

Ефективність розумних енергомереж: китайський підхід

І. А. ВАКУЛЕНКО^і

У роботі розглянуто питання оцінювання ефективності проектів у сфері розумних енергомереж, що важливо для оцінювання результатів функціонування реалізованих проектів та визначення найбільш перспективних проектів, серед тих, які пропонуються до реалізації. Завдання роботи визначити та проаналізувати підходи до оцінювання розумних енергомереж, які застосовуються у Китайській Народній Республіці (КНР). З цією метою виділено два типові підходи, які набули поширення та активно використовуються в КНР. При чому один з них (Індексна система оцінки розвитку енергомережі (Grid development assessment index system) є універсальним: використовується для оцінки як наявних, так і потенційних проектів, – інший (Індикативна система оцінювання пілотних проектів розумних енергомереж (Smart grid pilot project evaluation indicator system) застосовується виключно для оцінювання пілотних проектів (проектів розумних енергомереж, що можуть бути реалізовані).

Актуальність роботи обґрунтовується необхідністю визначення найкращих світових практик оцінювання Smart Grid-проектів з огляду на перспективи розвитку розумних енергомереж в Україні, а відтак необхідність відбору найбільш ефективних проектів та визначення найбільш перспективних напрямків розвитку енергетичного сектору. Розбудова розумних енергомереж є необхідною умовою інтеграції української енергетичної системи з енергосистемою Європейського Союзу.

Географічний вибір Китайської Народної Республіки для цілей дослідження пояснюється суттєвим прогресом країни у розбудові розумної енергомережі впродовж обмеженого часового інтервалу. Початок активної діяльності у даному напрямку у КНР припадає на період, коли країни Європейського Союзу та Сполучених Штатів Америки здійснили базові реформи, необхідні для реалізації складних інфраструктурних проектів у сфері розумних енергетичних мереж.

Ключові слова: енергетика, інновації, Smart Grid, методики оцінювання.

УДК 620.92:330.341.1

JEL код: O13, Q47

Вступ. Активне розгортання розумних енергомереж у світі є безальтернативним напрямком розвитку енергетичного сектору, адже дозволяє максимально реалізувати можливості енергетичної системи, втілити в життя принцип розподіленої енергогенерації, підвищити ефективність балансування навантаження в мережі. Окрім того, застосування розумних технологій в енергомережі сприяє більш повному задоволенню потреб споживачів. Накопичений світовий досвід дає підставити стверджувати про неоднакову ефективність різних технологічних рішень. Відповідно до цього необхідно визначити оптимальні проекти (технологічні рішення), які можуть бути реалізовані у різних умовах. Додатково є потреба у комплексній методиці оцінювання вже реалізованих проектів, що забезпечить можливість їх удосконалення на етапі експлуатації та сприятиме накопиченню досвіду, підтвердженому фактичними даними, для підвищення якості розробки майбутніх проектів.

Вакуленко Ігор Анатолійович, асистент кафедри управління Навчально-наукового інституту фінансів, економіки та менеджменту імені Олега Балацького Сумського державного університету.

© І. А. Вакуленко, 2019.

<https://doi.org/10.21272/mer.2019.86.03>



Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження механізму інноваційного розвитку мали місце у роботах І. М. Сотник, Т. О. Курбатової та ін [1]. Питаннями оцінювання розумних енергомереж у безпековому аспекті займалися Д. Шепард, Дж. А. Бхатті та ін [2]. Дослідженням ефективності спеціалізованих рішень для розумних енергомереж займалися Б. Білгін та В. Гундор [3]. У працях вітчизняних вчених тематика оцінювання розумних енергомереж має переважно технічне спрямування, зокрема, такий підхід до оцінювання та моделювання розумних енергомереж використали у своєму дослідженні С. Ю. Коротунов, Г. В. Табунщик та К. Вольфф [4].

Мета статті – визначити та проаналізувати підходи до оцінювання розумних енергомереж на прикладі методичних підходів, які застосовуються у Китаї.

Результати дослідження. Наразі існують численні методики оцінювання, які можна використовувати для визначення ефективності проектів у сфері розбудови розумних енергетичних мереж. Ми виділимо два підходи, які застосовуються у КНР з метою аналізу їхньої ефективності для комплексної оцінки ефективності смарт-мереж (розумних енергомереж).

Перша методика має назву індексна система оцінки розвитку енергомережі (Grid development assessment index system). Цей підхід фокусується на здійсненні оцінювання розвитку енергомережі у таких напрямках як: економічний розвиток, зростання потужності системи, обсяги (масштаб) будівництва, – пропонуючи спосіб та модель кількісного оцінювання розумної енергомережі.

Розробка індексної системи оцінювання розвитку енергомережі формувалася раніше, ніж було чітко визначено поняття та складові розумної енергомережі, на етапі, коли відбувалися попередні дискусії про те, що має бути визначено як розумна енергомережа, які принципи мають бути закладені у її основу та яким чином відбуватиметься взаємодія елементів розумної енергомережі між собою та зовнішнім стосовно мережі середовищем.

Система індексної оцінки розвитку енергомережі містить у своєму складі кілька напрямків, за якими здійснюється оцінка. До базових факторів, які традиційно використовувалися для оцінювання енергомережі, зокрема, безпечності та економічності було додано додатково соціальні та екологічні фактори. Система індексної системи оцінювання розвитку енергомережі має структуру, показану у табл. 1.

Таблиця 1

Система індексної оцінки розвитку енергомережі [5]

Напрямки	Показники
Безпека	структурна безпека, експлуатаційна безпека, стабільність, достатність та стійкість
Економіка	переваги (вигоди) електромереж, ефективність нового будівництва та економічність побудови електромереж
Якість	якість експлуатації та побудови енергомережі, можливість економії ресурсів у енергомережі
Координація	координація ресурсів, соціальна гармонія, економічна координація, екологічна координація
Інтелектуальність	основа розумної енергомережі, здатність підтримувати технологію смарт-мережі, ефект від застосування розумних технологій

Враховуючи різноманітність та складність показників, система індексів оцінювання розвитку енергомережі на момент її розробки внесла інноваційні елементи у методику

оцінювання. Дана методика використовує багатошаровий метод змішаної оптимізаційної оцінки. Спираючись на традиційний середньозважений алгоритм та метод експертного балу, ця система запропонувала модель оцінювання, яка використовує поєднання об'єктивних та суб'єктивних значень [5].

Механізм здійснення розрахунків з використанням системи індексної оцінки розвитку енергомережі ґрунтується на розбитті усіх аспектів функціонування розумної енергомережі на такі групи: безпекову, економічну та інші підсистеми, які були зазначені в табл. 1. Необхідним для здійснення розрахунків є визначення ієрархії підсистем та застосування різних математичних та аналітичних підходів до кожної з них. Відтак економічна оцінка розвитку енергомережі використовує метод аналізу середовища функціонування (data envelopment analysis), для оцінки якості використовується метод ентропії з метою визначення вагомості індексів, метод TOPSIS використовується для обчислення результатів оцінки, коефіцієнт кореляції застосовується для обчислення взаємозалежності індексів, які використовуються у системі оцінки, для побудови інтелектуальної моделі оцінки використовується комбінація методів кількісного та якісного аналізу (АНП) [5]. Остаточну комплексну оцінку всієї енергосистеми можна отримати шляхом підсумкового всеохоплюючого аналізу зважених результатів оцінки підсистем.

Індикативна система оцінювання пілотних проектів розумних енергомереж (Smart grid pilot project evaluation indicator system) є ще однією методикою, яка застосовується у КНР для оцінювання розумних енергомереж. Спрямування даної методики є вужчим, порівняно з індексною системою оцінки розвитку енергомережі (Grid development assessment index system), адже її цільовим призначенням є оцінювання майбутніх проектів розумних енергомереж.

Система оцінювання пілотних проектів розумних енергомереж ґрунтується на розділенні проектів на три великі групи:

- інтелектуальні підстанції;
- системи автоматизації розподілу (автоматизовані розподільчі системи);
- аналітичні системи (системи збирання інформації про використання енергії) [5].

До групи заходів «інтелектуальні підстанції» належать невеликі підстанції напругою 110 кВ і вище. До групи заходів «автоматизовані розподільчі системи» відносять системи автоматизації розподілу енергії спрямовані на підвищення надійності функціонування розподільчих мереж та якості постачання енергії, а також зростання показників безпечності мереж, у т.ч. реагування на надзвичайні ситуації. До групи «аналітичні системи» належать системи, що спрямовані на збирання інформації про споживання електричної енергії та удосконалення взаємодії системи зі споживачами.

Відповідно до даної класифікації проектів у сфері розумних енергомереж системою передбачено здійснення оцінки їхньої ефективності за допомогою низки показників. На основі аналізу таких аспектів як: технічний рівень, економічні та соціальні переваги та практичність, – з'являється можливість узгодити (врегулювати), узагальнити та уніфікувати пілотні проекти розгортання розумних енергомереж.

Оцінка пілотного проекту розумної енергомережі враховує критерії SMART: Specific – особливості; Measurable – вимірюваність; Attainable – досяжність; Relevant – значимість; Trackable – контрольованість.

Система оцінювання пілотних проектів розумних енергомереж використовує поєднання методів кількісного та якісного аналізу та fuzzy-аналізу для розрахунку підсумкових значень індексів [5].

Систему показників для різних груп заходів наведено в табл. 2.

Таблиця 2
Індикативна система оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж
(на основі [5])

Показники першого рівня	Показники другого рівня	Показники третього рівня
<i>Інтелектуальні підстанції</i>		
Технологічні	Інтерактивні показники	- інформаційна стандартизація, - стандартизація конфігурації, - функціональна взаємодія
	Розширені показники	- розумне обладнання, - точність вимірювання, - простота експлуатації та обслуговування
	Показники якості	- допоміжне обладнання, - заходи оптимізації
Економічні	Показники вартості/витрат	- витрати на будівництво, експлуатацію та обслуговування
Соціальні	Показники соціального впливу	- економія земельних ресурсів, - економія матеріалів
<i>Автоматизовані розподільчі системи</i>		
Технічні	Показники безпеки	- структура мережі, - вторинне обладнання
	Показники самовідновлення	- порушення обробки (розподілу) потужності
	Показники якості	- якість електроенергії
	Інтерактивні показники	- канали передачі даних (у т.ч. Інтернет)
	Розширені показники	- охоплення обладнання, - програмне забезпечення розподільної мережі, - інтелектуальна функція
Економічні	Показники зниження витрат	- операційні та експлуатаційні витрати
	Показники підвищення ефективності	- зростання постачання енергії
	Показники економічної ефективності	- коефіцієнт економічної ефективності
Соціальні	Показники впливу на навколишнє середовище	- економія енергії, - скорочення викидів
Практичні	Показники впровадження	- рівень практичності, - система управління
<i>Аналітичні системи</i>		
Технічні	Показники безпеки	- надійність системи, - показники безпеки
	Інтерактивні показники	- канали передачі даних (у т.ч. Інтернет)
	Розширені показники	- сукупний відсоток збору, - передплачені витрати
	Показники якості	- доступність каналів, - оптимізація продуктивності, - оптимізація управління
Економічні	Показники зниження витрат	- підвищення ефективності праці та середніх інвестицій
	Показники підвищення ефективності	- зменшення втрат на лінії
	Показники економічної ефективності	- коефіцієнт економічної ефективності
Соціальні	Показники впливу на навколишнє середовище	- економія енергії, - скорочення викидів
Практичні	Показники впровадження	- рівень практичності, - система управління

За результатами порівняння системи показників, що використовуються для оцінювання різних груп проектів можна стверджувати про наявність єдиної розрахункової бази, що частково модифікується залежно від особливостей групи, до якої належить проект.

Варто зазначити, що використання даної методики може бути ускладненим, якщо класифікувати розумні технології для енергетичних мереж у інший спосіб. Зокрема, у спосіб запропонований науковцями з Університету Небраски-Лінкольна [6], де пропонується розглядати сукупність розумних технологій для енергомереж у межах шести груп:

- системи розподіленої генерації;
- системи зберігання енергії;
- електромобілі;
- мікромережі;
- розумні системи енергоменеджменту та систем енерговимірювання;
- розумні навантаження [7].

Використання шести технологічних груп для аналізу розумних технологій розширює можливості формування механізму оцінювання ефективності заходів у сфері розумних енергомереж з позицій індивідуального підходу та підвищення точності обчислень (формування підсумкової оцінки), проте створює складнощі при агрегуванні підсумкової оцінки для комплексних проектів, що одночасно поєднують заходи декількох груп.

Використання обох наведених вище методик оцінювання розумних енергетичних мереж на практиці може відбуватися шляхом використання окремих їх компонентів для формування методики під конкретні цілі або комплексний проект. Положення обох методичних підходів потребують доопрацювання та можуть бути використані як базис для формування більш повної деталізованої системи оцінювання [8].

Висновки та перспективи подальших наукових розробок. Індексна система оцінки розвитку енергомережі (Grid development assessment index system) та Індикативна система оцінювання пілотних проектів розумних енергомереж (Smart grid pilot project evaluation indicator system) придатні для здійснення комплексної оцінки проектів розумних енергомереж. У той же час використання обох систем має певні обмеження. Зокрема, Індикативна система оцінювання пілотних проектів розумних енергомереж спрямована на оцінку проектів, які передбачаються до реалізації у майбутньому, натомість, застосування Індексної системи оцінки розвитку енергомережі є більш доцільним для аналізу наявних проектів. Обидві системи частково мають спільний інструментарій для здійснення розрахунків окремих показників, таким чином вони можуть бути використані як основа для розробки більш універсальної методики оцінювання ефективності наявних та потенційних проектів розбудови розумних енергетичних мереж.

Література

1. *Методологія* формування механізму інноваційного розвитку національної економіки на основі альтернативної енергетики: звіт про НДР (остаточний) / кер. О. В. Прокопенко. – Суми: СумДУ, 2017. – 281 с.
2. *Shepard, D. P., Bhatti, J. A., Humphreys T. E., Fansler A. A.* Evaluation of Smart Grid and Civilian UAV Vulnerability to GPS Spoofing Attacks. Retrieved from <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/63231>.

3. *Bilgin, B. E., Gungor, V. C.* Performance evaluations of ZigBee in different smart grid environments. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128612000941>.
4. *Korotunov, C. Iu., Tabunshchuk, H. V., Volff, K.* Analiz isnuichykh 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]. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/etks_2018_27_23.pdf.
5. *Sun, Qiang, Xubo Ge, Liu Lin, Xu Xin, Zhang Yibin, Niu Ruixin, Zeng Yuan.* Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211018571>.
6. *Josue, Campos do Prado, Wei Qiao, Liyan Qu, Julio Agüero* The Next-Generation Retail Electricity Market in the Context of Distributed Energy Resources: Vision and Integrating Framework Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/330890414_The_Next-Generation_Retail_Electricity_Market_in_the_Context_of_Distributed_Energy_Resources_Vision_and_Integrating_Framework.
7. *Шість інновацій розподільчої мережі майбутнього.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://vsenergy.com.ua/categories-page/shist-innovacij-rozpodilchoi-merezhi-majbutnogo/>
8. *Jincho, L., Tianzhi L., Liu H.* Research on the Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/328751473_Research_on_the_Evaluation_Model_of_a_Smart_Grid_Development_Level_Based_on_Differentiation_of_Development_Demand.

Отримано 05.11.2019 р.

Эффективность разумных энергосетей: китайский подход

ИГОРЬ АНАТОЛЬЕВИЧ ВАКУЛЕНКО*

* асистент кафедри управління
Сумського державного університета,
ул. Римського-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Україна,
тел.: +380-542-687878, e-mail: vakulenko@ssu.edu.ua

В работе рассмотрены вопросы оценки эффективности проектов в сфере разумных энергосетей, что важно для оценки результатов функционирования реализованных проектов и определение наиболее перспективных проектов, среди предлагаемых к реализации. Задачи работы – определить и проанализировать подходы к оценке разумных энергосетей, которые применяются в Китайской Народной Республике (КНР). С этой целью выделено два типичных подхода, которые получили распространение и активно используются в КНР. Причем один из них (Индексная система оценки развития энергосети (Grid development assessment index system)) является универсальным: используется для оценки как существующих, так и потенциальных проектов, – другой (Индикативная система оценки пилотных проектов разумных энергосетей (Smart grid pilot project evaluation indicator system)) применяется исключительно для оценки пилотных проектов (проектов разумных энергосетей, которые могут быть реализованы).

Актуальность работы обосновывается необходимостью определения лучших мировых практик оценки Smart Grid-проектов с учетом перспективы развития разумных энергосетей в Украине, а следовательно, необходимостью отбора наиболее эффективных проектов и определение наиболее перспективных направлений развития энергетического сектора. Развитие разумных энергосетей является необходимым условием интеграции украинской энергетической системы с энергосистемой Европейского Союза.

Географический выбор Китайской Народной Республики для целей исследования объясняется существенным прогрессом страны в развитии разумных энергосетей в течение ограниченного

I. A. Вакуленко.

Ефективність розумних енергомереж: китайський підхід

временного интервала. Начало активной деятельности в данном направлении в КНР приходится на период, когда страны Европейского Союза и Соединенных Штатов Америки уже провели базовые реформы, необходимые для реализации сложных инфраструктурных проектов в сфере разумных энергетических сетей.

Ключевые слова: энергетика, инновации, Smart Grid, методики оценки.

Mechanism of Economic Regulation, 2019, No 4, 24–31

ISSN 1726–8699 (print)

Smart Grid Efficiency: a Chinese Approach

IHOR VAKULENKO*

** assistant of Department of management*

Sumy State University,

R.-Korsakova Str., 2, Sumy, 40007, Ukraine,

phone.: +380–542–687878, e-mail: vakulenko@ssu.edu.ua

Manuscript received 05 November 2019

The paper considers the issues of evaluating the efficiency of smart grid projects, which is important for evaluating the performance of implemented projects and identifying the most promising projects among those proposed for implementation. The objective of the work is to identify and analyze the approaches to the assessment of smart grids used in the People's Republic of China (PRC). For this purpose, has been allocated two typical approaches that have proliferated and are widely used in China. Moreover, one of them (Grid development assessment index system) is universal: it is used to evaluate both existing and potential projects - the other (Smart grid pilot project evaluation indicator system) is used solely to evaluate pilot projects (smart grid projects that may be implemented).

The urgency of the work is justified by the need to identify the best world practices for evaluating Smart Grid projects in view of the prospects for the development of smart grids in Ukraine, and therefore the need to select the most effective projects and identify the most promising areas of energy sector development. Building smart grids is a prerequisite for integrating the Ukrainian energy system with the European Union's energy system.

The geographical choice of the People's Republic of China for research purposes is explained by the country's significant progress in building a smart grid over a limited time interval. The beginning of active activity in this area in the PRC dates back to the period when the countries of the European Union and the United States of America implemented the basic reforms necessary for the implementation of complex infrastructure projects in the field of smart energy networks.

Keywords: energy, innovation, Smart Grid, evaluation techniques.

JEL Codes: Q51, R11, R40, C20

Tables: 2; References: 8

Language of the article: Ukrainian

References

1. Metodolohiya formuvannya mekhanizmu innovatsiynoho rozvytku natsional'noyi ekonomiky na osnovi al'ternatyvnoyi enerhetyky. (2017). sumdu.edu.ua. Retrieved from <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/67767>.
2. Shepard D. P., Bhatti J. A., Humphreys T. E., Fansler A. A. Evaluation of Smart Grid and Civilian UAV Vulnerability to GPS Spoofing Attacks. (2012). utexas.edu. Retrieved from <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/63231>.

3. Bilgin B. E., Gungor V. C. Performance evaluations of ZigBee in different smart grid environments. (2012). sciencedirect.com. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128612000941>.
4. Korotunov C. Iu., Tabunshchik H. V., Volff K. Analiz isnuichykh arkhitektur ta metodiv modelivannia kiberfizychnykh system dlia rozumnykh enerhomerezh [Analysis of the existing architectures and modeling methods of the cyber-physical systems for smart grids]. (2018). nbuv.gov.ua. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/etks_2018_27_23.pdf.
5. Sun Qiang, Xubo Ge, Liu Lin, Xu Xin, Zhang Yibin, Niu Ruixin, Zeng Yuan. Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems. (2011). sciencedirect.com. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211018571>.
6. Josue Campos do Prado, Wei Qiao, Liyan Qu, Julio Agüero The Next-Generation Retail Electricity Market in the Context of Distributed Energy Resources: Vision and Integrating Framework. (2019). researchgate.net. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/330890414_The_Next-Generation_Retail_Electricity_Market_in_the_Context_of_Distributed_Energy_Resources_Vision_and_Integrating_Framework.
7. Shist' innovatsiy rozpodil'choyi merezhi maybutn'oho. (n/d). vsenergy.com.ua Retrieved from <https://vsenergy.com.ua/categories-page/shist-innovacij-rozpodilchoi-merezhi-majbutnogo/>
8. Jinchao, L., Tianzhi L., Liu H. Research on the Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand. (2018). researchgate.net. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/328751473_Research_on_the_Evaluation_Model_of_a_Smart_Grid_Development_Level_Based_on_Differentiation_of_Development_Demand.