



MANAGEMENT

МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 338.45

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ ОЦІНЮВАННЯ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ: ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ¹

Ігор Вакуленко

Сумський державний університет, Суми, Україна

Резюме. Однією з основних тенденцій розвитку світової енергетики є розгортання розумних енергетичних мереж. Переваги, які створюються внаслідок масштабного їх використання? є очевидними та відповідають принципу максимально повного задоволення постійно зростаючих потреб споживачів, що робить курс розвитку енергетичного сектора на основі застосування розумних енергетичних мереж безальтернативним. З огляду на різноманітність потенційно придатних технологій до використання у розумних енергомережах актуальним є питання вимірювання та оцінювання ефективності наявних проектів для визначення пріоритетних напрямків подальшого розвитку даного напрямку й оцінювання ефективності, а відтак доцільності реалізації потенційних проектів у даній сфері. Наразі використовуються різні підходи до комплексного оцінювання розумних енергомереж. Проаналізовано вісім поширених підходів (систем оцінювання) з позицій повноти охоплення прямих та похідних економічних ефектів для оцінювання економічної ефективності розбудови розумних енергетичних мереж. Для проведення порівняльного аналізу систем оцінювання розумних енергомереж з позицій визначення їх економічної ефективності на основі критеріїв частоти застосування показників та їхньої значущості для охоплення ключових аспектів функціонування розумних енергомереж було виділено три напрямки оцінювання: капітальні інвестиції, оптимізація управління активами та формування бізнес-моделі, на основі яких було здійснено ранжування досліджуваних систем оцінювання. У результаті було виявлено системи оцінювання, що характеризуються комплексним підходом до врахування прямих та похідних економічних ефектів, які виникають унаслідок функціонування розумних енергетичних мереж, а також системи оцінювання, підхід яких до оцінювання економічної ефективності розумних енергомереж є обмеженим. Відповідно як результат отримано розподіл систем оцінювання залежно від охоплення визначених напрямків оцінювання економічної ефективності. Проведене дослідження може бути використано для подальшого аналізу систем оцінювання розумних енергетичних мереж з метою формування оптимального набору показників оцінювання економічної ефективності з диференціацією за цільовим призначенням процесу оцінювання.

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

https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2020.03.128

Отримано 12.05.2020

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

UDC 338.45

COMPARATIVE REVIEW OF THE SMART GRID SYSTEMS EVALUATION: THE ECONOMIC ASPECT

Ihor Vakulenko*Sumy State University, Sumy, Ukraine*

Summary. One of the major trends in the development of world power engineering is the extension of smart grids. The advantages of their large-scale use are obvious and correspond to the principle of meeting the ever-growing needs of consumers, making the energy sector development course based on smart grids as non-competitive. In terms of the variety of potentially applicable technologies for use in smart grids, the problem of measuring and evaluating the effectiveness of existing projects is important for identifying the priority areas for further development and evaluating efficiency, and therefore the usefulness of potential projects implementation in this area. At present, different approaches are being used for comprehensive evaluation of smart grids. Eight common approaches (evaluation systems) from the point of view of complete coverage of direct and derivative economic effects for evaluation the economic efficiency of smart grids development are analyzed in this paper. For comparative analysis of smart grid systems in terms of determining their economic efficiency based on the criteria of indicators application frequency and their importance for the aspects of smart grid operation, three areas of evaluation are identified: capital investment, optimization of asset management and business model creation. On their basis the ranking of the investigated evaluation systems is carried out. As a result the evaluation systems characterized by comprehensive approach for consideration the direct and derived economic effects occurring from the smart grids operation, as well as evaluation system which approach to the assessment of the smart grids economic efficiency is limited. Thus, as the result the distribution of evaluation system depending on the coverage of certain areas of cost-effectiveness assessment is obtained. The carried out investigation can be used to further analysis of the smart grid systems in order to generate the optimal set of cost-effectiveness indicators with differentiation according to the purpose of the evaluation process.

Key words: energy, smart grids, methodology, evaluation system.

https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2020.03.128

Received 12.05.2020

Постановка проблеми. Розгортання розумних енергетичних мереж як одного з ключових напрямків трансформації енергетичного сектора потребує комплексної системи оцінювання ефективності даного процесу з метою визначення досягнутих результатів від реалізованих проєктів, ідентифікації проблемних питань та розроблення заходів щодо уникнення або мінімізації небажаних результатів. У подальшому це сприятиме підвищенню якості планування розумних енергетичних мереж, їх системній інтеграції до енергетичної системи, а також буде використано для конкурентного аналізу потенційних проєктів розбудови розумних енергомереж. Наявні системи оцінювання розумних енергомереж пропонують різні підходи як за сукупністю показників та методологічними підходами, так і з концептуальної точки зору. Однак спільними є функціональні сфери, що підлягають оцінюванню, серед яких економічний аспект. Визначення економічної ефективності розбудови розумних енергетичних мереж не може бути зведено до типового процесу оцінювання ефективності інвестиційного проєкту. Використання різних систем оцінювання розумних енергетичних мереж може спричинити отримання суттєво відмінних результатів економічної ефективності. Відповідно питання отримання надійних та достовірних результатів економічного оцінювання розумних енергомереж, що враховуватимуть систему прямих та похідних економічних ефектів, є актуальним, не зважаючи на значну кількість науково-обґрунтованих комплексних систем оцінювання розумних енергомереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання оцінювання ефективності розумних енергетичних мереж у частині методологічних підходів мали місце у роботах

зарубіжних вчених Yu Xiaobao, Tan Zhongfu, Chen Kangting, Ju Liwei та He Puyu [1], Jinchao Li, Tianzhi Li та Liu Han [2]. Оцінюванням окремих складових розумних енергомереж займалися Б. Білгін та В. Гундор [3]. У працях вітчизняних науковців дане питання не є дослідженим. Фокус вітчизняних досліджень спрямований, переважно, на ідентифікацію та обґрунтування підходів до оцінювання технічних параметрів вузькоспеціалізованих техніко-технологічних рішень у даній сфері. Відповідно переважають технічні аналітичні матеріали, наприклад щодо оцінювання та моделювання розумних енергомереж (С. Ю. Коротунова, Г. В. Табунщика та К. Вольфа) [4]. Питаннями впровадження розумних енергомереж в Україні займалися такі вчені, як: Черемсін М. М., Черкашина М. М., Попадченко С. А. [5]. Перспективи використання інтелектуальних енергетичних мереж було досліджено у роботі Малогулько Ю. В. та Дячук Д. А. [6].

Метою статті є порівняльний аналіз систем оцінювання розумних енергомереж з позицій визначення їх економічної ефективності.

Постановка завдання. Відповідно до поставленої мети у статті вирішується питання дослідження підходів до визначення економічної ефективності розбудови розумних енергетичних мереж, що містяться в поширених системах оцінювання розумних енергомереж у різних регіонах світу: США, Європі та Азії. Для досягнення мети буде визначено ключові функціональні сфери, яким приділяється найбільше уваги у кожній системі оцінювання, та досліджено систему показників, за допомогою яких визначаються прямі та похідні економічні ефекти у кожній з визначених сфер.

Виклад основного матеріалу. Кількість застосовуваних методик визначення ефективності або оцінювання розумних енергомереж є досить значною. У порівняльному аналізі, здійсненому в даній роботі, використано методики або системи оцінювання, які набули значного поширення в окремих регіонах. Поняття «методика» та «система оцінювання» у даній статті вживаються як синоніми. «Система оцінювання» є буквальною перекладом оригінальних назв методичних підходів, які аналізуються. Тому як основний термін буде використовуватися саме «система оцінювання».

Для порівняльного аналізу було обрано вісім систем оцінювання, а саме: Модель зрілості смарт-мережі (IBM Smart Grid Maturity Model), Система оцінювання розвитку розумної енергомережі (DOE Smart Grid Development Evaluation System), Показники оцінювання витрат та переваг від упровадження пілотних (демонстраційних) проєктів розумних енергетичних мереж (EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators), Система оцінювання переваг розумних енергомереж ЄС (EU Smart Grid Assessment Benefits Systems), Система індексів «двох типів» («Two Type» grid index system), Індексна система оцінювання розвитку енергомережі (Grid development assessment index system), Індикативна система оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж (Smart grid pilot project evaluation indicator system) та Модель оцінювання рівня розвитку розумних енергомереж на основі диференціації попиту (Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand). Надалі буде використано загальноприйняті оригінальні назви досліджуваних систем оцінювання.

За поширенням перелічені системи оцінювання можна розділити таким чином:

- IBM Smart Grid Maturity Model, DOE Smart Grid Development Evaluation System, EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators – Сполучені Штати Америки;
- EU Smart Grid Assessment Benefits Systems – Європейський Союз;
- «Two Type» grid index system, Smart grid pilot project evaluation indicator system, Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand, Grid development assessment index system – інші регіони, переважно країни Азії, зокрема Китайська Народна Республіка.

Для цілей даної статті порівняння систем оцінювання буде здійснено не за конкретними показниками, а групами показників, які можна віднести до окремих напрямків оцінювання.

У несистематизованому вигляді найбільш згадувані напрямки/групи показників, представлені в досліджуваних системах оцінювання, можна представити у такому переліку: тарифи та регулювання, граничні ціни, нові підходи до формування ринку, оптимізація активів, портфель активів, нові підходи до управління активами, прибуток від додаткових послуг, нові послуги, ефективність трудових ресурсів, венчурні інвестиції, пілотні інвестиції, вартість нових систем, побудова бізнес-моделі, зменшення втрат, економія на матеріалах для будівництва та утримання активів.

На основі даної сукупності можна виділити три напрямки, за якими проводиться оцінювання запропонованими для дослідження системами оцінювання. Критеріями для виділення напрямків оцінювання були системність охоплення прямих та непрямих економічних ефектів, що виникають при розбудові розумних енергомереж, та частота згадування групи показників (зазвичай, під різними назвами, проте зі збереженням суті) у різних системах оцінювання.

Виділеними напрямками оцінювання економічної ефективності на основі сукупності показників систем оцінювання є: капітальні інвестиції, оптимізація управління активами та формування бізнес-моделі.

Результати порівняльного аналізу за показниками економічної ефективності розбудови розумної енергомережі наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Показники оцінювання розумної енергомережі за ступенем оцінювання показників економічної ефективності (розроблено на [7–10])

Table 1. Indicators of smart grid evaluation according to the degree of economic efficiency indicators evaluation (developed on [7–10])

IBM Smart Grid Maturity Model	DOE Smart Grid Development Evaluation System	EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators	EU Smart Grid Assessment Benefits Systems	«Two Type» grid index system	Grid development assessment index system	Smart grid pilot project evaluation indicator system	Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Капітальні інвестиції</i>							
Пілотні інвестиції для підтримки використання диференційованого ресурсного портфеля	Венчурні інвестиції	–	–	Витрати (економія) на будівництво	Економічна ефективність будівництва	Витрати на будівництво	–
Аналіз вартості нових систем	–	–	–	–	–	Підвищення ефективності праці та усереднених інвестицій	–

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Моделювання інвестиційних активів для ключових компонентів на основі SG даних (даних розумних енергомереж)	–	–	–	–	–	–	–
<i>Оптимізація управління активами</i>							
Оптимізація використання активів учасниками ланцюжка поставок	–	Зменшення втрат від скорочення відмов мережевого обладнання	Нові підходи до планування розподільчої мережі	Економія на утриманні інфраструктури	Переваги (вигоди) функціонування електромережі	Витрати на обслуговування та експлуатацію мережі	Ефективність персоналу на стадіях передавання та трансформації енергії
Оптимізаційне моделювання розширення портфеля (діяльності) для нових ресурсів чи ринків	–	–	нові підходи до управління активами	–	Можливість економії ресурсів у енергомережі	Економія матеріалів	Загальна продуктивність праці
Розроблення стратегії мобільної робочої сили	–	–	–	–	Економічна координація	Зменшення втрат на лінії (вартісне вираження)	–
Розроблення стратегії для диверсифікованого портфеля ресурсів	–	–	–	–	–	Коефіцієнт економічної ефективності	–
<i>Формування бізнес-моделі</i>							
Оптимізоване формування тарифів/регуляторна політика	–	–	нові підходи до формування ринку	–	–	–	–
Розподіленість ресурсів на локальних ринках (наприклад, місцеві граничні ціни)	–	–	–	–	–	–	–

Закінчення таблиці 1

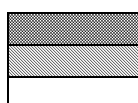
1	2	3	4	5	6	7	8
Прибуток від допоміжних послуг мережі щодо розподілу чи продажу електроенергії	–	–	–	–	–	–	–
Оцінювання впливу нових послуг та процесів постачання	–	–	–	–	–	–	–
формування бізнес-моделі на функціональному рівні	–	–	–	–	–	–	–

На основі даних таблиці 1 здійснено ранжування досліджуваних систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання параметра економічної ефективності. Критерієм визначення ступеня оцінювання параметрів даної групи є кількість відповідних показників: понад дві групи показників у межах напрямку – високий ступінь оцінювання (3 бали); одна група показників – середній ступінь оцінювання (2 бали), решта випадків – 1 бал. Для ранжування систем оцінювання розумних енергомереж прийнято припущення про рівність трьох визначених напрямів між собою. Розподіл ступеня оцінювання наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Характеристика систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання показників економічної ефективності

Table 2. Characteristics of smart grid systems evaluation according to the degree of economic efficiency indicators evaluation

Система оцінювання	Складові групи показників «економічна ефективність»		
	Капітальні інвестиції	Оптимізація управління активами	Формування бізнес-моделі
IBM Smart Grid Maturity Model			
DOE Smart Grid Development Evaluation System			
EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators			
EU Smart Grid Assessment Benefits Systems			
«Two Type» grid index system			
Grid development assessment index system			
Smart grid pilot project evaluation indicator system			
Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand			



високий ступінь оцінювання
середній ступінь оцінювання
незначний ступінь оцінювання або оцінювання за відсутнє

Результати ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за групою показників, які відображають оцінювання економічної ефективності, наведено в таблиці 3.

За охопленням показників економічної ефективності найбільш представницькими є Модель зрілості смарт-мережі (IBM Smart Grid Maturity Model, SGMM) та Індикативна система оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж (Smart grid pilot project evaluation indicator system). Решта систем оцінювання характеризується меншим охопленням даного напрямку оцінювання розумних енергомереж.

Таблиця 3. Ранжування систем оцінювання розумних енергомереж за ступенем оцінювання показників економічної ефективності

Table 3. Ranking of systems for evaluating the smart grids according to the the degree of economic efficiency indicators evaluation

Система оцінювання	Кількість балів	Ранг
IBM Smart Grid Maturity Model	9	1
Smart grid pilot project evaluation indicator system	7	2
Grid development assessment index system	6	3
EU Smart Grid Assessment Benefits Systems	5	4
«Two Type» grid index system	5	4
DOE Smart Grid Development Evaluation System	4	5
EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators	4	5
Evaluation Model of a Smart Grid Development Level Based on Differentiation of Development Demand	4	5

У результаті порівняння систем оцінювання розумних енергомереж можна відзначити суттєві розбіжності в оцінюванні економічної ефективності. Зокрема, деякі системи оцінювання мають комплексний підхід, у той час коли інші оцінюють лише конкретні економічні ефекти

Варто зазначити наявність суттєвих в інтеграції показників вимірювання економічної ефективності до досліджуваних систем оцінювання за двома аспектами:

- ступінь включення показників економічної ефективності до системи оцінювання розумної енергомережі, що характеризується кількістю показників, які входять до складу системи оцінювання;
- ступінь охоплення економічних процесів включеними до системи оцінювання показниками.

Перший аспект характеризує деталізацію оцінювання за певним напрямком (капітальні інвестиції, оптимізація управління активами, формування бізнес-моделі), однак не дозволяє максимізувати охоплення показниками повної сукупності процесів розгортання розумних енергомереж за всіма напрямками.

Комплексне оцінювання за обома названими аспектами простежується на прикладі лише двох із досліджуваних систем оцінювання – Моделі зрілості смарт-мережі (IBM Smart Grid Maturity Model, SGMM) та Індикативної системи оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж (Smart grid pilot project evaluation indicator system). Логічно, що дані системи орієнтовані, у першу чергу, на оцінювання проєктів розумних енергомереж на передінвестиційному етапі. Натомість у системах, спрямованих на визначення рівня розвитку наявних розумних енергетичних мереж, система показників вимірювання економічної ефективності є обмеженою, що обґрунтовано їхнім функціональним призначенням.

Висновки. Порівняльний огляд систем оцінювання розумних енергомереж свідчить про наявність значних відмінностей у підходах, що застосовуються для визначення економічної ефективності розбудови розумних енергомереж. Зокрема, здійснений розподіл економічного оцінювання на три напрямки продемонстрував

комплексність підходу у таких системах оцінювання, як: Модель зрілості смарт-мережі (IBM Smart Grid Maturity Model) та Індикативна система оцінювання пілотних проєктів розумних енергомереж (Smart grid pilot project evaluation indicator system), хоча остання не вимірює ефекти, пов'язані з формуванням бізнес-моделі для проєктів з розбудови розумних енергомереж. Решта систем оцінювання не має суттєвих відмінностей за охопленням прямих та похідних економічних ефектів, однак системи оцінювання, які походять із США, – Система оцінювання розвитку розумної енергомережі (DOE Smart Grid Development Evaluation System), Показники оцінювання витрат та переваг від упровадження пілотних (демонстраційних) проєктів розумних енергетичних мереж (EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators) – мають меншу формалізацію показників економічного оцінювання, що свідчить про необхідність застосування додаткового інструментарію економічного оцінювання ефективності проєктів розбудови розумних енергомереж одночасно з використанням даних систем оцінювання.

Оцінювання економічної ефективності розумних енергомереж є лише однією зі складових досліджуваних комплексних систем оцінювання. Вибір конкретної методики залежить від мети оцінювання та визначених пріоритетів (оцінювання економічної ефективності, технічної досконалості, інформаційно-комунікаційної складової, кібербезпеки та ін.).

Перспективи подальших досліджень будуть спрямовані на визначення оптимальної сукупності показників оцінювання розумних енергомереж залежно від поставлених завдань: оцінювання досягнутого рівня розвитку або ефективності потенційних проєктів.

Conclusions. The comparative review of smart grid evaluation systems shows that there are significant differences in the approaches used to determine the cost-effectiveness of smart grid development. Particularly, the distribution of economic evaluation into three directions demonstrates the approach complexity in the evaluation systems such as: IBM Smart Grid Maturity Model and Smart grid pilot project evaluation indicator system, although the latter does not measure the effects connected with business model formation for projects concerning smart grids development. The rest of the evaluation systems do not have significant differences in coverage of direct and derivative economic effects, but the US-based evaluation systems created in the USA – DOE Smart Grid Development Evaluation System and EPRI Smart Grid Construction Assessment Indicators – have less formalization of economic evaluation indicators, testifying the need to use additional tools for economic evaluation of the smart grid development projects efficiency using these evaluation systems at the same time.

Evaluation of the smart grids economic effectiveness is only one of the investigated complex evaluation systems components. The choice of specific methodology depends on the purpose of evaluation and the identified priorities (evaluation of economic efficiency, technical excellence, information and communication component, cybersecurity, etc.).

Prospects for further investigations will be aimed at the determination of the optimal indicators set for the smart grids evaluation depending on the posed tasks: evaluation of the achieved level of development or effectiveness of potential projects.

Список використаної літератури

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. URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2015/142764/> (дата звернення: 21.04.2020). <https://doi.org/10.1155/2015/142764>
2. Jinchao Li, Tianzhi Li, Liu Han. 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: 21.04.2020).
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> (дата звернення: 21.04.2010).

4. Коротунов С. Ю., Табунщик Г. В., Вольфф К. Аналіз існуючих архітектур та методів моделювання кіберфізичних систем для розумних енергомереж. URL: http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/etks_2018_27_23.pdf (дата звернення 21.04.2020).
5. Черемісін М. М., Черкашина В. В., Попадченко С. А. Особливості впровадження технологій Smart Grid в електроенергетичну галузь України. URL: [http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/text_2015_4\(2\)_7.pdf](http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/text_2015_4(2)_7.pdf) (дата звернення 21.04.2020).
6. Малогулко Ю. В., Дячук Д. А. Перспективи використання інтелектуальних електричних мереж в Україні. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/21320/4559.pdf?sequence=3>.
7. Smart Grid Maturity Model: Creating a Clear Path to the Smart Grid. URL: https://www.uiassist.org/references/IBM_Smart_Grid_Maturity_Model.pdf (дата звернення: 21.04.2020).
8. Sun Qiang, Xubo Ge, Liu Lin, Xu Xin, Zhang Yibin, Niu Ruixin, Zeng Yuan. Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211018571> (дата звернення: 21.04.2020).
9. Assessing Smart Grid Benefits and Impacts: EU and U.S. Initiatives URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC73070/eu-us%20smart%20grid%20assessment%20-%20final%20report%20-online%20version.pdf> (дата звернення 21.04.2010).
10. Harder W. J. Key performance indicators for smart grids. URL: https://essay.utwente.nl/73032/1/HARDER_MA_BMS.pdf (дата звернення: 21.04.2020).
11. Ibragimov Z., Vasylieva T., & Lyulyov O. The national economy competitiveness: effect of macroeconomic stability, renewable energy on economic growth. Economic and Social Development: Book of Proceedings. 2019. P. 877–886.

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. URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2015/142764/> (accessed: 21.04.2020). <https://doi.org/10.1155/2015/142764>
2. Jinchao Li, Tianzhi Li, Liu Han. 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 (accessed: 21.04.2020).
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> (accessed: 21.04.2020).
4. Korotunov C. Iu., Tabunshchik 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. URL: http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/etks_2018_27_23.pdf (accessed: 21.04.2020).
5. Cheremisin M. M., Cherkashyna V. V., Popadchenko S. A. Osoblyvosti vprovadzheniya tekhnolohiy Smart Grid v elektroenerhetychnu haluz' Ukrainy. URL: [http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/text_2015_4\(2\)_7.pdf](http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/text_2015_4(2)_7.pdf) (accessed: 21.04.2020).
6. Malohulko YU. V., Dyachuk D. A. Perspektyvy vykorystannya intelektual'nykh elektrychnykh merezh v Ukraini. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/21320/4559.pdf?sequence=3> (accessed: 10.03.2020).
7. Smart Grid Maturity Model: Creating a Clear Path to the Smart Grid. URL: https://www.uiassist.org/references/IBM_Smart_Grid_Maturity_Model.pdf (accessed: 21.04.2020).
8. Sun Qiang, Xubo Ge, Liu Lin, Xu Xin, Zhang Yibin, Niu Ruixin, Zeng Yuan (2011). Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211018571> (accessed: 21.04.2020).
9. Assessing Smart Grid Benefits and Impacts: EU and U.S. Initiatives. publications.jrc.ec.europa.eu. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC73070/eu-us%20smart%20grid%20assessment%20-%20final%20report%20-online%20version.pdf> (accessed: 21.04.2020).
10. Harder W. J. Key performance indicators for smart grids. URL: https://essay.utwente.nl/73032/1/HARDER_MA_BMS.pdf (accessed: 21.04.2020).
11. Ibragimov Z., Vasylieva T., & Lyulyov O. The national economy competitiveness: effect of macroeconomic stability, renewable energy on economic growth. Economic and Social Development: Book of Proceedings. 2019. P. 877–886.