

**УРАХУВАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ, ФІНАНСОВИХ, ЛЮДСЬКИХ ТА
ЧАСОВИХ ФАКТОРІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ РОЗВИТКУ
ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА РОЗУМНИХ МЕРЕЖ¹²**

Матвєєва Ю.Т.,

*канд. екон. наук, старший викладач кафедри управління
Сумський державний університет, м. Суми
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна
y.matvieieva@management.sumdu.edu.ua*

Мирошніченко Ю.О.,

*канд. екон. наук, доцент кафедри управління
Сумський державний університет, м. Суми
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна
tyroshnychenko@management.sumdu.edu.ua*

Колосок С.І.,

*канд. екон. наук, доцент кафедри управління
Сумський державний університет, м. Суми
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна
kolosok@management.sumdu.edu.ua*

Котюк Р.В.,

*студент 4-го курсу групи М-71,
Сумський державний університет, м. Суми
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна
drtb@i.ua*

Збалансований розвиток розумних мереж стає все більш важливим питанням успішного функціонування енергетичної галузі. У цій статті виконано бібліографічний огляд публікацій при дослідженні параметрів розгортання відновлювальної енергетики та розумних мереж. Для аналізу була обрана вибірка робіт за 2009-2020 рр. бази даних Scopus®, що містить бібліографічні відомості про наукові публікації в рецензованих журналах, книгах та конференціях.

З допомогою VOSviewer (версія 1.6.15), було виокремлено три кластери досліджень у контексті впливу геопросторових параметрів на розвиток розумних мереж. У першому кластері визначено фінансову, людську та часову складову геопросторового фактору розгортання розумних мереж. Більше всього зв'язків в першому кластері знайдено за поняттям «витрати» (усього 29 зв'язків з середньою силою впливу, що дорівнює 9). У другому кластері згруповані поняття, що пов'язані з використанням геоінформаційних систем (GIS), цифрового зберігання, інформаційних систем та картографічної інформації. Дослідження з питань відновлюваної енергії також належать до другого кластеру публікацій. У третьому кластері виокремлено усі поняття розумних мереж за технічними їх видами та в контексті напрямів оптимізації. У третьому кластері зосереджені поняття з найпотужнішою силою зв'язку.

Результати аналізу БД Scopus® дозволили визначити рівень та динаміку наукової зацікавленості до геопросторових факторів розвитку розумних мереж протягом останніх 10 років. Встановлено, що дослідження в галузі геопросторових факторів розвитку розумних мереж здійснюються різними країнами, втім найбільш активно аналізується вплив геопросторових параметрів на розвиток розумних мереж у таких країнах, як: США, Канада та Китай.

З використанням даних бази даних Scopus®, у статті також були визначені інституції та організації, що фінансують дослідження геопросторових факторів та розумних мереж, та зробили вагомий вклад у розвиток даної тематики.

***Ключові слова:** розвиток розумних мереж, кластери розумних мереж, геопросторові фактори, відновлювальна енергетика.*

DOI: 10.21272/1817-9215.2020.3-09

¹ Ця робота була підтримана Міністерством освіти і науки України (науково-дослідна тема № 0119U100766 "Оптимізаційна модель розбудови розумних та безпечних енергетичних мереж: інноваційні технології екологізації підприємств та регіонів").

² Автори висловлюють подяку власникам авторських прав: © Elsevier B.V та джерелу вилучення даних, яким є Scopus® @ <https://www.scopus.com/>; © 2020 Centre for Science and Technology Studies, Leiden University та джерелу вилучення програмного забезпечення, яким є сторінка VOSviewer @ <https://www.vosviewer.com/>.

ВСТУП

В сучасних умовах ретельне дослідження та планування розумних мереж й об'єктів відновлювальної енергетики може забезпечити екологічну безпеку соціо-економічних систем та територій завдяки врахуванню ключових факторів їх розвитку. У науковій спільноті простежується стійкий інтерес до досліджень геопросторових, фінансових, людських та часових факторів розвитку розумних мереж та відновлюваної енергетики.

Серед актуальних питань енергетичної галузі, особливий інтерес становлять можливості гео-інформаційних технологій, особливо, – при обґрунтуванні напрямів розгортання мереж у енергетиці. Саме тому, заслуговують на особливу увагу питання аналізу, дослідження та врахування геопросторофих факторів під час розвитку розумних енергетичних мереж, зокрема при впровадженні об'єктів відновлювальної енергетики. Теоретичні та прикладні аспекти геопросторового розгортання відновлюваної енергетики та розумних мереж висвітлені такими вітчизняними та зарубіжними вченими, як: О. Л. Агапова, Я. О. Адаменко, С. А. Величко, М. Гріцишина, В. І. Зацерковний, В. Лір, Н. М. Москальчук, А. В. Мороз, Н. В. Оберемок, О. Н. Останчук, Н. В. Попович, В. А. Пересадько, А. А. Пузик, В. В. Филенко, Б. О. Шуліка, Бай К., Лі З., Лю Ф., Лю В., Сян М., Чжоу Ц., Інга Е.

Дослідження окремих питань у сфері енергоефективності та відновлюваної енергетики в Україні також зосереджені у роботах Олександри Гуменюк та Ірини Новак [17].

У працях Тормосова Р.Ю., Романюк О.П., Сафіуліної К.Р. виконані напрацювання щодо врахування технічних, фінансових, екологічних та соціальних обмежень для впровадження проєктних пропозицій із чистої енергії.

Вагомий внесок до досліджень відновлюваної енергії при розбудові розумних мереж зробили Цзін Х., Сун З., Чень С. та інші. Проте залишається не вирішеним питання кластеризації понятійного апарату при дослідженні розвитку відновлюваної енергетики та геопросторового розгортання розумних мереж.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою статті є виявлення ключових факторів при дослідженні розвитку відновлюваної енергетики та розумних мереж шляхом кластеризації понятійного апарату з назв публікацій, короткого опису та ключових слів; проведення загального бібліографічного аналізу цих публікацій.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження термінологічної спрямованості наукових публікацій у контексті впливу ключових параметрів на розвиток відновлювальної енергетики та розумних мереж, була обрана база даних Scopus®, що містить бібліографічні відомості про наукові публікації в рецензованих журналах, книгах та конференціях. Вибірку публікацій отримано з застосуванням фільтру щодо галузей знань у назвах статей, короткому опису та ключових словах за пошуковими словами “smart grid” та “geo”. Загалом, вихідна вибірка склала 68 публікацій за 2009-2020 рр. Візуалізація поняттєвої мережі представлена на рис. 1. Тематична спрямованість публікацій здійснювалося з частотою ≥ 3 та мінімальним розміром кластеру = 10 у середовищі програмного забезпечення VOSviewer (версія 1.6.15).

Застосування програмного забезпечення дозволило виокремити три кластери досліджень у контексті впливу геопросторових параметрів на розвиток розумних мереж. У червоному кластері (перший кластер) визначено фінансову, людську та часову складову геопросторового фактору на розвиток розумних мереж. Більше всього зв'язків у першому кластері знайдено за поняттям «витрати» (усього 29 зв'язків з середньою силою впливу, що дорівнює 9).

Зелений кластер (другий кластер) пов'язаний з використанням геоінформаційних систем (GIS), цифрового зберігання, інформаційних систем та картографічної інформації. Дослідження з питань відновлюваної енергії також належать до другого

кластеру публікацій (рис. 2). Серед усіх 20 зв'язків з поняттям «відновлювальна енергія», більшу вагу мають зв'язки з третім кластером, що містить ключові слова з технологічних питань розбудови розумних мереж.

Отже, в останньому кластері (синій кластер) виокремлено усі поняття розумних мереж за технічними їх видами та в контексті напрямів оптимізації. Окрім словосполучення «розумні мережі», у синьому кластері є й такі ключові слова, як «розумні електромережі», «мережа передавання електроенергії». Так, кластер понять «розумні електромережі» має 48 зв'язків з силою впливу – 31. У третьому кластері зосереджені поняття з найпотужнішою силою зв'язку.

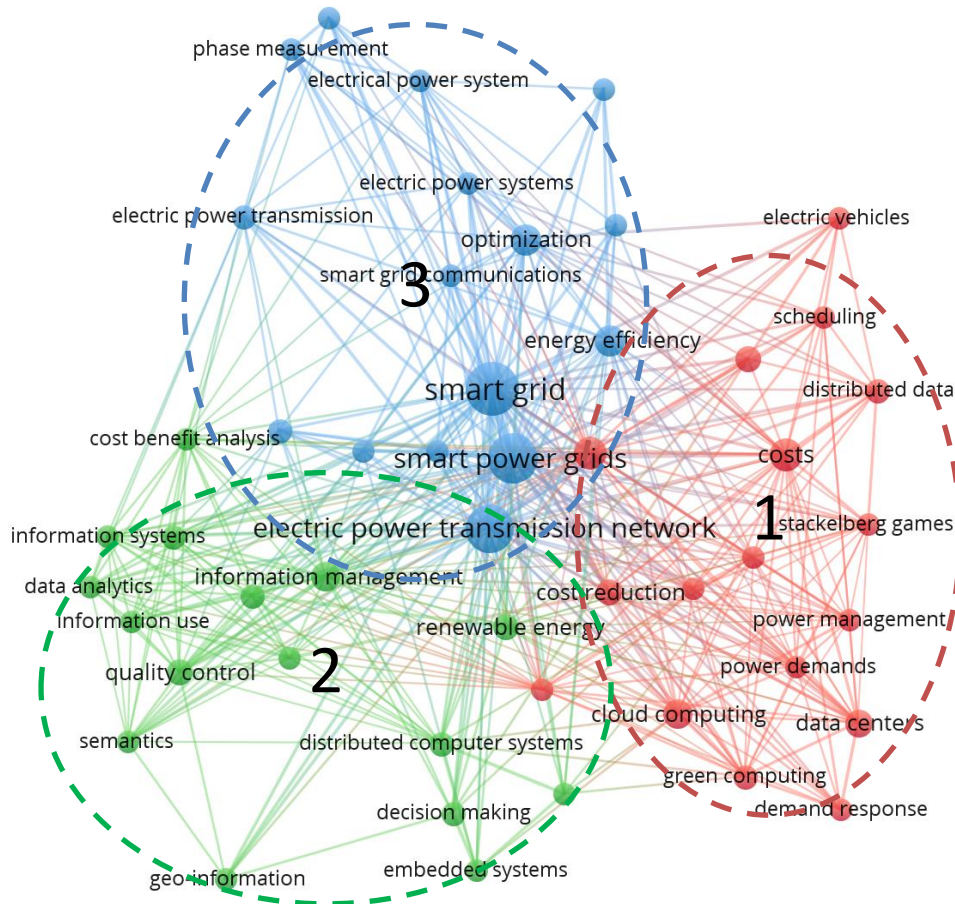


Рисунок 1 – Кластери досліджень за 2009-2020 рр. у БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Як свідчать результати аналізу БД Scopus®, найбільший інтерес до геопросторових факторів розвитку розумних мереж був у 2016 році. Загалом, починаючи з 2012 року по 2019 рік, спостерігається позитивна динаміка до збільшення кількості робіт з цієї тематики (рис. 3).

Дослідження виконуються в різних країнах, проте найбільш активно аналізується вплив геопросторових параметрів на розвиток розумних мереж у трьох країнах: США, Канада та Китай (рис. 4). Трьома найбільшими спонсорами таких досліджень є Національний науковий фонд, Національний фонд природничих наук Китаю та Міністерство науки, ІКТ й планування майбутнього.

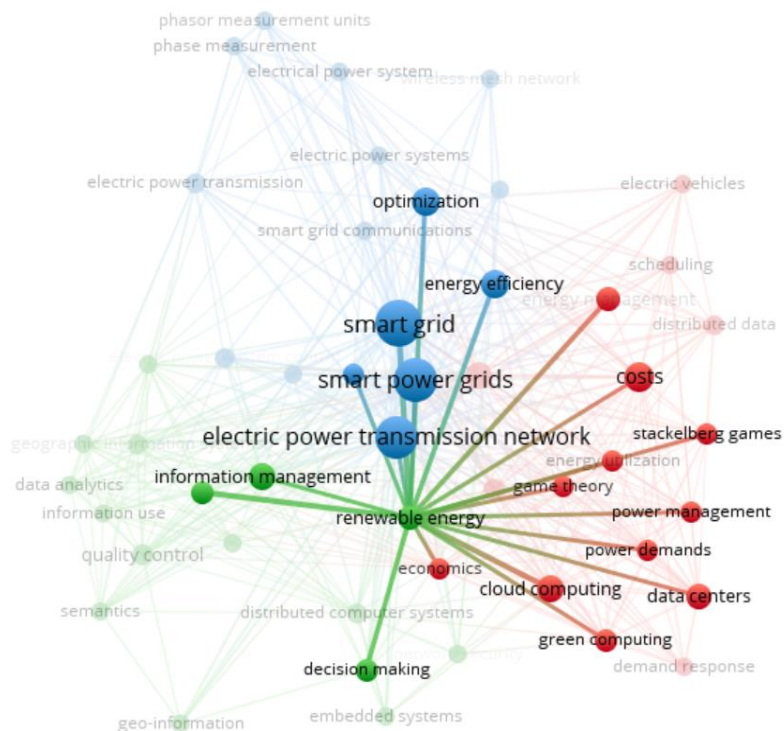


Рисунок 2 – Зв'язки поняття «відновлювальна енергія» серед публікацій у БД Scopus® за 2009-2020 рр., отримані за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

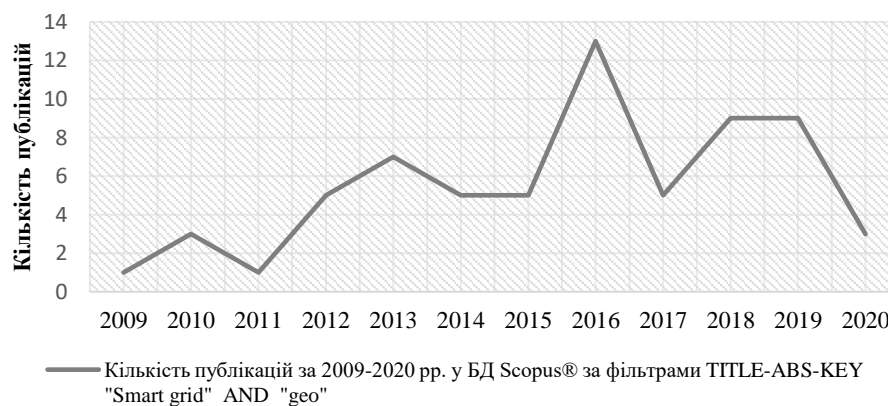
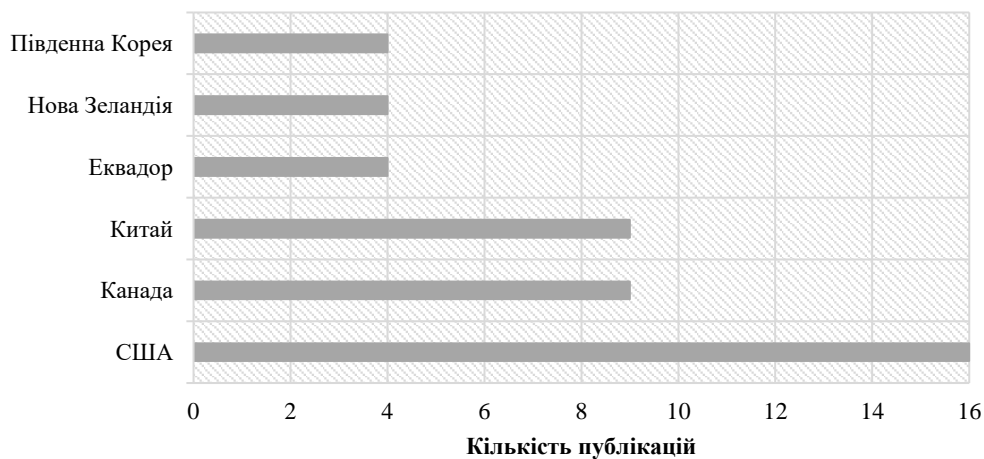


Рисунок 3 – Кількість публікацій за 2009-2020 рр. у БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)



■ Кількість публікацій за країнами у БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo"

Рисунок 4 – Кількість публікацій за країнами у БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Оптимальна розбудова розумних енергетичних мереж не можлива без відповідного фінансування наукових шкіл. За кількістю опублікованих праць слід виділити п'ять університетів, науковці яких зробили найбільший вклад у дослідження тематики (табл. 1). Це Університет науки і технологій Хуачжун (Китай), Оклендський технологічний університет (Нова Зеландія), Університет Кюн Хі (Південна Корея), Університет Калгарі (Канада) та Університет Сіднея (Австралія).

Таблиця 1 – Топ 5 установ за кількістю публікацій, що обрані за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" в БД Scopus® (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Наукова установа	Кількість праць	Автори	Цитування праць
Університет науки і технологій Хуачжун (Китай)	5	Zhou Z., Liu F., Jin H., Sun Z., Chen S.	104
Оклендський технологічний університет (Нова Зеландія)	4	Xiang M., Bai Q., Liu W.	23
Університет Кюн Хі (Південна Корея)	3	Tran N.H., Tran D.H., Huh E.-N., Hong C.S., Jang S.M., Moon S.I., Seon Hong C.	67
Університет Калгарі (Канада)	3	Li Z.	73
Університет Сіднея (Австралія)	3	Zomaya A.Y., Tran N.H., Luo F.	20

Проте найбільш цитованими залишаються праці дослідників з університетів США та Канади: Бай К., Лі З., Лю Ф., Лю В., Сян М., Чжоу Ц. та ін. А найбільш досліджуваною серед науковців є праця «A survey on geographic load balancing based data center power management in the smart grid environment», що була опублікована у 2014 році (табл. 2). І за останні роки поширення та цитування ідей у цій сфері серед усіх досліджень істотно зросло (рис. 5).

Таблиця 2 – Топ 5 установ за кількістю публікацій, що обрані за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" в БД Scopus® (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Назва публікації	Дата публікації	Кількість цитувань										
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Загалом
«A survey on geographic load balancing based data center power management in the smart grid environment»	2014				3	15	19	12	22	19	11	104
«Demand forecasting in smart grids»	2014				1	4	10	14	16	11	11	67
«How Geo-Distributed Data Centers Do Demand Response: A Game-Theoretic Approach»	2016					4	7	15	12	15		56
«When smart grid meets geo-distributed cloud: An auction approach to datacenter demand response»	2015					4	14	7	13	6	5	49
«Joint Energy Management Strategy for Geo-Distributed Data Centers and Electric Vehicles in Smart Grid Environment»	2016						2	5	8	9	6	30
«Towards a 3D spatial urban energy modelling approach»	2013				2	3	7	4	3	1	3	24
«Stackelberg Game for Energy-Aware Resource Allocation to Sustain Data Centers Using RES»	2019								6	6	6	18
«Bilateral Electricity Trade between Smart Grids and Green Datacenters: Pricing Models and Performance Evaluation»	2016							1	3	8	5	17
«Fog computing: Security issues, solutions and robust practices»	2017								2	8	5	15
«Neighborhood-knowledge based geo-routing in PLC»	2012		1		2	2	5	3	1	1		15
Total		0	1	0	15	40	80	73	107	122	113	564

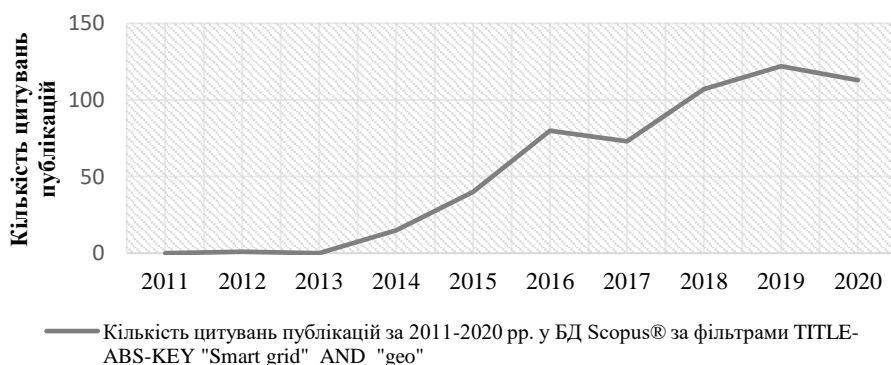


Рисунок 5 – Кількість патентів за 2009-2020 рр. у БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Поширення публікацій відбувається, переш за все, за рахунок тісної співпраці у процесі досліджень. Більше 50% публікацій були написані завдяки міжнародному співробітництву науковців з різних шкіл та країн. Проте найбільш цитованими залишаються, все ж таки, публікації в межах однієї інституції (табл. 3).

Таблиця 3 – Частка наукового доробку публікацій, що обрані за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" в БД Scopus® за міжнародної співпраці науковців (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Метрика	Відсоток наукового доробку, %	Цитування на публікацію	Зважений вплив цитувань
Міжнародна співпраця	51.1%	3.2	1.25
Тільки національна співпраця	12.8%	5.0	1.15
Тільки інституційна співпраця	29.8%	6.0	5.90
Одне авторство (без співпраці)	6.4%	1.7	0.28

Сфера наук самих публікацій різняться. Проте більше всього публікацій, як можливо побачити на рисунку 6, належить до сфери «інформатики» (31%), «техніки» (26%) та «енергетики» (20%).

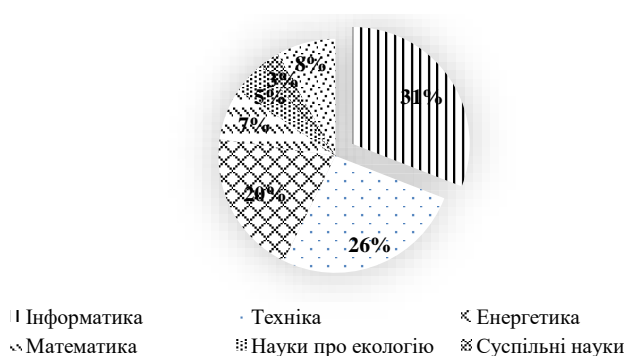


Рисунок 6 – Частка публікацій за сферою наук за 2009-2020 рр. у БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Якщо розглядати патентну активність установ та організацій з цієї тематики, – то простежується значне збільшення інноваційної складової досліджень. Так, з 2010 до 2020 року, річна кількість патентів зростає більш ніж у десять раз (рис. 7). Пік кількості виданих патентів відбувся 2020 року, коли було надано 110 патентів. І в подальшому патентна активність, як очікується, буде тільки наростати.

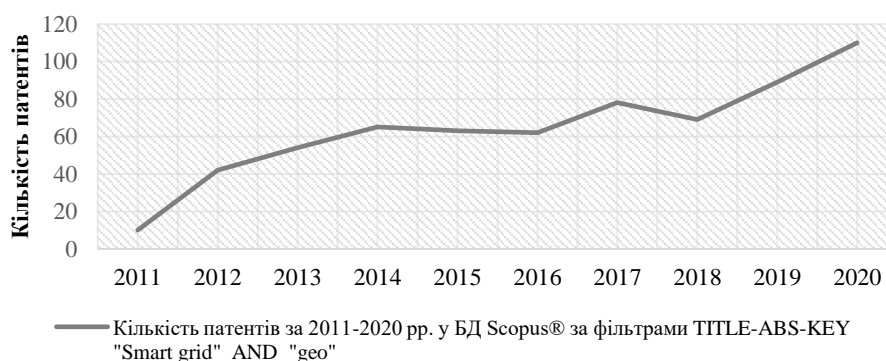


Рисунок 7 – Кількість патентів за 2009-2020 рр. у БД Scopus® за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Серед усіх організацій, Бюро патентів і товарних знаків США є провідною установою за кількістю виданих патентів. Більше ніж 85 % від усіх патентів надано саме у США (табл. 4).

Таблиця 4 – Кількість патентів, що обрані за фільтрами TITLE-ABS-KEY "Smart grid" AND "geo" у БД Scopus® (Джерело: побудовано авторами на основі даних БД Scopus®, <https://www.scopus.com/>)

Патентний офіс	Кількість патентів	Частка, %
Бюро патентів і товарних знаків США	553	85,34
Світова організація інтелектуальної власності	41	6,33
Європейське патентне відомство	37	5,71
Патентне відомство Японії	17	2,62
Разом:	648	100

Загалом, особливу увагу дослідники в своїх працях приділяють аспектам енергетичної ефективності. Безумовно є актуальною методологія управління енергоспоживанням, що заснована на географічному балансуванні навантаження мереж з позиції енергоефективності. У роботах авторів [1-3] виконаного огляд стану, підходів та методів такого енергоспоживання. Питання прогнозування навантаження для комунальних підприємств та кінцевих споживачів за допомогою геопросторової інфраструктури розумних мереж також активно обґрунтовуються в наукових дослідженнях [4-6]. А з розвитком відновлюваної енергетики, останнім часом актуалізувалися і дослідження з управління розумними мікро-мережами, систем управління енергією розподілених енергетичних ресурсів у мікро-мережах [7-10].

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз показав актуальність досліджень з питань розвитку відновлюваної енергетики та розумних мереж, впливу геопросторових факторів на розгортання енергетичних мереж. Виконавши бібліографічний огляд публікацій, було виокремлено три кластери досліджень у контексті впливу геопросторових параметрів на розвиток розумних мереж. У першому кластері визначено фінансову, людську та часову складову геопросторового фактору розгортання розумних мереж. У другому кластері згруповані поняття, що пов'язані з використанням геоінформаційних систем (GIS), цифрового зберігання, інформаційних систем та картографічної інформації. Дослідження з питань відновлюваної енергії також належать до другого кластеру публікацій. У третьому кластері виокремлено усі поняття розумних мереж за технічними їх видами та в контексті напрямів оптимізації. В останньому кластері зосереджені поняття з найпотужнішою силою зв'язку.

На базі проведеного аналізу можливо спрогнозувати, що в подальшому будуть поглиблюватися дослідження географічного балансування навантаження мереж з позиції енергоефективності, систем управління енергією розподілених енергетичних ресурсів в мікро-мережах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Rahman A., Liu X., Kong F. A survey on geographic load balancing based data center power management in the smart grid environment. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. 2014. №16(1). P. 214-233. DOI:10.1109/SURV.2013.070813.00183.
2. Матвеева Ю.Т., Колосок С.І., Вакуленко І.А. Аналіз зарубіжного досвіду щодо забезпечення енергетичної ефективності на основі моделі Smart grid. *Ефективна економіка*. 2019. №4. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.4.36.

3. Вакулєнко І.А. та ін. Формування бази проведення енергетичних реформ із застосуванням «розумних» технологій. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*. 2019. №3. С. 40-45. DOI: 10.21272/1817-9215.2019.3-5.
4. Mirowski P. et al. Demand forecasting in smart grids. *Bell Labs Technical Journal*. 2014. №18(4). P. 135-158. DOI:10.1002/bltj.21650.
5. Вакулєнко І.А., Колосок С.І. Типологізація «розумних» екологобезпечних енергетичних рішень, адаптованих до особливостей вітчизняних енергомереж. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*. 2019. №2. С.21-25. DOI: 10.21272/1817-9215.2019.2-3.
6. Вакулєнко І. А., Колосок С.І., Прийменко С.А. Підходи до розгортання розумних енергетичних мереж. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*. 2019. №4. С. 56-61. DOI: 10.21272/1817-9215.2019.4-7.
7. Priyadarshana H. V. V. et al. A review on multi-agent system based energy management systems for micro grids. *AIMS Energy*. 2019. №7(6). DOI:10.3934/ENERGY.2019.6.924.
8. Matvieieva Yu. Methodical approach to the optimization modeling the smart grids development considering the financial, resource, geospatial and time parameters. *New trends in the economic systems management in the context of modern global challenges : collective monograph / edited by M. Bezpartochnyi*. Sofia, 2020. Vol. 2. P. 17–43.
9. Вакулєнко І.А., Колосок С.І. Взаємозв'язок Smart Grids концепції з оновленням теплоенергетики України. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*. 2019. №1. С.14-18. DOI: 10.21272/1817-9215.2019.1-2.
10. Євдокимова Є.А., Колосок С.І., Петренко Н.О. Європейський та український досвід реалізації енергетичних технологій. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*. 2019. №4. С. 109-114. DOI: 10.21272/1817-9215.2019.4-14.
11. Москальчук Н. М., Адаменко Я. О. Вибір майданчика для розташування вітроелектростанцій на підставі ГІС-підходу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. № 29 (6). С. 71 – 75. DOI: 10.15421/40290614.
12. Agarova O. et al. Research of the Spatial Aspects of Using Renewable Energy Sources for Sustainable Development of the Territory. *Technology Audit and Production Reserves*. 2018. № 6 (1). P. 50-58. DOI:10.15587/2312-8372.2018.149595.
13. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. 2017. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai-ni.pdf>.
14. Гуменюк О., Новак І. Дослідження створення робочих місць у сферах енергоефективності та відновлюваної енергетики в Україні. 2020. URL: <http://reform.energy/media/1463/b46d83bca4c4d68ed98f1807262d702c.pdf>.
15. Новак І. М. «Альтернативна» зайнятість. Чи встигає ринок кадрів за змінами в секторі енергетики / Прес-служба НАН України. 2020. URL: <http://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=6831>.
16. Підготовка проектних пропозицій із чистої енергії : практичний посібник / під заг. ред. Р.Ю. Тормосова, О.П. Романюк, К.Р. Сафіуліної. Київ, 2015. 176 с.
17. Мороз О.М. та ін. Використання технологій SMART GRID для підвищення ефективності електропостачання споживачів. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 3. С. 82 – 86. DOI: 10.20535/1813-5420.3.2017.117369.
18. Кільницький О. Енергетичні тренди: в які проекти варто інвестувати кошти. 2018. URL: <https://mind.ua/publications/20190743-energetichni-trendi-v-yaki-proekti-var-to-investuvati-koshti>.
19. Розробка та вдосконалення енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу альтернативних джерел енергії : колективна монографія / за ред. О.О. Горба, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб. Полтава, 2017. 326 с.
20. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими / за заг. ред. О.В. Кириленка. Київ, 2016. 400 с.
21. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Гунько І. О. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії. Вінниця, 2018. 174 с.
22. Кузьміна М. М. Правове регулювання інноваційного розвитку у сфері відновлюваної енергетики. *Право та інновації*. 2017. № 1 (17). URL: <http://pti.org.ua/index.php/ndipzir/article/view/227/175>.
23. Болквадзе Н. І., Сивак Р. Б. Інвестиційні пріоритети глобальних інвесторів у енергетичній сфері. *Бізнес Інформ*. 2018. № 11. С. 107–113. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2018-11_0-pages-107_113.pdf.
24. Зацерковний В. І., Оберемок Н. В., Пузик А. А. Геоінформаційне моделювання в задачах відновлюваної енергетики. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія : Нові рішення в сучасних технологіях*. 2018. № 9. С. 118–127. DOI: 10.20998/2413-4295.2018.09.17.
25. Коцар О.В. Smart-системи вимірювання, обліку та управління енерговикористанням. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. № 2. С. 20–25. DOI: 10.20535/1813-5420.2.2018.147334.
26. Єлісеєва О. К., Гільорме Т. В., Водолян М. В. Аналіз і перспективи розвитку енергетичної платформи на засадах концепції smart grid. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2016. № 5. С. 70–74.

27. Vakulenko I., Myroshnychenko Iu. Approaches to the organization of the energy efficient activity at the regional level in the context of limited budget resources during the transformation of energy market paradigm. *Environmental and Climate Technologies*. 2015. № 15 (1). P. 59-76. URL: <https://dx.doi.org/10.1515/rtuect-2015-0006>.
28. Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера : монографія / за заг. ред.: О.М. Теліженка, М.І. Сотника. Суми, 2018. 336 с.
29. Габрінець В. О. та ін. Формування схемних рішень системи акліматизації споруд в робочому середовищі альтернативних джерел енергії : монографія. Дніпро, 2016. 146 с.
30. Зарубіжний досвід стимулювання відновлювальних джерел енергетики (досвід Німеччини та Австрії)/ Офіс з фінансового та економічного аналізу у Верховній Раді України. 2017. URL: <http://kompek.rada.gov.ua/uploads/documents/29892.pdf>.
31. Стаднік М.І. та ін. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика : навчальний посібник. Вінниця, 2020. 332 с.
32. Biagi M., Greco S., Lampe L. Geo-routing algorithms and protocols for power line communications in smart grids. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2018. № 9(2). P. 1472-1481. DOI:10.1109/TSG.2016.2593490.
33. Ganán C., Inga E., Hincapié R. Optimal deployment and routing geographic of UDAP for advanced metering infrastructure based on MST algorithm. [Óptimo despliegue y enrutamiento de UDAP para infraestructurade medición avanzada basada en el algoritmo MST] *Ingeniare*. 2017. № 25(1). P. 106-115. DOI:10.4067/S0718-33052017000100106.
34. Hoefling M., Mills C. G., Menth M. Distributed load balancing for the resilient Publish/Subscribe overlay in SeDAX. *IEEE Transactions on Network and Service Management*. 2017. № 14(1). P. 147-160. DOI:10.1109/TNSM.2016.2647678.
35. Hu H. et al. Coordinating workload scheduling of geo-distributed data centers and electricity generation of smart grid. *IEEE Transactions on Services Computing*. 2020. № 13(6). P. 1007-1020. DOI:10.1109/TSC.2017.2773617.
36. Inga E. et al. Minimal deployment and routing geographic of PMUs on electrical power system based on MST algorithm. *IEEE Latin America Transactions*. 2016. № 14(5). P. 2264-2270. DOI:10.1109/TLA.2016.7530422.
37. Korkovelos A. et al. Supporting electrification policy in fragile states: A conflict-adjusted geospatial least cost approach for afghanistan. *Sustainability (Switzerland)*. 2020. № 12(3). DOI:10.3390/su12030777.
38. Pham C. et al. A distributed approach to emergency demand response in geo-distributed mixed-use buildings. *Journal of Building Engineering*. 2018. № 19. P. 506-518. DOI:10.1016/j.jobe.2018.06.004.
39. Renugadevi T. et al. Optimized energy cost and carbon emission-aware virtual machine allocation in sustainable data centers. *Sustainability (Switzerland)*. 2020. № 12(16). DOI:10.3390/SU12166383.
40. Tran, N. H. et al. How geo-distributed data centers do demand response: A game-theoretic approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2016. № 7(2). P. 937-947. DOI:10.1109/TSG.2015.2421286.
41. Xiang M., Bai Q., Liu W. Trust-based adaptive routing for smart grid systems. *Journal of Information Processing*. 2014. № 22(2). P. 210-218. DOI:10.2197/ipsjip.22.210.
42. Xiang M., Liu W., Bai Q. A fuzzy logic-based sustainable and trusted routing for P2P enabled smart grid. *International Journal of Computational Science and Engineering*. 2016. № 13(2). P. 165-174. DOI:10.1504/IJCSE.2016.078445.
43. Xie S. et al. Discovering communities for microgrids with spatial-temporal net energy. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*. 2019. № 7(6). P. 1536-1546. DOI:10.1007/s40565-019-0543-4.
44. Yu L, et al. Joint energy management strategy for geo-distributed data centers and electric vehicles in smart grid environment. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2016. № 7(5). P. 2378-2392. DOI:10.1109/TSG.2016.254226.
45. Zhou Z., et al. A truthful and efficient incentive mechanism for demand response in green datacenters. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. 2020. № 31(1). P. 1-15. DOI:10.1109/TPDS.2018.2882174.
46. Zhou Z., Liu F., Li Z. Bilateral electricity trade between smart grids and green datacenters: Pricing models and performance evaluation. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2016. № 34(12). P. 3993-4007. DOI:10.1109/JSAC.2016.2611898.

REFERENCES

1. Rahman, A., Liu, X., & Kong, F. (2014). A survey on geographic load balancing based data center power management in the smart grid environment. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(1), 214-233. doi:10.1109/SURV.2013.070813.00183.
2. Matvieieva, Yu.T., Kolosok, S.I., & Vakulenko, I.A. (2019). The analysis of foreign experience to implementation energy efficiency on the basis of smart grid model. *Efektivna ekonomika*, 4. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.4.36.
3. Vakulenko, I., Kolosok, S., Prymenko, S., & Matvieieva, Yu. (2019). Formation basis of energy reform with "smart" technologies. *Visnyk of Sumy State University. Economy series*, 3, 40-45. DOI: 10.21272/1817-9215.2019.3-5.

4. Mirowski, P., Chen, S., Kam Ho, T., & Yu, C. (2014). Demand forecasting in smart grids. *Bell Labs Technical Journal*, 18(4), 135-158. doi:10.1002/bltj.21650.
5. Vakulenko, I., & Kolosok, S. (2019). Typologization of "smart" environmental energy solutions adapted to peculiarities of domestic energy networks. *Visnyk of Sumy State University. Economy series*, 2, 21-25. DOI: 10.21272/1817-9215.2019.2-3.
6. Vakulenko, I., Kolosok, S., & Pryimenko, S. (2019). Approaches to the deployment of smart energy networks. *Visnyk of Sumy State University. Economy series*, 4, 56-61. DOI: 10.21272/1817-9215.2019.4-7.
7. Priyadarshana, H. V. V., Sandaru, M. A. K., Hemapala, K. T. M. U., & Wijayapala, W. D. A. S. (2019). A review on multi-agent system based energy management systems for micro grids. *AIMS Energy*, 7(6) doi:10.3934/ENERGY.2019.6.924.
8. Matvieieva, Yu. (2020). Methodical approach to the optimization modeling the smart grids development considering the financial, resource, geospatial and time parameters. In M. Bezpartochnyi (Ed.), *New trends in the economic systems management in the context of modern global challenges : collective monograph* (pp. 17–43). Vol. 2. Sofia: VUZF Publishing House "St. Grigorii Bogoslov".
9. Vakulenko, I., & Kolosok, S. (2019). Connections smart grids concept with updates of Ukrainian heart power. *Visnyk of Sumy State University. Economy series*, 1, 14-18. DOI: 10.21272/1817-9215.2019.1-2.
10. Yevdokymova, A., Kolosok, S., & Petrenko, N. (2019). European and Ukrainian implementation experience energy technologies. *Visnyk of Sumy State University. Economy series*, 4, 109-114. DOI: 10.21272/1817-9215.2019.4-14.
11. Moskalchuk, N. M., & Adamenko, Y. O. (2019). The wind farm site selection on GIS-based approach. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(6), 71-75. DOI: 10.15421/40290614.
12. Agarova, O. et al. (2018). Research of the Spatial Aspects of Using Renewable Energy Sources for Sustainable Development of the Territory. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (1), 50-58. doi:10.15587/2312-8372.2018.149595.
13. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. 2017. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai--ni.pdf>.
14. Гуменюк, О., & Новак, І. (2020). Дослідження створення робочих місць у сферах енергоефективності та відновлюваної енергетики в Україні. URL: <http://reform.energy/media/1463/b46d83bca4c4d68ed98f1807262d702c.pdf>.
15. Новак, І. М. (2020). «Альтернативна» зайнятість. Чи встигає ринок кадрів за змінами в секторі енергетики. URL: <http://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=6831>.
16. Тормосова, Р.Ю. Романюк, О.П., & Сафіуліної, К.Р. (Eds.). (2015). Підготовка проектних пропозицій із чистої енергії. Поліграф плюс.
17. Moroz, O.M. et al. (2017). Using smart grid's technologies for increasing efficiency of consumers' electric supply. *Energy: economics, technology, ecology*, 3, 82-86. DOI: 10.20535/1813-5420.3.2017.117369.
18. Кільницький, О. (2018). Енергетичні тренди: в які проекти варто інвестувати кошти. URL: <https://mind.ua/publications/20190743-energetichni-trendi-v-yaki-proekti-var-to-investuvati-koshti>.
19. Горба, О.О., Чайка, Т.О., & Яснолоб, І.О. (Eds.). (2017). Розробка та вдосконалення енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу альтернативних джерел енергії. *Укрпромторгсервіс*.
20. Кириленко, О.В. (Ed.). (2016). Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Інститут електродинаміки НАН України.
21. Лежнюк, П. Д., Рубаненко, О. Є., & Гунько, І. О. (2018). Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії. *ВНТУ*.
22. Kuzmina, M. M. (2019). Legal regulation of innovative development in the sphere of renewable energy. *Law and Innovations*, 1 (17), 14-19. URL: <http://pti.org.ua/index.php/ndipzir/article/view/227/175>.
23. Bolkvadze, N. I., & Syvak, R. B. (2018). The investment priorities of global investors in the energy sphere. *Business Inform*, 11, 107-113. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2018-11_0-pages-107_113.pdf.
24. Zatserkovnyi, V., Oberemok, N., & Puzik, A. (2018). Geoinformation modeling in the problems of renewable energy. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*, 9, 118-127. DOI: 10.20998/2413-4295.2018.09.17.
25. Kotsar, O. (2018). Smart systems for measuring, metering and energy management. *Energy: economics, technology, ecology*, 2, 20-25. DOI: 10.20535/1813-5420.2.2018.147334.
26. Yelisyeva, O. K., Hilorme, T. V., & Vodopyan, M. V. (2016). Analysis and perspectives of energy platform development based on the principles of smart grid concept in Ukraine. *Bulletin of Khmelnytsky National University. Economy series*, 5, 70–74.
27. Vakulenko, I., & Myroshnychenko, Iu. (2015). Approaches to the organization of the energy efficient activity at the regional level in the context of limited budget resources during the transformation of energy market paradigm. *Environmental and Climate Technologies*, 15 (1), 59-76. URL: <https://dx.doi.org/10.1515/rtuect-2015-0006>.
28. Теліженко, О.М., & Сотник, М.І. (Eds.). (2018). Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера. *Мгіа-1*.

29. Габрінець В. О. та ін. (2016). Формування схемних рішень системи акліматизації споруд в робочому середовищі альтернативних джерел енергії. АКЦЕНТ ПП.
30. Офіс з фінансового та економічного аналізу у Верховній Раді України. (2017). Зарубіжний досвід стимулювання відновлювальних джерел енергетики (досвід Німеччини та Австрії). URL: <http://kompek.rada.gov.ua/uploads/documents/29892.pdf>.
31. Стаднік М.І. та ін. (2020). Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика. Твори.
32. Biagi, M., Greco, S., & Lampe, L. (2018). Geo-routing algorithms and protocols for power line communications in smart grids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(2), 1472-1481. doi:10.1109/TSG.2016.2593490.
33. Ganán, C., Inga, E., & Hincapié, R. (2017). Optimal deployment and routing geographic of UDAP for advanced metering infrastructure based on MST algorithm. [Óptimo despliegue y enrutamiento de UDAP para infraestructura de medición avanzada basada en el algoritmo MST] *Ingeniare*, 25(1), 106-115. doi:10.4067/S0718-33052017000100106.
34. Hoefling, M., Mills, C. G., & Menth, M. (2017). Distributed load balancing for the resilient Publish/Subscribe overlay in SeDAX. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 14(1), 147-160. doi:10.1109/TNSM.2016.2647678.
35. Hu, H., Wen, Y., Yin, L., Qiu, L., & Niyato, D. (2020). Coordinating workload scheduling of geo-distributed data centers and electricity generation of smart grid. *IEEE Transactions on Services Computing*, 13(6), 1007-1020. doi:10.1109/TSC.2017.2773617.
36. Inga, E., Carrion, D., Aguila, A., Garcia, E., Hincapie, R., & González, J. W. (2016). Minimal deployment and routing geographic of PMUs on electrical power system based on MST algorithm. *IEEE Latin America Transactions*, 14(5), 2264-2270. doi:10.1109/TLA.2016.7530422.
37. Korkovelos, A., Mentis, D., Bazilian, M., Howells, M., Saraj, A., Hotaki, S. F., & Missfeldt-Ringius, F. (2020). Supporting electrification policy in fragile states: A conflict-adjusted geospatial least cost approach for afghanistan. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). doi:10.3390/su12030777.
38. Pham, C., Tran, N. H., Ren, S., Seon Hong, C., Nguyen, K. K., & Cheriet, M. (2018). A distributed approach to emergency demand response in geo-distributed mixed-use buildings. *Journal of Building Engineering*, 19, 506-518. doi:10.1016/j.jobbe.2018.06.004.
39. Renugadevi, T., Geetha, K., Muthukumar, K., & Geem, Z. W. (2020). Optimized energy cost and carbon emission-aware virtual machine allocation in sustainable data centers. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16). doi:10.3390/SU12166383.
40. Tran, N. H., Tran, D. H., Ren, S., Han, Z., Huh, E. -, & Hong, C. S. (2016). How geo-distributed data centers do demand response: A game-theoretic approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(2), 937-947. doi:10.1109/TSG.2015.2421286.
41. Xiang, M., Bai, Q., & Liu, W. (2014). Trust-based adaptive routing for smart grid systems. *Journal of Information Processing*, 22(2), 210-218. doi:10.2197/ipsjip.22.210.
42. Xiang, M., Liu, W., & Bai, Q. (2016). A fuzzy logic-based sustainable and trusted routing for P2P enabled smart grid. *International Journal of Computational Science and Engineering*, 13(2), 165-174. doi:10.1504/IJCSSE.2016.078445.
43. Xie, S., Wang, H., Wang, S., Lu, H., Hong, Y., Jin, D., & Liu, Q. (2019). Discovering communities for microgrids with spatial-temporal net energy. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 7(6), 1536-1546. doi:10.1007/s40565-019-0543-4.
44. Yu, L., Jiang, T., Zou, Y., & Sun, Z. (2016). Joint energy management strategy for geo-distributed data centers and electric vehicles in smart grid environment. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(5), 2378-2392. doi:10.1109/TSG.2016.254226.
45. Zhou, Z., Liu, F., Chen, S., & Li, Z. (2020). A truthful and efficient incentive mechanism for demand response in green datacenters. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 31(1), 1-15. doi:10.1109/TPDS.2018.2882174.
46. Zhou, Z., Liu, F., & Li, Z. (2016). Bilateral electricity trade between smart grids and green datacenters: Pricing models and performance evaluation. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(12), 3993-4007. doi:10.1109/JSAC.2016.2611898.

SUMMARY

Matvieieva Y., Myroshnychenko I., Kolosok S., Kotyuk R. *Geospatial, financial, human, and temporal factors in the study of the development of renewable energy and smart grids*

Balanced development of smart grids is becoming an increasingly important issue for the energy sector's successful operation. This article provides a bibliographic review of publications in the study of renewable energy and smart grids' deployment parameters. A sample of works for 2009-2020 from the Scopus® database, which contains bibliographic information about scientific publications in peer-reviewed journals, books, and conferences, was selected for analysis.

The authors identified three clusters of research areas using VOSviewer (version 1.6.15) in the context of the impact of geospatial parameters on smart grids' development. The first cluster consists of the financial, human, and temporal components of the geospatial factor of smart grid deployment. The authors found the largest number of links in the first cluster in terms of "costs" (a total of 29 links with an average impact of 9). The second cluster

coincides with concepts related to geospatial information systems (GIS), digital storage, information systems, and cartographic information use. Research on renewable energy also belongs to the second cluster of publications. And the third cluster highlights all the concepts of smart grids by their technical types and in the context of optimization. The third cluster focuses on the ideas with the strongest link power.

The results of the analysis of the Scopus® database allowed to determine the level and dynamics of scientific interest in the geospatial factors of the development of smart grids over the past 10 years.

It is established that research in the field of geospatial factors of smart grid development is carried out by different countries, but the most active analysis of the impact of geospatial parameters on the development of smart grids in the following countries: USA, Canada and China.

Based on the use of the Scopus® database, the article identified institutions and organizations that fund the study of geospatial factors and smart grids and made a significant contribution to the development of this topic.

Keywords: development of smart grids, clusters of smart grids, geospatial factors, renewable energy.