

УДК 621.316.1.05:519.85

ПРИЙНЯТТЯ ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ ПРИ КЕРУВАННІ ГІБРИДНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ МЕРЕЖАМИ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**С. О. Тимчук**Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка
вул. Енгельса, 19, м. Харків, 61052, Україна. E-mail: stym@i.ua**В. В. Шендрік, С. О. Шендрік, О. В. Шуліма**

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна. E-mail: ve-shen@opm.sumdu.edu.ua,
sergshen@gmail.com, o.shulyma@gmail.com

Для електрозабезпечення домогосподарств і непромислових об'єктів використання альтернативних відновлювальних джерел енергії є безпечним, перспективним та екологічним. Для великої кількості районів України найбільшу продуктивність можна отримати від комбінованих джерел генерації, тобто при поєднанні в одну мережу вітрогенераторів і сонячних панелей. Успішне впровадження й експлуатація електричних мереж із відновлювальними джерелами енергії неможливе без ефективного керування. У цьому випадку процес керування складається з декількох взаємопов'язаних стадій, на кожній з яких необхідно приймати оптимальне рішення. Процес прийняття рішень ускладнений невизначеністю й неповнотою вхідної інформації, тому доцільно створювати системи керування, які забезпечуються прийняттям рішень на всіх стадіях життєвого циклу енергомереж із відновлювальними джерелами енергії. Метою роботи є аналіз задачі підтримки прийняття рішень для оптимального керування генерацією, споживанням, накопиченням та розподілом енергії в енергосистемах із відновлювальними джерелами енергії. У роботі формалізовано задачу прийняття рішення, виконано класифікацію стадій процесу прийняття рішення, визначено критерії оцінки ефективності рішень, запропоновано методологію пошуку оптимального рішення.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, система керування, підтримка прийняття рішення.**ПРИНЯТИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ГИБРИДНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ****С. А. Тимчук**Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко
ул. Энгельса, 19, г. Харьков, 61052, Украина. E-mail: stym@i.ua**В. В. Шендрік, С. А. Шендрік, О. В. Шуліма**

Сумский государственный университет

ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина. E-mail: ve-shen@opm.sumdu.edu.ua,
sergshen@gmail.com, o.shulyma@gmail.com

Для электрообеспечения домашних хозяйств и непромышленных объектов использование альтернативных возобновляемых источников энергии является безопасным, перспективным и экологическим. Для большинства районов Украины наибольшую производительность можно получить при комбинации источников генерации, т.е. при объединении в одну сеть ветрогенераторов и солнечных панелей. Успешное внедрение и эксплуатация электрических сетей с возобновляемыми источниками энергии невозможно без эффективного управления. В этом случае процесс управления состоит из нескольких взаимосвязанных стадий, на каждой из которых необходимо принимать оптимальные решения. Процесс принятия решений усложняется неопределенностью и неполнотой входной информации, поэтому целесообразно создавать системы управления, в которых управление обеспечивается принятием решений на всех стадиях жизненного цикла энергосетей с возобновляемыми источниками энергии. Целью работы является анализ задачи поддержки принятия решений для оптимального управления генерацией, потреблением, накоплением и распределением энергии в энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии. В работе формализована задача принятия решения, выполнена классификация стадий процесса принятия решения, определены критерии оценки эффективности решений, предложена методология поиска оптимального решения.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, система управления, поддержка принятия решения.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Сучасне життя неможливе без використання енергії, невід'ємного компоненту технології для створення комфортних умов проживання й діяльності людини. В Україні, як і в усьому світі, більше 40 % первинної енергії споживається непромисловим сектором [1].

Безперечним є той факт, що первинні світові енергетичні ресурси обмежені, тому не дивно, що використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) стало нагальною потребою сьогодення.

Енергетична система України побудована на використанні традиційних джерел енергії, які здебіль-

шого забезпечують енергією об'єкти промисловості різних галузей економіки.

Введення ВДЕ в енергомережу, поєднання різних видів джерел енергії (вітрова, сонячна) мають значний потенціал для використання на непромислових об'єктах та у приватних домогосподарствах. ВДЕ при інтеграції в електричні мережі вносять додаткові складності, оскільки їх вихідна потужність є випадковою величиною, залежною від безлічі важкопрогнозованих гідрометеорологічних чинників.

Введення ВДЕ в енергетичну мережу або модернізація існуючої для використання ВДЕ потребує детального належного дослідження для того, щоб забезпечити правильний розподіл енергії, одержуваної з різних джерел, з метою задоволення потреб кінцевих користувачів енергії. Для вирішення цих завдань потрібно розробляти системи керування (СК) генерацією, споживанням, накопиченням і розподілом енергії. Система керування енергосистемою з ВДЕ повинна будуватися на підставі даних оперативного моніторингу метеорологічних і географічних умов, режимів споживання, повинна враховувати можливості використання декількох ВДЕ та підключення до зовнішньої мережі. При цьому на кожному етапі керування необхідно приймати оптимальні рішення в умовах невизначеності та неповноти вхідної інформації.

На практиці ця проблема не розглядається комплексно. Існуючі дослідження зосереджені на вирішенні окремих задач.

Так, наприклад, у роботі [2] запропоновано методологію визначення кращих місць для використання нових енергетичних систем, але без вивчення роботи мережі.

У роботі [3] проведено аналіз існуючих інструментальних засобів, які можна використовувати при розробці систем підтримки прийняття рішень для енергетичного менеджменту систем із використанням ВДЕ. Було проаналізовано популярність, наявність інструментів для створення електронних карт, можливість зберігати геодані, виконувати візуалізацію даних у різних форматах, наявність інструментів аналізу геоданих різних систем. Були розглянуті такі сучасні геоінформаційні системи (ГІС): GRASS, MapGuide Open Source, gvSIG, Q GIS, Geo server, OpenMap, Post GIS, KOSMO.

У роботі [4] надано систему підтримки прийняття рішення (СППР) для регіональних планувальників для проведення економічного аналізу набору вітроенергетичних проектів для приватних інвесторів у Бельгії.

Також у роботі [5] запропоновано систему управління розподілом енергії в будівлях у режимі реального часу. Ця система дозволяє визначити оптимальний потік енергії в будівлі та визначити час найбільшої генерації енергії від різних

джерел.

У роботі [6] за допомогою інтегрованої СППР пропонується розраховувати щогодини використовувану сонячну й вітрову енергію.

У роботі [7] система підтримки прийняття рішення призначена лише для вітроенергетики.

Більшість робіт [1] в основному зосереджені на визначенні оптимальної кількості сонячних і вітряних генераторів. З іншого боку, деякі запропоновані моделі передбачають вирішення побудови ефективно працюючої енергетичної системи, але не вирішують задачі планування споживання й продажу енергії. Прийняття рішень здійснюється за допомогою спрощених підходів і суб'єктивних оцінок, а деякі задачі, внаслідок своєї складності на формальному рівні, потребують подальшого дослідження. Таким чином, необхідно розробити нові методи та алгоритми підтримки прийняття рішень щодо оптимального керування та на їх основі створити універсальну систему керування, яка може вирішити всі ці завдання максимально ефективним способом.

Метою роботи є аналіз задачі підтримки прийняття рішень для оптимального керування генерацією, споживанням, накопиченням та розподілом енергії в енергосистемах із відновлювальними джерелами енергії.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Об'єктом управління в даному дослідженні є енергетична система, яка в основному складається з генераторів електричного струму середньої та малої потужності (вітрогенераторів та/або сонячних панелей), розташованих безпосередньо біля кінцевого споживача (рис. 1) [8]. У такій системі користувач самостійно використовує отриману енергію для особистих потреб та обслуговує джерела енергії, а надлишки віддає в загальну мережу для використання іншими споживачами. Використання модульної методології дозволяє легко інтегрувати в систему різномірні джерела. Наявність декількох типів джерел, що виробляють енергію, роблять таку систему гнучкою [9].

Реформування й розвиток електричних систем для впровадження ВДЕ, перетворення їх у гібридні вимагає значних інвестицій. При цьому необхідно відзначити, що при прийнятті рішень на різних етапах інтеграції альтернативних джерел в електричні мережі потрібно одночасно враховувати технічні, економічні, соціальні, екологічні чинники, які складно однозначно оцінити.

Основними технічними чинниками є вплив ВДЕ на режим роботи електричних мереж, неузгодженість номінальних параметрів основного обладнання з потребами таких джерел, відсутність типових рішень стосовно засобів захисту й автоматизації процесу виробництва електроенергії.

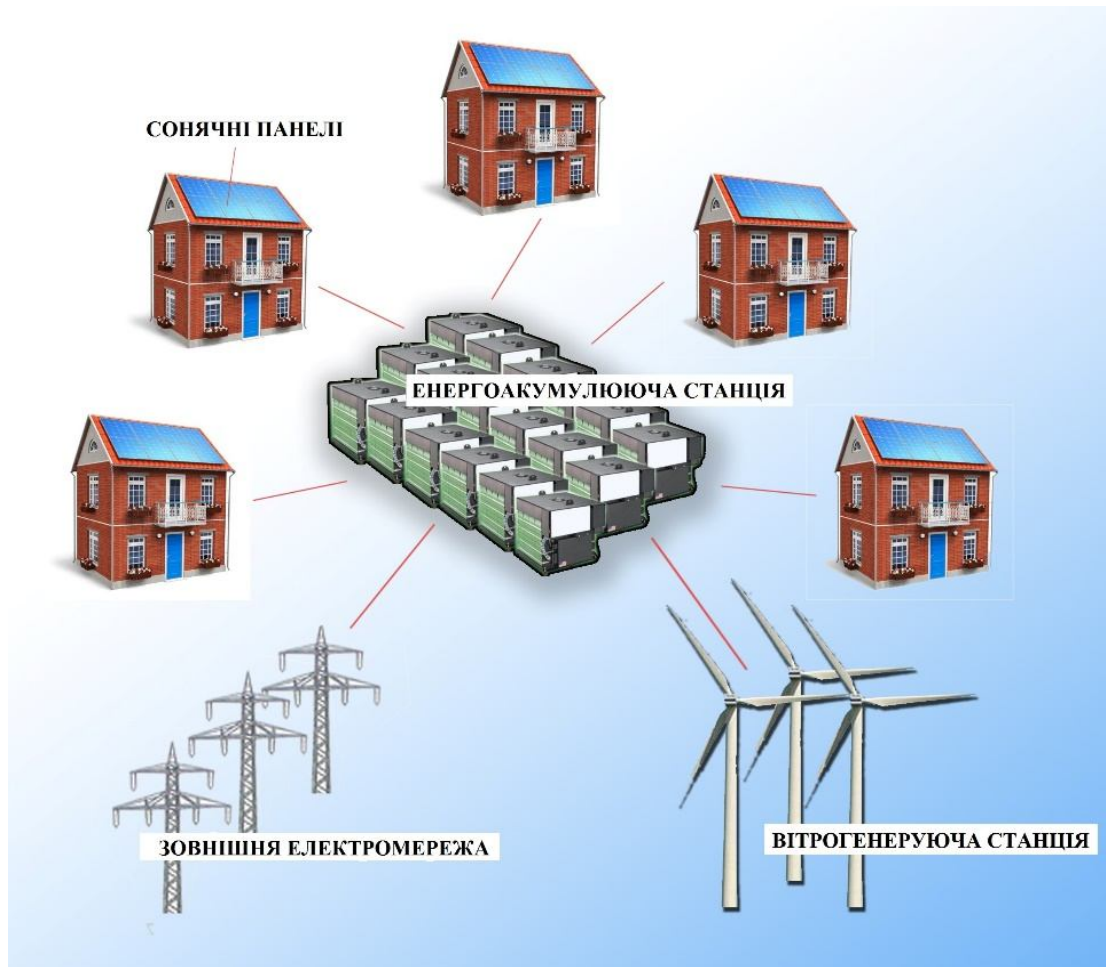


Рисунок 1 – Схема роботи електричної системи з використанням ВДЕ

Процес імплементації ВДЕ до електричних мереж України на сьогодні чітко не регламентується галузевими керівними документами або стандартами. Також відсутні надійні перевірені й загальноживані методи та рекомендації для створення та експлуатації гібридних електричних мереж із відновлювальними джерелами енергії. Тому збільшення кількості ВДЕ призводить до загострення технічних проблем з організації їх роботи в енергосистемі, серед яких:

- забезпечення стійкості роботи відновлювальних джерел та загалом електричної мережі;
- забезпечення якості отримання електроенергії;
- організація диспетчерського керування джерелами й електричною мережею, у тому числі контролю введення ВДЕ до енергосистеми;
- синхронізація ВДЕ з енергосистемою.

Особливо питання проектування й експлуатації енергосистем з ВДЕ в сучасних умовах недостатньо досліджене. Відсутність відповідних адекватних методів багатокритеріального прийняття рішень не дозволяє приймати обґрунтовані проєктні рішення під час їх розбудови, крім того, не дозволяє ефективно їх експлуатувати [10–13].

Таким чином, актуальну задачу оптимізації функціонування ВДЕ в локальних електричних систе-

мах і критерії оптимальності можна розглядати у двох аспектах: як задачу проектування для визначення оптимальної встановленої потужності, так і експлуатаційну задачу – для оптимізації добових режимів генерування.

Критерії оптимізації можна виділити для обох із процесів експлуатації та проектування електричної мережі (ЕМ) з ВДЕ (рис. 2). При цьому вони можуть бути спільними як для проектування, так і для експлуатації.

Попередній аналіз дозволив систематизувати завдання щодо керування енергосистемою з ВДЕ. При впровадженні ВДЕ в енергосистему необхідно приймати оптимальні рішення на окремих стадіях, вирішувати окремі задачі. Розв'язання цих задач ускладнюється проблемою невизначеності у двох аспектах: невизначеність вхідної інформації й багатокритеріальність.

У формальному вигляді задача прийняття рішень (ТДМ) на кожному етапі характеризується кортежем

$$TDM = \langle A, E, S, T \rangle, \quad (1)$$

де A – множина альтернатив; E – середовище задачі; S – система переваг особи, що приймає рішення (ОПР); T – дії над множиною альтернатив.

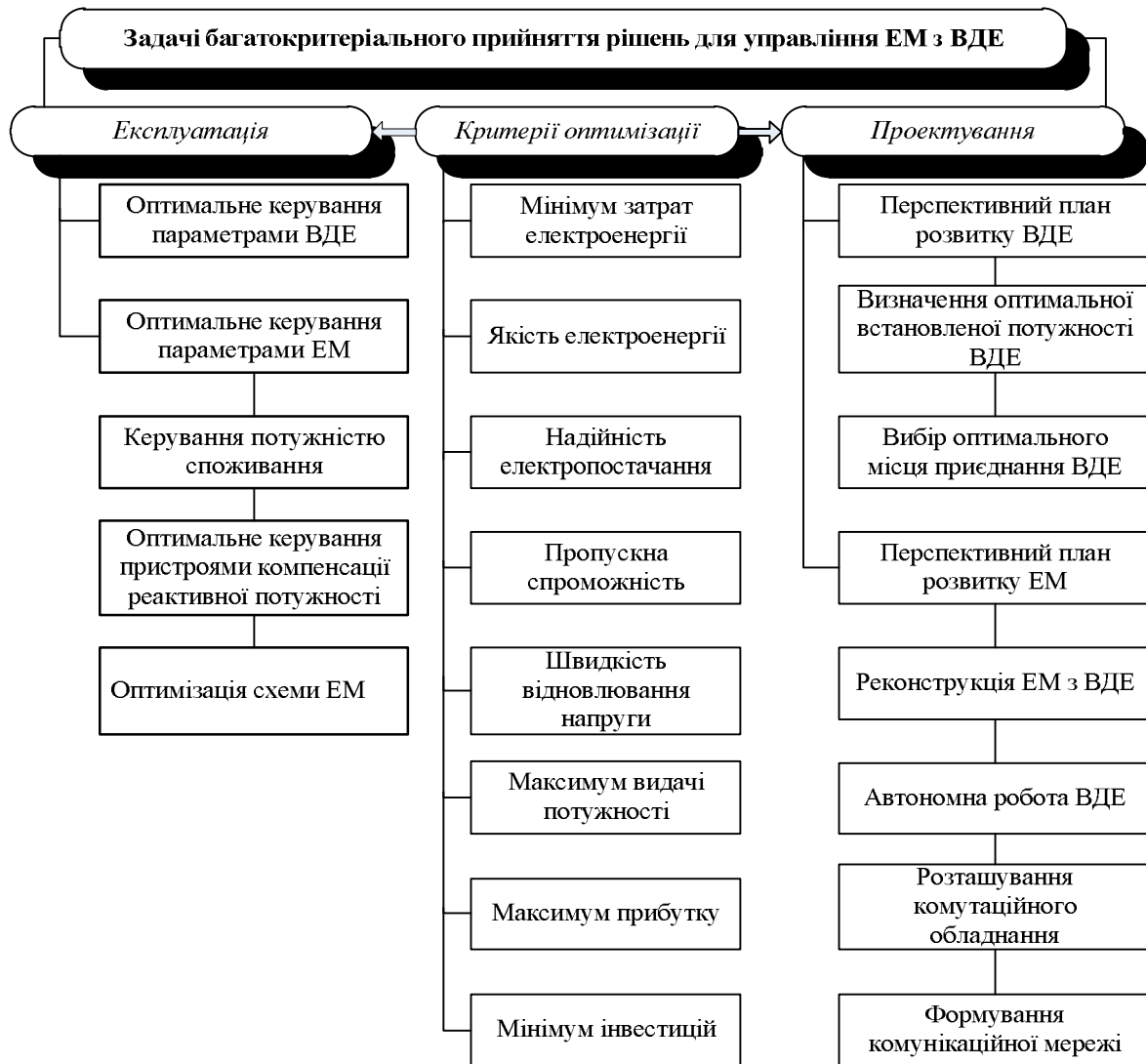


Рисунок 2 – Критерії оптимальності

Проведений аналіз і дослідження показали, що відношення переваги при порівнянні альтернатив традиційно будується на основі функцій цілі, якими є техніко-економічні показники ефективності кожного з процесів. На кожній із стадій можна виділити різні техніко-економічні показники ефективності, тобто критерії вибору альтернатив (рис. 3).

Для економічного обґрунтування доцільності необхідно вирішити задачу оптимізації в наступній постановці:

$$\int_{t_0}^{t_k} c(t) \sum_{i=1}^n P_i(t) dt \rightarrow \max, \quad (2)$$

де $[t_0; t_k]$ – інтервал часу, година; $P(t)$ – продуктивність джерела енергії залежно від часу; Вт; $c(t)$ – багатоступеневий тариф енергоринку залежно від часу, грошові одиниці.

Для сонячних панелей продуктивність можна ви-

значити залежністю

$$P_{vt}(t) = npvAGtilt(t), \quad (3)$$

де A – квадратна площа освітлювальної поверхні, m^2 ; npv – технічні параметри конкретної панелі; $Gilt(t)$ – щогодинний приток сонячної радіації на нахиленій поверхні, Лк; t – час розрахунку, година.

Для вітряних генераторів продуктивність можна визначити залежністю

$$P_w(t) = 0,5\rho AC_p(\lambda)V_w(t)^3, \quad (4)$$

де t – час розрахунку, година; ρ – щільність повітря, kg/m^3 ; A – квадратна площа робочої поверхні ротора, m^2 ; $C_p(\lambda)$ – коефіцієнт ефективності потужності вибору вітру, який залежить від конструктивних особливостей вітрової турбіни та її швидкості λ , м/с, та швидкість вітру $V_w(t)$, м/с.

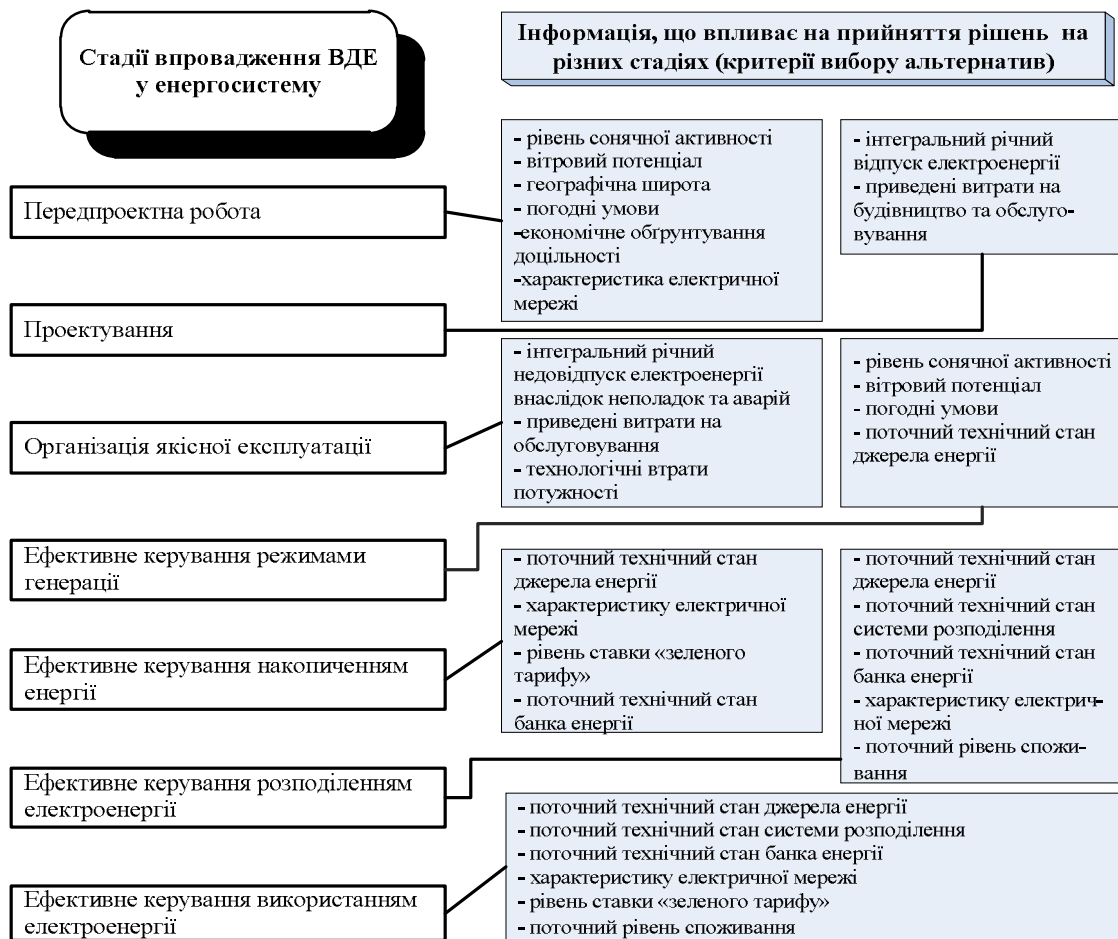


Рисунок 3 – Стадії впровадження ВДЕ в енергосистему й критерії вибору альтернатив, що впливають на прийняття рішення

Здебільше математичні моделі оцінки більшості техніко-економічних показників детерміновані (тобто залежать від часу) та спрощені. Вони рідко стохастичні, але розрахунки на їх основі зводяться до детермінованих операцій над математичними очікуваннями параметрів, оскільки показники носять інтегральний характер і тому слабо пов'язані з поточною випадковістю появи подій.

Слід також відмітити, що на різних стадіях техніко-економічні показники пов'язані між собою й впливають на різні процеси в різних випадках. Тому необхідно розглядати доцільність застосування теорії нечітких множин при розкритті невизначеності вихідних даних для розрахунку функцій цілі. Такий спосіб надання функцій цілі дозволяє зробити модель у певному сенсі більш адекватною реальності й придатною для формування нечіткого відношення переваги.

Також необхідно визначити, який саме критерій (частковий, адитивний, мультиплікативний, максимумний чи мінімумний) слід використовувати для оптимізації.

Аналіз застосування таких методів показав, що на передпроектних стадіях створення СК генерації-

єю, споживанням, накопиченням і розподілом енергії в енергосистемах з ВДЕ в умовах невизначеності слід віддати перевагу методам багатокритеріальної оптимізації з пошуком множини альтернатив, що не домінуються, яка дає можливість обґрунтовано приймати рішення компетентними особами із залученням неформалізованих процедур і критеріїв [14].

Вибір конкретного методу (детермінованого, нечіткого або методу з елементами штучного інтелекту) залежить від складності структури об'єкту керування. Наразі процес прийняття рішень ускладнює чинник суб'єктивної точки зору, який є наслідком дефіциту науково-обґрунтованих рекомендацій і методик, що знижує ефективність рішень.

ВИСНОВКИ. Введення в енергетичну мережу ВДЕ є перспективним та екологічним. Але при цьому виникає низка проблем, що впливають на ефективне керування процесом проектування, імплементації й експлуатації енергетичної мережі з ВДЕ. Процеси проектування, імплементації та ефективного керування, прийняття оптимальних рішень при експлуатації складається з декількох етапів. При цьому на кожному етапі необхідно забезпечувати ефективне й оптимальне прийняття керуючих рі-

шень в умовах невизначеності та неповноти вхідної інформації. На підставі проведеного аналізу стану вирішення проблеми підтримки прийняття рішень щодо оптимального керування в енергосистемах із відновлювальними джерелами енергії в умовах невизначеності вхідної інформації та багатокритеріальності сформульовано напрямки її розв'язання. Визначено, що перспективу має розкриття невизначеності вихідної інформації при розробці залежностей для техніко-економічних показників ефективності кожного з процесів із застосуванням теорії нечітких множин. Також обґрунтовано необхідність обрати метод багатокритеріальної оптимізації й побудувати на його основі процес підтримки прийняття оптимальних рішень при керуванні генерацією, споживанням, накопиченням та розподілом енергії при проектуванні, імплементації та експлуатації ВДЕ в енергомережі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shendryk V., Shulyma O., Parfenenko Y. The Topicality and the Peculiarities of the Renewable Energy Sources Integration into the Ukrainian Power Grids and the Heating System / V. González-Prida, A. Raman (Eds.) // *Promoting Sustainable Practices through Energy Engineering and Asset Management*. – 2015. – PP. 162–192.
2. Tiba C., Candeias A.L.B., Fraidenraich N. et al. A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil // *Renewable Energy*. – 2010. – Iss. 35 (12). – PP. 2921–2932.
3. Lazarou S., Oikonomou D.S., Ekonomou L. A platform for Planning and Evaluating Distributed Generation connected to the Hellenic Electric Distribution Grid // *Advances in Circuits, Systems, Automation and Mechanics*. – 2012. – PP. 80–86.
4. Lejeune P., Feltz C. Development of a Decision Support System for setting up a wind energy policy across the Walloon Region (southern Belgium) // *Renewable Energy*. – 2008. – Iss. 33 (11). – PP. 2416–2422.
5. Dagdougui H., Minciardi R., Ouammi A. et al. A dynamic optimization model for smart micro-grid: integration of a mix of renewable resources for a green building // *Proceedings of the 2010 International Congress on Environmental Modelling and Software*. – Canada: Ottawa, 2010.
6. Muslih I., Abdellatif Y. Hybrid Micro-Power Energy Station; Design and Optimization by Using HOMER // *Proceedings of The 2011 International Conference on Modeling, Simulation and Visualization Methods*. – USA: Pittsburgh, 2011.
7. Ramirez-Rosado I., Garcia-Garrido E., Fernandez-Jimenez L. Promotion of new wind farms based on a decision support system // *Renewable Energy*. – 2008. – Iss. 33 (4). – PP. 558–566.
8. Mültin M., Allerding F., Schmeck H. Integration of electric vehicles in smart homes – an ICT-based solution for V2G scenarios // *Proceedings of the 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*. – 2012.
9. Ackermann T., Andersson G., Söder L. Distributed generation: a definition // *Electric Power Systems Research*. – 2001. – Iss. 57 (3). – PP. 195–204.
10. Sharat R. Decentralised power generation and distribution // *Proceedings of the Himalayan Small Hydropower Summit*. – India: Dehradun, 2006. – PP. 147–155.
11. Taro Kondo, Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama. Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generations using facts devices // *IEEE Transactions on Power and Energy*. – 2006. – Iss. 126 (3). – PP. 347–358.
12. Mahdad B., Srairi K., Bouktir T. Optimal coordination and penetration of distributed generation with shunt facts using ga/fuzzy rules // *Journal of Electrical Engineering and Technology*. – 2009. – Iss. 4 (1). – PP. 1–12.
13. Hatta H., Uemura S., Kobayashi H. Cooperative control of distribution system with customer equipments to reduce reverse power flow from distributed generation // *Proceedings of IEEE Power and Energy Society General Meeting*. – 2010. – PP. 1–6.
14. Тимчук С.А., Черемисин Н.М. Совершенствование методологии поиска рациональных решений в условиях многокритериальности и неопределенности исходной информации на примере системы электроснабжения // *Енергетика та електрифікація*. – 2013. – Вип. 4. – С. 53–60.

THE ADOPTION OF OPTIMAL SOLUTIONS AT THE MANAGEMENT OF HYBRID ELECTRIC GRIDS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

S. Tymchuk

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture
vul. Engelsa, 19, Kharkiv, 61052, Ukraine. E-mail: stym@i.ua

V. Shendryk, S. Shendryk, O. Shulyma

Sumy State University

vul. Rymkogo-Korsakova, 2, Sumy, 40007, Ukraine. E-mail: ve-shen@opm.sumdu.edu.ua, sergshen@gmail.com

Purpose. Successful implementation and operation of renewable energy sources in electricity grid is impossible without effective control. In this case, the control process consists of several interrelated stages, in each of which is necessary to make the best decisions. Decision-making is complicated by uncertainty and incompleteness of information. The aim of this paper is to analyze the problem of decision support for optimal management of generation, consumption, accumulation and distribution of energy in power systems with renewable energy sources. **Methodology.** We have applied the method of mathematical modelling for formation of Task Decision-making and have identified of main criteria for searching optimal solution. **Results.** In this paper is conducted classification the stages of the decision-

making process, is identified the criteria for evaluating the effectiveness of solutions and is offered methodology for finding optimal solutions. This allows define optimal criteria of technical and economic indicators in conditions uncertainty and incompleteness of information. **Originality.** For the first time, we have carried out the integrated research of analyze the problem of decision support for optimal management of generation, consumption, accumulation and distribution of energy in power systems with renewable energy sources. **Practical value.** Analysis of the use of such methods showed that on the pre-stages organization of control system of generation, consumption, accumulation and distribution of energy in power from renewables in the face of uncertainty should be preferred methods of multi-criteria optimization of finding the set of alternatives that do not determined that enables substantiated decisions by competent persons involving informal procedures and criteria. References 14, figures 3.

Key words: renewable energy sources, control system, decision support system.

REFERENCES

1. Shendryk, V., Shulyma, O. and Parfenenko, Y. (2015), The Topicality and the Peculiarities of the Renewable Energy Sources Integration into the Ukrainian Power Grids and the Heating System, in V. González-Prida and A. Raman (Eds.), *Promoting Sustainable Practices through Energy Engineering and Asset Management*, pp. 162–192.
2. Tiba, C., Candeias, A.L.B. and Fraidraich, N. (2010), A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil, *Renewable Energy*, Vol. 35, no. 12, pp. 2921–2932.
3. Lazarou, S., Oikonomou, D.S. and Ekonomou, L. (2012), A platform for Planning and Evaluating Distributed Generation connected to the Hellenic Electric Distribution Grid, *Advances in Circuits, Systems, Automation and Mechanics*, pp. 80–86.
4. Lejeune, P. and Feltz, C. (2008), Development of a Decision Support System for setting up a wind energy policy across the Walloon Region (southern Belgium), *Renewable Energy*, Vol. 33, no. 11, pp. 2416–2422.
5. Dagdougui, H., Minciardi, R. and Ouammi, A. (2010), A dynamic optimization model for smart micro-grid: integration of a mix of renewable resources for a green building, *Proceedings of the 2010 International Congress on Environmental Modelling and Software*, Ottawa, Canada.
6. Muslih, I.M. and Abdellatif, Y. (2011), Hybrid Micro-Power Energy Station; Design and Optimization by Using HOMER, *Proceedings of The 2011 International Conference on Modeling, Simulation and Visualization Methods*, Pittsburgh, USA.
7. Ramirez-Rosado, I., Garcia-Garrido, E. and Fernandez-Jimenez, L. (2008), Promotion of new wind farms based on a decision support system, *Renewable Energy*, Vol. 33, no. 4, pp. 558–566.
8. Mültin, M., Allerdig, F., Schmeck, H. et al. (2012), Integration of electric vehicles in smart homes - an ICT-based solution for V2G scenarios, *Proceedings of the 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*.
9. Ackermann, T., Andersson, G. and Söder, L. (2001), Distributed generation: a definition, *Electric Power Systems Research*, Vol. 57, no. 3, pp. 195–204.
10. Sharat, R. (2006), Decentralised power generation and distribution, *Proceedings of the Himalayan Small Hydropower Summit*, Dehradun, India, pp. 147–155.
11. Taro Kondo, Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama, (2006), Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generations using facts devices, *IEEE Transactions on Power and Energy*, Vol. 126, no. 3, pp. 347–358.
12. Mahdad, B., Srairi, K. and Bouktir, T. (2009), Optimal coordination and penetration of distributed generation with shunt facts using ga/fuzzy rules, *Journal of Electrical Engineering and Technology*, Vol. 4, no. 1, pp. 1–12.
13. Hatta, H., Uemura, S. and Kobayashi, H. (2010), Cooperative control of distribution system with customer equipments to reduce reverse power flow from distributed generation, *Proceedings of IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1–6.
14. Tymchuk, S.A. and Cheremisin, N.M. (2013), “Perfecting of methodologies search rational decisions in conditions of multicriteria and uncertainty of initial information on the example of the power supply system”, *Energy and Electrification*, Vol. 4, pp. 53–60. (in Russian)

Стаття надійшла 17.05.2016.