

Вакуленко І.А.асистент кафедри управління,
Сумський державний університет**Vakulenko Igor**

Sumy State University

ОКРЕМІ ПИТАННЯ РОЗБУДОВИ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ: СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ DOE¹

У статті розглянуто питання методичного забезпечення аналізу проєктів розгортання розумних енергетичних мереж задля визначення пріоритетних до реалізації проєктів, що володіють найбільшим потенціалом. Задля цього досліджено доцільність та можливість застосування системи оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE (DOE's Smart Grid Development Evaluation System). Визначено аналітичний інструментарій цього підходу, зокрема структурно-логічні елементи методичного комплексу. Зокрема, ідентифіковано шість параметрів оцінювання (характеристик енергомережі), що одночасно обґрунтовують переваги розумної енергетичної мережі перед традиційною, а також описано згруповану у 4 блоки показників систему, що дає змогу отримати порівнювані кількісно виражені результати проєктів розбудови розумних енергетичних мереж. Визначено переваги використання системи оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE як для оцінювання окремих проєктів, так і для оцінювання комбінації об'єднаних у єдину систему проєктів.

Ключові слова: енергетика, енергомережі, розумні технології, оцінювання, методика.

Постановка проблеми. Розгортання розумних енергетичних мереж як інструменту модернізації енергетичної системи потребує інструменту відбору найбільш перспективних проєктів, що вимагає наявності ґрунтовної методики, на основі застосування якої буде можливим проведення цього відбору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання оцінювання ефективності розумних енергетичних мереж досліджувалися в роботах зарубіжних учених, таких як Ю. Ксіабао, Т. Жонгфу, Ч. Кангтінг, Дж. Лівей, Х. Пую [1], Дж. Лі, Т. Лі, Л. Хан [2], зокрема, щодо методологій, які застосовуються для оцінювання розумних енергетичних мереж. У працях вітчизняних науковців існує суттєвий дефіцит досліджень з цієї тематики. Переважають технічні аналітичні матеріали, наприклад, щодо оцінювання та моделювання розумних енергомереж С.Ю. Коротунова, Г.В. Табунщика та К. Вольфа [3].

Формулювання цілей статті. Мета статті полягає в дослідженні ефективності застосування системи оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE (DOE's Smart Grid Development Evaluation System) для визначення пріоритетних проєктів розбудови енергетичних смарт-мереж.

Виклад основного матеріалу. Енергетика України є однією з причин низької конкурентоспромож-

ності національної економіки загалом та продукції окремих галузей зокрема. Показники енергоемності ВВП України, що значно переважають аналогічні показники розвинених країн, не дають змогу розраховувати на стрімке підвищення конкурентоспроможності продукції, виробленої в Україні, та, відповідно, експансію вітчизняних виробників на європейський та світовий ринки.

Проблема енергетичного сектору добре відома. З 90-х років минулого століття програми дій уряду, цільові державні та регіональні програми було спрямовано на покращення показників функціонування як енергогенеруючих підприємств, так і цілого енергетичного комплексу загалом. Проте суттєвих успіхів досягнути не вдалося, що пояснюється багатьма причинами, зокрема обмеженістю ресурсів, що могли бути спрямовані урядом та органами місцевої влади для зміни ситуації в енергетичному секторі. На фоні обмежених інвестицій у галузь, розмір яких не є співставним з потребами, це є суттєвим обмежувальним фактором модернізації енергетики країни. Однак аналіз ситуації у тривалій перспективі дає змогу виявити ще один згубний фактор у державній підтримці енергетичного сектору національної економіки України, а саме відсутність єдиного вектору реформ.

Різновекторність модернізації енергетики в Україні спричинила зниження ефективності реформ через відсутність системності та, відповідно, синергетичного ефекту між окремими напрямками або групами вжитих заходів.

¹ Виконано в рамках науково-дослідної теми № 0119U100766 «Оптимізаційна модель розбудови розумних та безпечних енергетичних мереж: інноваційні технології екологізації підприємств та регіонів»

Питання модернізації енергетичного сектору України потребує вирішення завдань у таких трьох напрямках:

- зміна галузевої структури національного господарства;
- модернізація наявних виробництв задля підвищення техніко-технологічних показників виробництва;
- здійснення системних реформ, таких як зміна умов функціонування енергоринку.

Розбудова розумних енергомереж передбачає вжиття заходів у трьох вищеназваних напрямках для оновлення енергетичної системи та надання їй якісно нових характеристик. Схематичне зображення сучасної енергомережі із застосуванням Smart Grid показано на рис. 1. Концепція Smart Grid (розумних енергомереж) є безальтернативним напрямом розвитку енергетичної системи ЄС та низки провідних країн світу, адже дає змогу використовувати нові технологічні можливості енергогенерації, енергорозподілу й транспортування, а також більш повно задовольняти потреби споживачів.

Технологічні обмеження є головним стримувальним фактором для масштабного розгортання енергетичних смарт-мереж. Однак базові заходи, що формують основу реалізації майбутніх комплексних та системних проєктів у сфері розумних енергетичних технологій, уже реалізовані в багатьох країнах світу. Зміст таких заходів варіюється залежно від вибраної стратегічної моделі модернізації енергосистеми на основі використання розумних енергетичних технологій.

Незалежно від стратегічної моделі розгортання розумних енергомереж, їх системна розбудова задля трансформації енергетичного сектору має відбуватися на основі використання ефективних рішень, що

сформулюють можливості для майбутнього розширення смарт-мережі та оптимізації економічної, енергетичної та екологічної ефективності їх застосування, що потребує системи оцінювання їхньої ефективності як інструменту для відбору найефективніших проєктів, що мають бути реалізовані, або їх ранжування.

Однією з найбільш відомих у світі методик оцінювання розумних енергомереж є система оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE (DOE's Smart Grid Development Evaluation System), яка запропонована Міністерством енергетики США (DOE), подібно до моделі IBM (Smart Grid Maturity Model), тобто системи оцінювання, яка була створена компанією IBM, Американським центром продуктивності та якості (APQC) та Глобальною федерацією розумних мереж, поєднує два підходи. По-перше, бачення розумної енергомережі, стратегічних напрямів її розвитку та бажаних кінцевих цілей. По-друге, власне, показники для оцінювання ефективності мережі.

Система оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE містить такі шість параметрів [5]:

- можливість поінформованої участі споживачів;
- використання всіх варіантів генерації та зберігання енергії;
- застосування нових продуктів, послуг та ринкових можливостей;
- забезпечення відповідної якості енергії залежно від потреб;
- оптимізація використання ресурсів та операційна ефективність;
- забезпечення стійкості мережі до надзвичайних ситуацій чи умов експлуатації.



Рис. 1. Схема розумної енергомережі

Джерело: складено за даними джерела [4]

Характеристики мереж Smart Grid згідно з методологією Міністерства енергетики США наведено в табл. 1. Наведені характеристики розкривають відмінності між традиційною моделлю енергетичної мережі та мережі, побудованої із застосуванням концепції Smart Grid. Ці відмінності обґрунтовують необхідність побудови майбутньої енергетичної системи на основі масштабного розгортання розумних енергетичних мереж. Це пов'язане з поступовою втратою здатності задовольняти потреби споживачів належним чином у рамках традиційної моделі енергомережі.

Названі параметри оцінювання ефективності розумної енергомережі дають змогу відстежити дві ключові цілі, яких слід досягнути під час розроблення та впровадження проєктів розгортання розумних енер-

гомереж. У роботі [5] з посиланням на Міністерство енергетики США цілі визначені таким чином:

- надання споживачам послуг вищої якості та додаткових переваг шляхом залучення максимально можливої кількості споживачів до участі у впровадженні та експлуатації розумних енергомереж;
- забезпечення гнучкості енергомережі для збереження її функціональних характеристик у разі настання надзвичайних ситуацій.

Якісної характеристики мережі недостатньо, навіть якщо вона є максимально повною та відображає складну структуру поєднання техніко-технологічних, організаційних, економічних, екологічних та інших аспектів. Відповідно, для повної характеристик та реалізації принципу порівнюваності необхідно

Таблиця 1

Характеристики розумних енергомереж

Характеристика		Опис
1	Можливість поінформованої участі споживачів	Споживачі стають невід'ємною частиною електроенергетичної системи. Вони допомагають збалансувати попит та пропозицію й забезпечують надійність, змінюючи спосіб використання та придбання електроенергії. Ці зміни відбуваються внаслідок того, що споживачі мають вибір, який забезпечує різні способи купівлі та моделі поведінки споживачів. Ці варіанти включають нові технології, нову інформацію про їхнє споживання електроенергії та нові форми ціноутворення.
2	Використання всіх варіантів генерації та зберігання енергії	Розумна мережа використовує не тільки великі централізовані електростанції, але й зростаючу кількість розподілених енергоресурсів (DER). Інтеграція DER швидко зростатиме по всьому ланцюжку вартості: від постачальників до посередників та замовників. Ці розподілені ресурси будуть різноманітними та сильно поширеними, включаючи поновлювані джерела енергії, розподілену генерацію та накопичення енергії.
3	Застосування нових продуктів, послуг та ринкових можливостей	Правильно розроблені та оперовані ринки ефективно виявляють витрати та вигоди споживачів, створюючи конкурентні альтернативи, які доступні до використання. Розумна енергомережа враховує всю основну динаміку співвідношення ціни та вартості. Деякі незалежні енергомережі є гнучкими за такими параметрами, як енергія, потужність, розташування, час, швидкість передачі та якість. Ринки можуть відігравати головну роль в управлінні цими змінними. Регулятори, власники/оператори та споживачі потребують гнучкості для зміни правил бізнесу відповідно до операційних та ринкових умов.
4	Забезпечення відповідної якості енергії залежно від потреб	Не всі комерційні підприємства і, звичайно, не всі побутові споживачі потребують однакової якості електроенергії. Розумна енергомережа забезпечує різну потужність та якісні характеристики електроенергії, відповідно, різні ціни. Вартість функцій преміум-якості (PQ) може бути включена в договір на електрообслуговування. Вдосконалені методи управління відстежують важливі компоненти, даючи змогу здійснювати швидку діагностику, а також забезпечують необхідні характеристики PQ, зокрема захист від блискавки, перепадів напруги, несправностей ліній передач. Розумна енергомережа також допомагає захистити електричну систему від розбалансованості, спричиненої навантаженнями на мережу, спричиненими споживачами.
5	Оптимізація використання ресурсів та операційна ефективність	Розумна енергомережа застосовує новітні технології для оптимізації використання своїх ресурсів. Наприклад, оптимізована потужність може бути досягнута за допомогою динамічних потужностей. Ефективність обслуговування передбачає надійний стан обладнання, або «оптимізований стан». Такого стану можна досягти за умови технічного обслуговування, що сигналізує про настання часу періодичного ремонту чи превентивних дій для підтримання обладнання у функціональному стані. Пристрої керування системою можна використовувати для зменшення втрат та запобігання перевантаженням. Ефективність функціонування підвищується під час вибору системи найменшої вартості подачі енергії.
6	Забезпечення стійкості мережі до надзвичайних ситуацій чи умов експлуатації	Гнучкість стосується здатності системи реагувати на події таким чином, щоб усунути проблемні елементи, тоді як решта системи відновлюється до нормальної роботи. Ці самовідновлювані дії приводять до зменшення переривання обслуговування споживачів і допомагають постачальникам послуг краще керувати транспортною та розподільчою інфраструктурою. Розумна енергомережа стійко реагує на штучні та природні загрози. Ці загрози включають фізичні атаки та кібератаки. Розумна енергомережа від самого початку розглядає безпеку як вимогу до всіх елементів і забезпечує інтегрований та збалансований підхід у всій системі.

Джерело: складено за даними джерела [7]

використовувати математичний апарат у межах аналітично-розрахункового інструментарію методики оцінювання розумної енергомережі. Система оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE передбачає чітко структурований набір вимірюваних показників, які забезпечують кількісне оцінювання окремих параметрів та функціональних областей розумної енергомережі, формуючи базу для повної кількісно-якісної підсумкової оцінки, яка дасть змогу оцінити ефективність реалізації окремих смарт-проектів в енергетичному секторі та здійснити відбір найбільш ефективних з них.

Виходячи з шести характеристик інтелектуальної мережі, Міністерство енергетики США пропонує систему оцінювання, яка складається з показників, розподілених на чотири групи (табл. 2).

Система оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE, попри поділ показників на чотири групи, формує систему показників, які умовно можна поділити на два змістовні блоки, такі як показники створення енергомережі (технічні показники) та вартісні показники.

Технічні показники характеризують властивості розумної енергомережі, які якісно відображають ступінь її розвитку та прогрес розгортання (будівництва). Вартісні показники кількісно описують результати, яких має бути досягнуто в результаті функціонування розумної енергомережі.

Суттєвою перевагою використання цієї оціночної моделі є отримання результатів у формі кількісної оцінки, що зручно для аналізу ефективності будівництва та експлуатації розумної енергомережі.

Окрім вищезазначеного, система оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE дає змогу провести

аналіз ефективності мережі в контексті взаємодії стейкхолдерів. Недостатність аналізу потенційних проектів за цим напрямом може згубно вплинути на результати впровадження проекту як на етапі його розроблення, так і в подальшому.

Розбіжності цілей або наявність комунікаційних розривів та бар'єрів мають бути проаналізовані до початку реалізації конкретного проекту, що значно підвищить ймовірність досягнення ним запланованих показників. Взаємодія учасників енергетичного ринку згідно з концепцією Smart Grid у спрощеному вигляді показано на рис. 2.

Висновки. Система оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE, запропонована Міністерством енергетики Сполучених Штатів Америки, є ґрунтовним підходом до якісного та кількісного оцінювання розумної енергомережі.

Розподіл показників, які застосовуються у цій моделі, на змістовні групи дає змогу комплексно оцінити розумну енергомережу за різними параметрами шляхом охоплення всіх ключових аспектів її формування (проектування та будівництва) та експлуатації. Таким чином, методика поєднує технічні та економічні параметри розумної енергомережі в рамках єдиної системи оцінювання. Застосування системи оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE значно розширює аналітичний апарат для визначення ефективності розумних енергомереж, адже дає змогу уникнути звуження цього аналізу до типової схеми оцінювання інвестиційного проекту.

Ця методика придатна для аналізу як окремих проектів розбудови розумних енергомереж, так і сукупності проектів, що утворюють локальну чи глобальну смарт-мережу.

Таблиця 2

Система оцінювання розвитку розумної енергомережі DOE

Група показників	Показники	Група показників	Показники
Регіональні та національні особливості (режими координування)	динамічне ціноутворення	Інформаційні мережі та фінанси	комп'ютерна безпека
	оперативний обмін даними в режимі реального часу		відкрита архітектура/стандарти
	політика (правила) розподілу енергії		венчурні інвестиції
	прогрес у сфері енергетичної політики та регулювання		
Технологія розподілених енергоресурсів	ресурси, необхідні для експлуатації енергетичної системи	Транспортна та розподільча інфраструктура	надійність системи транспортування та розподілу енергії
	обслуговування мікромережі		передові системи вимірювання
	залучення розподіленої енергогенерації (включаючи відновлювані та невідновлювані джерела)		ефективність виробництва, транспортування та розподілу енергії
	гібридні та електричні транспортні засоби		коефіцієнти потужності
	відповідність немережевого обладнання для енергогенерації		автоматизація
		динамічна потужність мережі	якість електроенергії

Джерело: складено за даними джерела [5]

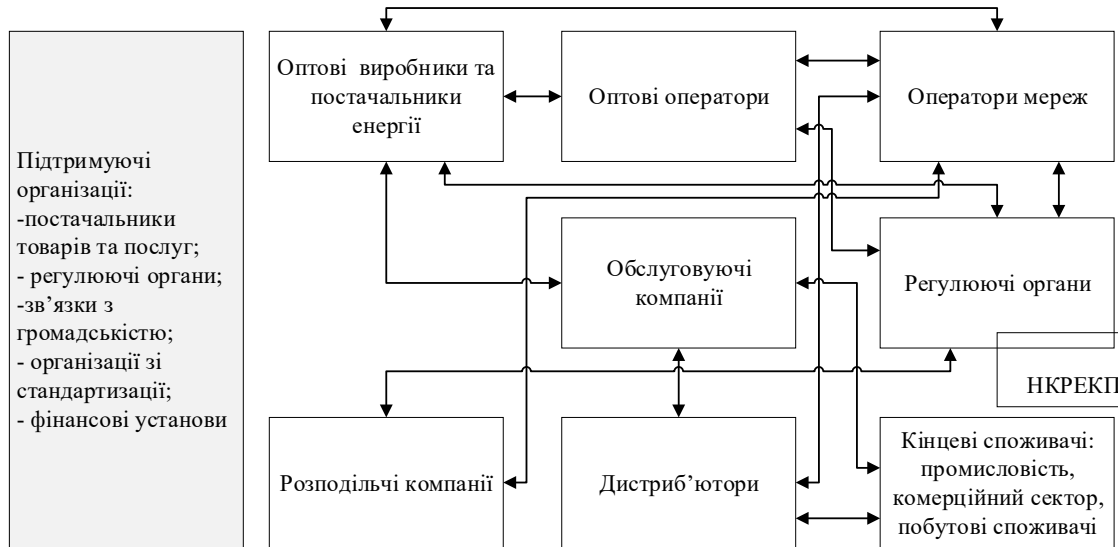


Рис. 2. Схема взаємодії учасників енергетичного ринку

Джерело: складено за даними джерела [6]

Список літератури:

1. Efficiency Evaluation for Smart Grid Management Based on Stochastic Frontier Model and Data Envelope Analyses Model / Y. Xiaobao, T. Zhongfu, Ch. Kangting, J. Liwei, H. Puyu. URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2015/142764> (дата звернення: 10.03.2020).
2. Li J., Li T., Han L. Research on the Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand. URL: https://www.researchgate.net/publication/328751473_Research_on_the_Evaluation_Model_of_a_Smart_Grid_Development_Level_Based_on_Differentiation_of_Development_Demand (дата звернення: 10.03.2020).
3. Коротунов С.Ю., Табунщик Г.В., Вольфф К. Аналіз існуючих архітектур та методів моделювання кіберфізичних систем для розумних енергомереж. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2018_27_23 (дата звернення: 10.03.2020).
4. Smart Grid. URL: <https://moxa.ru/smart-grid> (дата звернення: 10.03.2020).
5. Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems / Q. Sun, X. Ge, L. Liu, X. Xu, Y. Zhang, R. Niu, Y. Zeng. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211018571> (дата звернення: 10.03.2020).
6. Smart Grid System Report. U.S. Department of Energy. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2009%20Smart%20Grid%20System%20Report.pdf> (дата звернення: 10.03.2020).

References:

1. Xiaobao Yu, Zhongfu Tan, Kangting Chen, Liwei Ju and Puyu He. Efficiency Evaluation for Smart Grid Management Based on Stochastic Frontier Model and Data Envelope Analyses Model. Available at: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2015/142764> (accessed: 10.03.2020).
2. Jinchao Li, Tianzhi Li, Liu Han. Research on the Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand. Available at: https://www.researchgate.net/publication/328751473_Research_on_the_Evaluation_Model_of_a_Smart_Grid_Development_Level_Based_on_Differentiation_of_Development_Demand (accessed: 10.03.2020).
3. Korotunov S., Tabunshchik G., Wolff C. Analiz isnuuychkh arkhitektur ta metodiv modeliuvannia kiberfizychnykh system dlia rozumnykh enerhomerezh [Analysis of the existing architectures and modeling methods of the cyber-physical systems for smart grids]. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2018_27_23 (accessed: 10.03.2020) (in Ukrainian).
4. Smart Grid. Available at: <https://moxa.ru/smart-grid> (accessed: 10.03.2020).
5. Qiang Sun, Xubo Ge, Lin Liu, Xin Xu, Yibin Zhang, Ruixin Niu, Yuan Zeng. Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211018571> (accessed: 10.03.2020).
6. Smart Grid System Report. U.S. Department of Energy. Available at: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2009%20Smart%20Grid%20System%20Report.pdf> (accessed: 10.03.2020).

ОТДЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ УМНЫХ ЭНЕРГОСЕТЕЙ: СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ DOE

В статье рассмотрены вопросы методического обеспечения анализа проектов развертывания разумных энергетических сетей с целью определения приоритетных к реализации проектов, обладающих наибольшим потенциалом. С этой целью исследованы целесообразность и возможность применения системы оценивания развития разумной энергосети DOE (DOE's Smart Grid Development Evaluation System). Определен аналитический инструментарий этого подхода, в частности структурно-логические элементы методического комплекса. В частности, идентифицированы шесть параметров оценивания (характеристик энергосети), одновременно обосновывающих преимущества умной энергетической сети перед традиционной, а также описана сгруппированная в 4 блока показателей система, позволяющая получить сравнимые количественно выраженные результаты проектов развития умных энергетических сетей. Определены преимущества использования системы оценивания развития умной энергосети DOE как для оценивания отдельных проектов, так и для оценивания комбинации объединенных в единую систему проектов.

Ключевые слова: энергетика, энергосети, умные технологии, оценивание, методика.

ISSUES CONSTRUCTION OF SMART ENERGY NETWORKS: DOE'S SMART GRID DEVELOPMENT EVALUATION SYSTEM

The article deals with the methodological support for the analysis of smart energy grid deployment projects in order to identify priority projects with the highest potential. To this end, the feasibility of using the DOE's (U.S. Department of Energy) Smart Grid Development Evaluation System has been investigated. The analytical tools of this approach, in particular the structural and logical elements of the methodological complex, are defined. In particular, six assessment parameters (power grid characteristics) have been identified: the possibility of informed consumer participation; use of all energy generation and storage options; use of new products, services and market opportunities; providing the required energy quality depending on the consumer's needs; optimizing resource utilization and operational efficiency; ensuring network stability. The estimation of a smart grid on these parameters at the same time substantiates its advantages over the traditional energy network. The described grouping of indicators of the evaluation system into 4 blocks allows obtaining comparable quantified results of projects for the development of smart energy networks. The analyzed evaluation system allows us to trace the two key objectives to be achieved in the design and implementation of smart grid deployment projects: providing consumers with higher quality services and additional benefits by engaging as many consumers as possible to participate in the deployment and operation of smart grids; providing power grid flexibility to preserve its functional characteristics in case of unforeseen or emergency situations. The advantages of using the DOE's (U.S. Department of Energy) Smart Grid Development Evaluation System, both for the evaluation of individual projects and their combinations combined into a single project system, make it possible to conclude that the use of this smart grid development assessment system significantly expands the analytical apparatus for determining the efficiency of smart grids, because it avoids narrowing this analysis to a typical investment project appraisal scheme.

Key words: energy, power grids, smart technologies, evaluation, methodology.