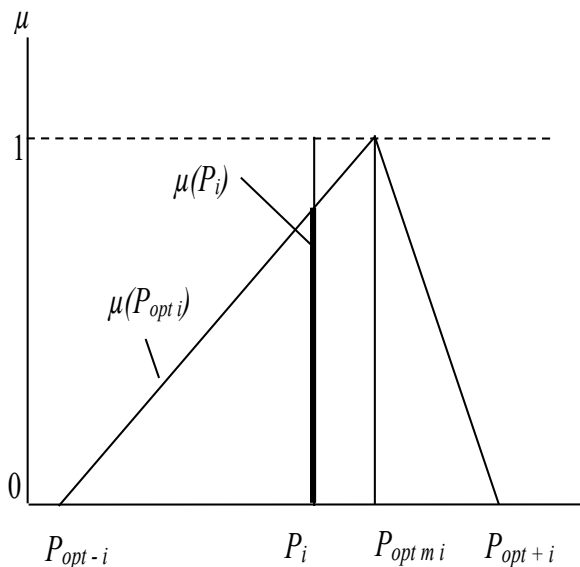


Рисунок 1 – Визначення критеріїв якості нечіткої регресії

В результаті обробки експериментальних даних отримано залежності, що входять в нечітку модель (1) (рис.2) у вигляді:

$$\begin{aligned} P_{opt m} &= 0,00363E + 0,00352t - 0,000013Et, \\ P_{opt -} &= 0,00353E + 0,00214t - 0,000011Et, \\ P_{opt +} &= 0,0037E + 0,00425t - 0,000014Et. \end{aligned} \quad (2)$$

де  $E$  – освітленість,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ,

$t$  – температура,  $^\circ\text{C}$ .

Середня степінь співпадіння залежностей (2) складає 0,32, а середня степінь невизначеності не перевищує 0,11. Існує певна складність зі сприйманням оцінок точності моделі в такому виді.

Між тим для модальної складової в [9] запропоновано наступний зв'язок середньою степені співпадіння з середньомодульною відносною похибкою (MAPE)

$$MAPE = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - \mu(P_i))(P_{opt m i} - P_{opt - i}) / P_i & \text{якщо } P_i < P_{opt m i}, \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - \mu(P_i))(P_{opt + i} - P_{opt m i}) / P_i & \text{якщо } P_i > P_{opt m i}. \end{cases}$$

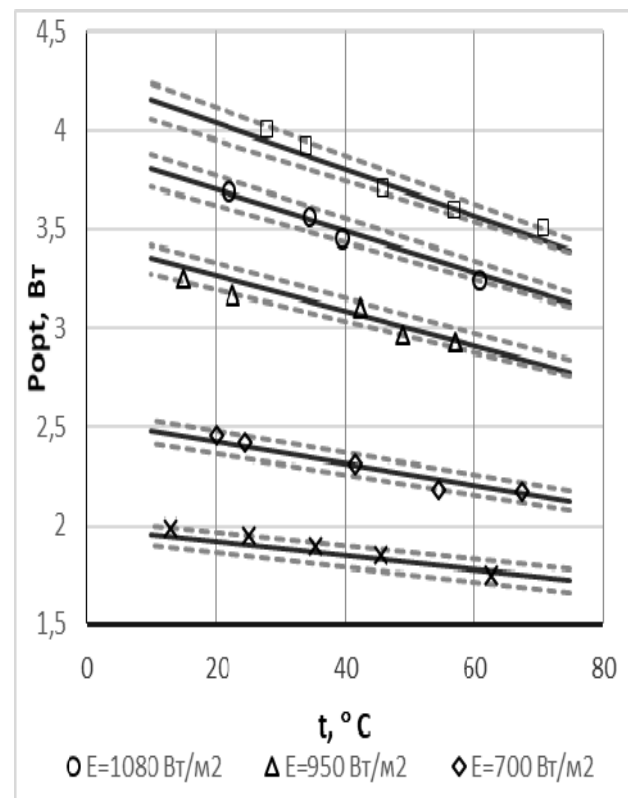


Рисунок 2 – Результати обробки експериментальних даних нечітким регресійним аналізом

Для залежностей (2) MAPE = 1,1% при влучанні всіх експериментальних даних в межі інтервалу нечіткості.

Відповідно враховуючи (2) і масштабний фактор площини СБ, (1) переписується у вигляді

$$\begin{aligned} P_{opt} &= (< 0,00363, 0,00353, 0,0037 > E + \\ &+ < 0,00352, 0,00214, 0,00425 > t - \\ &- < 0,000013, 0,000011, 0,000014 > Et) S / \\ &/ 0,0403. \end{aligned} \quad (3)$$

В залежності (3)  $S$  – загальна площа сонячних батарей, що входять до гібридної системи електропостачання. Якщо у виразі (3) використовуються не результати оперативних вимірів  $E$  – освітленості,  $t$  – температури, а прогнозовані дані, то залежності (2) мають бути скорі-

говані згідно принципу узагальнення Заде з урахуванням похибки прогнозу. А саме, освітленість і температура представляються у вигляді трикутних нечітких чисел виду

$$E = \langle E_m, E_-, E_+ \rangle,$$

$$t = \langle t_m, t_-, t_+ \rangle,$$

де границі інтервалів невизначеності отримуються через похибку прогнозу.

Приймаючи до уваги, що всі нечіткі числа позитивні, залежність (3) прийме вигляд

$$P_{opt} = (\langle 0,00363E_m, 0,00353E_-, 0,0037E_+ \rangle + \langle 0,00352t_m, 0,00214t_-, 0,00425t_+ \rangle - \langle 0,000013E_m t_m, 0,000011E_- t_-, 0,000014E_+ t_+ \rangle) / 0,0403S. \quad (4)$$

**Висновки.** В результаті отримано математичну модель, яка з достатньою точністю описує залежність максимальної потужності сонячної батареї та дозволяє подолати умови невизначеності вхідної інформації в системах прийняття рішень як при проектуванні, так і при оперативному керуванні режимами гібридних електромереж.

#### Список використаних джерел

1. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах. - М.: Энергоатомиздат, 1983.- 360с.
2. Nema R. K. Computer Simulation Based Study of Photovoltaic Cells / Modules and their Experimental Verification / R. K. Nema, S. Nema, G. Agnihotri // International Journal of Recent Trends in Engineering.- 2009.- Vol 1, No. 3. - P. 151-156.
3. Znajdek K. Review of simulation models suitability for characterization of actual Si PV cells / K. Znajdek // XII International PhD Workshop OWD 2010. - p. 423-425.
4. Tsuno Y. Temperature and irradiance dependence of the I-V curves of various kinds of solar cells / Y. Tsuno, Y. Hishikawa, K. Kurokawa// 15th International photovoltaic science & engineering conference PSEC - 15. - 2005. - p.422-423.
5. Базилевский А. Б. Моделирование вольтамперных характеристик солнечных батарей / А. Б. Базилевский, М. В. Лукьяненко // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. - 2005. - №4. - С. 63 - 66.
6. Гамарко А. В. Методи чисельної апроксимації вольт-амперних кривих фотоелектричного модуля / А. В. Гамарко// Відновлювальна енергетика. - 2016. - №1. - С. 33-38.
7. Tymchuk S. Mathematical Model of Solar Battery for Balance Calculations in Hybrid Electrical Grids / S. Tymchuk, S. Shendryk // International Conf. on Modern Electrical and Energy Systems (MEES'17), Kremenchuk, Ukraine. - 2017. - P. 204-207.
8. Тимчук С. О. Дослідження впливу освітленості

і температури оточуючого середовища на схемні втрати потужності в сонячних батареях / С. О. Тимчук, С. О. Шендрик // Вісник ХНТУСГ. - 2017. - №187. - С. 8-9.

9. Тимчук С. А. Разработка критерия качества подбора коэффициентов регрессии в задачах прогнозирования электропотребления / С. А. Тимчук, И. А. Катюха // Східно - європейський журнал передових технологій. – 2014. - № 5/8 (71). – С. 16 - 20.

10. Тимчук С. О. Довгостроковий прогноз електроспоживання з використанням нечіткого регресійного аналізу на підприємстві / С. О. Тимчук, В. В. Овчаров, І. А. Катюха// Наукові праці Донецького національного техніч. унів. Серія: "Обчислювальна техніка та автоматизація". – Донецьк, 2013. - №1(24). – С. 139 – 145.

#### Аннотация

### НЕЧЕТКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОСЕТЬЮ

Тимчук С. А., Шендрик С. А.

*В статье приведены результаты построения математической модели мощности солнечной батареи любой площади в нечеткой форме. Основные зависимости получены с помощью нечеткого регрессионного анализа. Модель имеет достаточную точность для применения в системах поддержки принятия решений при управлении гибридными электросетями в условиях неопределенности исходной информации. Даны рекомендации для применения разработанной модели в условиях оперативных измерений освещенности и температуры, а также в условиях прогнозирования мощности солнечной батареи от упомянутых факторов.*

#### Abstract

### FUZZY MATHEMATICAL MODEL OF SOLAR PANEL POWER FOR THE DECISION SUPPORT SYSTEM AT THE MANAGEMENT OF A HYBRID ELECTRICAL GRID

S. Tymchuk, S. Shendryk

*The results of building a mathematical model of the power of solar panel of some area in fuzzy form is displayed in the paper. The main dependencies are obtained using fuzzy regression analysis. The model has sufficient accuracy for using in decision support systems for the management of hybrid electrical grids under conditions of uncertainty in the initial information. Recommendations are given for the application of the developed model in conditions of operative measurements of illumination and temperature, and also in the conditions of prediction the solar panel power from certain factors.*