

УДК 303.732.4; 519.81

В. А. ЗАСЛАВСЬКИЙ, М. В. ПАСІЧНА

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

АНАЛІЗ БАЛАНСУВАННЯ ПОРТФЕЛЯ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОПОРТФЕЛЯ

Статтю присвячено дослідженню балансування структури енергогенеруючих портфельів провідних підприємств виробництва електроенергії в ЄС. Балансування є складовою частиною при оптимізації структури енергогенеруючого портфеля в компаніях ЄС і направлене на цілеспрямоване поєднання різних енергетичних технологій з метою максимізації конкурентоспроможності портфеля, забезпеченню енергетичної безпеки і мінімізації впливу на довкілля. Враховуючи обмеження ресурсів енергокомпанії та нестабільність енергетичного ринку, це допоможе зрозуміти те, наскільки енергогенеруючі компанії є здатними досягти різних цілей, що містяться у їх планах і знаходяться на порядку денному держав. В роботі представлено візуалізацію балансування основних джерел генерації електроенергії за допомогою використання бульбашкових діаграм та якісного аналізу, окреслено пріоритети компаній при визначенні структури їх енергетичного балансу, можливі ризики і обмеження для різних джерел генерації електроенергії. Представлено загальну схему факторів, які сприяють або перешкоджають збалансованості енергопортфеля. Результати дослідження дозволяють зрозуміти сильні і слабкі сторони тих чи інших джерел генерації електроенергії, простежити динаміку портфеля та перспектив його розвитку на майбутнє.

Ключові слова: портфель джерел генерації електроенергії, багатокритеріальна оптимізація, теорія портфеля Марковіца, ризики енергозабезпечення.

Постановка питання

Регулювання паливно-енергетичного комплексу в ЄС має на меті створення такої енергетичної позиції регіону, яка заснована на трьох взаємодоповнюючих засадах - конкурентоспроможності, стійкості та енергетичній безпеці (відповідно до Лісабонського договору). Тобто, енергетичні компанії ЄС прагнуть до організації такої енергогенеруючої структури, яка триматиме витрати на генерацію на найнижчому рівні, сприятиме ефективному і гнучкому процесу генерації, призводитиме до сталого скорочення викидів [1].

Слід відмітити, що на сьогоднішній день не існує жодного джерела генерації електроенергії, який одночасно може задовольнити всі зазначені вище вимоги. Більше того, як підтверджується в літературі [2], важливим є врахування генерації електроенергії не з точки зору однієї конкретної технології, але з точки зору її ролі в енергогенеруючому портфелі. У будь-який момент часу, різні технології, що складають енергопортфель, матимуть різні витрати, але з плином часу, збалансоване і стратегічно-виправдане їх поєднання може служити для мінімізації загальної вартості генерації електроенергії в порівнянні із ризиком.

Враховуючи обмеження ресурсів компанії та нестабільність енергетичного ринку, надійне поста-

вання електроенергії вимагає оптимізації портфеля джерел генерації електроенергії, що, окрім іншого, включає балансування цих джерел відповідно до їх ключових характеристик. В цьому контексті, періодична оцінка, блокування проектів, які вже не цікаві для організації і перерозподілу ресурсів на проекти із більшою доданою вартістю, є фактором успіху в управлінні портфелем проектів [3].

Виходячи з теорії портфеля Марковіца, запорукою досягнення збалансованого портфелю є врахування балансу ризиків і доходності можливих альтернатив (енергетичних технологій) в енергопортфелі [4]. Інші автори підкреслюють необхідність балансування між еволюційними проектами та такими, що привносять поступові зміни, між коротко і довгостроковими проектами [5, 6].

Таким чином, **метою** статті є аналіз поточного стану енергогенеруючого портфеля 8-ми провідних підприємств з виробництва електроенергії в ЄС відповідно до трьох вищезазначених компонентів - конкурентоспроможності, енергобезпеки та екологічної стабільності і окреслення того, які переваги і виклики пов'язано із балансуванням (знаходженням компромісу) між цими категоріями. Це допоможе зрозуміти чинники, що впливають на процес прийняття рішень на рівні енергокомпанії (країни) і уникнути ситуації, коли портфель містить багато проектів, які не є стратегічно-пріоритетними. Для Украї-

ни, як стратегічного партнера ЄС, це є можливість зрозуміти практики ЄС і оцінити перспективи наближення до них.

В літературі дана задача висвітлювалася в основному з точки зору окремих технологій або окремих країн, не враховуючи специфіки енергогенеруючих компаній [7, 8]. Більше того, питання оптимізації портфеля джерел генерації електроенергії вивчається, як правило, з точки зору одного конкретного аспекту – витрат на генерацію [4, 10], ризиків енергопостачання [9, 17], сфери розвитку і розробок (англ. R&D) [5], застосовуючи при цьому метод середнього значення розподілу ймовірностей (англ. MVP) Марковіца, моделювання Монте-Карло та ін. Дана стаття проводить аналіз енергогенеруючого портфеля з точки зору декількох ключових аспектів, враховує позиції різних енергокомпаній в різних країнах, використовує кількісний і якісний аналіз.

Викладення основного матеріалу

1. Модель дослідження

Застосування моделі Марковіца для аналізу вартості, віддачі і ризику портфельних енергокомпаній. Сучасна теорія портфеля (англ. МРТ), зокрема модель Марковіца [4, 9], дозволяє проаналізувати конкурентоспроможність енергопортфеля в контексті наступних змінних:

Очікувана вартість портфеля, що являє собою середньозважене окремих генеруючих витрат і розраховується за формулою:

$$E_{C_p} = \sum_{i=1}^n w_i E_{C_i}, \quad (1)$$

де w_i – частка i -го джерела генерації електроенергії в портфелі; E_{C_i} – очікуване значення середньозважених генеруючих витрат i -го джерела генерації електроенергії за кіловат-годину (нормована вартість генерації електроенергії (англ. LCOE)); n – кількість джерел генерації електроенергії.

Частка джерела генерації електроенергії являє собою суму часток встановленої потужності компанії по основним енергогенеруючим технологіям – вугілля, природний газ, гідроенергія, енергія вітру, енергія сонця, енергія біомаси та атомна енергія (питома вага цих джерел складала 97% виробництва електроенергії в ЄС-27 у 2014 р. [11]) в країнах-членах ЄС, де зосереджена основна генеруюча потужність врахованих компаній (Франція, Німеччина, Бельгія, Італія, Іспанія, Швеція і Фінляндія) станом на 2014 р. [27-31, 33, 34].

Для визначення узагальнених витрат на генерацію електроенергії (LCOE) для певних технологій було обчислено і використано дані по зазначеним вище країнам за останні роки (2008-2014 рр.) [12]. Для того, щоб забезпечити порівняння між різними даними, наприклад, валюти різних країн було переведено в Євро за ставками першого торговельного дня року. Розмірності було переведено до Євро на МВт-год.

Очікувана віддача портфеля, що являє собою суму середньозважених індивідуальних очікуваних віддач кожного джерела генерації електроенергії, обчислюється за формулою:

$$E_{R_p} = \sum_{i=1}^n w_i E_{R_i}, \quad (2)$$

де E_{R_i} – очікувана віддача i -го джерела генерації електроенергії R_i .

В енергетиці в якості віддачі по технології i (R_i) використовується фізичний обсяг відпуску електроенергії на одиницю вартості (величину обернену до LCOE):

$$R_i = \frac{1}{LCOE}. \quad (3)$$

Стосовно ризику, для кожної технології за його величину приймається стандартне річне відхилення доходності (англ. HPR) за період володіння технологією для (як мінімум) трьох видів змінних: ризику капітала, ризику палива та ризику операції і обслуговування (англ. O&M); також можна враховувати витрати, пов'язані із викидами CO₂.

Враховуючи стандартні відхилення HPR по кожній технології, яка входить до енергопортфелю, можна розрахувати стандартне відхилення портфеля (σ_p) (або очікувану річну зміну вартості генерації електроенергії), що являє собою сукупний ризик портфеля і обчислюється за формулою:

$$E(\sigma_p) = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_i w_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}}, \quad (4)$$

$i \neq j,$

де σ_i та σ_j – стандартні відхилення зміни доходності технологій по річним витратам i -го та j -го джерел генерації електроенергії відповідно; ρ_{ij} – коефіцієнт кореляції між джерелами генерації електроенергії (який приймає значення від -1 до $+1$).

Оскільки детальні дані для розрахунку HPR та його відхилення, а також коефіцієнта кореляції між різними джерелами для конкретної компанії не знаходяться у вільному доступі або не є доступними у форматі, що вимагає даний підхід в дослідженні, то були використані узагальнені історичні дані з джерел, що є у відкритому доступі [13].

Аналіз енергогенеруючого портфеля з точки зору безпеки енергопостачання. Надійність і безперервність постачання електроенергії в країнах безпосередньо взаємопов'язана із врахуванням і попередженням ризиків, що притаманні певним джерелам генерації електроенергії, а також диверсифікацією складу енергопортфеля. З цією метою було узагальнено і систематизовано основні ризики, що впливають на безпеку енергопостачання.

Використовувався метод збору даних, який базується на аналізі літератури і документів. Даний метод включає огляд літератури і звітів компаній, які знаходяться у відкритому доступі та охоплюють період з 2007 по 2015 рр. Зокрема, розглядалася відповідна інформація, що міститься на офіційних веб-сайтах компаній, а також на сайтах Science Direct, Web of Science, Google Scholar і т.д.

Аналіз джерел генерації електроенергії стосовно впливу на навколишнє природне середовище та ефективність генерації електроенергії. Для цілей аналізу впливу різних джерел генерації електроенергії на довкілля було побудовано бульбашкові діаграми, що розкривають те, наскільки енергопортфелі компаній є збалансованими з точки зору енергоефективності та потенціалу викидів, притаманних різним типам палив, з яких вони складаються. Показники з енергоефективності та потенціалу скорочення викидів було прийнято в якості загальної характеристики даних для конкретних видів палива, розмір бульбашок вказує на загальну встановлену потужність компаній в ЄС у 2014 р. Як і у попередньому випадку, використовувався аналогічний бібліотечний метод збору даних.

Ставлення компанії до ризику. Оскільки ризики є характерними для енергетичної компанії протягом всього її життєвого циклу, то відношення компанії до ризику є важливим показником майбутньої позиції компанії на ринку електроенергії. Цей підхід міститься в теорії оптимізації портфеля при добутку та переробці ресурсів (в основному для нафтової промисловості) і має на меті оцінити ставлення компанії до певних ризиків [14].

Оскільки існує дефіцит необхідних для цього даних, то для цілей дослідження було використано показник про ступінь уразливості доходів компанії – так званий коефіцієнт боргу (відношення чистого боргу до Ebitda (Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization) - аналітичного показ-

ника, який дорівнює обсягу прибутку до вирахування витрат по виплаті відсотків, податків, і нарахованої амортизації), що являє собою ступінь максимально можливої заборгованості, значення якого не повинно перевищувати більше, ніж в 4-3 рази річний консолідований показник Ebitda. Показники коефіцієнта заборгованості або даних для його розрахунку (борг компаній і Ebitda) були взяті зі звітів компаній за 2007-2015 рр.

2. Результати дослідження

Конкурентноспроможність енергогенеруючого портфеля. Результати розрахунків (табл. 1) вказують на наступні тенденції:

– менш ризиковим і менш витратним є не лише більш диверсифікований портфель (Enel в Іспанії в порівнянні із Італією, Fortum у Фінляндії в порівнянні із Швецією та ін.), але й той портфель, що містить меншу частку вугільної і газової потужностей – GDF Suez в Німеччині, Португалії та Іспанії, E.On у Франції, Іспанії та Бельгії, та ін. [15]. Це пояснюється тим, що «традиційним» викопним паливам притаманний високий ризик, зокрема в частині викидів CO₂ та витрат на паливо. Загалом, в контексті країн, більш ризиковими виявляються Італія, Іспанія, Німеччина (в основному через переважання газової генерації в Італії і Іспанії, вугільної і атомної генерації в Німеччині, а також через більш високий рівень LCOE), менш ризиковими - Франція, Швеція, Фінляндія, Бельгія, Нідерланди і Португалія;

– за деяким виключенням, чим більшою є загальна встановлена потужність в країні, тим більше даний портфель є диверсифікованим. Проте, якщо мова йде про енергопортфель, в якому лівова частина належить тому джерелу генерації електроенергії, який є базовим в країні (атомна енергія у Франції, гідроенергія в Швеції), то загальний його обсяг в даній країні може поступатися обсягу енергопортфеля даної компанії в інших країнах. Так, обсяг загальної встановленої потужності EDF у Франції в 27 разів перевищує загальну генеруючу потужність компанії в країнах Бенелюкс, але є і менш диверсифікованим. Франція виділяється серед інших країн тим, що обсяг атомної потужності компанії в країні є найбільшим у порівнянні із іншими компаніями – 55,1 ГВт, дана потужність є базовою протягом багатьох років, має значну сформовану інфраструктуру і державну підтримку, перехід від даного джерела генерації електроенергії означатиме значні фінансові витрати і виникнення питань балансування попиту-пропозиції на електроенергію. Аналогічна ситуація спостерігається і з гідрогенерацією в Швеції, зокрема на прикладі компанії Vattenfall;

Таблиця 1

Структура енергогенеруючих портфельів компаній в країнах ЄС станом на 2014 р.
(встановлена потужність, МВт); показники вартості, віддачі і ризику енергопортфельів

Компанія	EDF				GDF Suez					
	Франція	Італія	Бенелюкс	Бельгія	Франція	Німеччина	Італія	Португалія	Іспанія	Нідерланди
Країна										
(Буре) вугілля	8217	3420	1293,6	1641	15	-	591	576	-	1448
Природний газ	5478	2280	862,4	2850	2191	283	5232	1830	1973	3071
Гідро-енергія	19947	1400	69	1186	3808	132	73	33	65	-
Енергія вітру	-	600	60	175	1426	196	158	650	-	56
Енергія сонця	-	-	60	-	-	-	-	-	-	-
ТЕЦ на біомасі	-	-	60	260	52	20	13	-	-	180
Атомна енергія	55139	-	900	4100	1200	600	-	-	-	-
Всього встановленої потужності	88781	7700	3305	10212	8692	1231	6067	3089	2038	4755
Вартість портфеля	83,04	84,88	38,71	122,92	95,34	13,73	82,65	33,03	20,33	52,77
Віддача портфеля	0,0121	0,0122	0,0050	0,0156	0,0135	0,0019	0,0077	0,0049	0,0034	0,0072
Ризик портфеля	0,321	0,420	0,174	0,467	0,327	0,052	0,495	0,187	0,192	0,341
Компанія	E.ON				RWE			Enel		
Країна	Німеччина	Швеція	Франція	Італія	Іспанія	Бельгія	Німеччина	Бельгія/Нідерланди	Італія	Іспанія (Іберія)
(Буре) вугілля	-	-	-	-	-	-	15609	2789	6486	5306
Природний газ	1989	1014	828	3710	2010	385	4411	3256	5199	5445
Гідро-енергія	972	2046	-	531	689	-	375	-	12698	4764
Енергія вітру	220	125	84	328	648	-	539	-	554	598
Енергія сонця	-	-	11	50	100	-	1	-	554	598
ТЕЦ на біомасі	-	-	-	-	-	-	5	-	554	598
Атомна енергія	5746	2511	-	-	-	-	3908	146	-	3318
Всього встановленої потужності	8927	5696	923	4619	3447	385	24848	6191	26045	20626
Вартість портфеля	103,40	60,16	9,63	63,15	36,66	-	561,75	66,27	291,84	216,50
Віддача портфеля	0,0133	0,0092	0,0015	0,0860	0,0056	-	0,0739	0,0103	0,0396	0,0322
Ризик портфеля	0,450	0,212	0,076	0,340	0,190	0,035	2,511	0,440	1,215	0,874
Компанія	Iberdrola			Vattenfall		Fortum				
Країна	Іспанія	Швеція	Німеччина	Нідерланди	Фінляндія	Швеція				
(Буре) вугілля	874	-	10633	650	1212	-				
Природний газ	5695	-	1707	4100	284	-				
Гідро-енергія	9712	8175	2880	24	1526	3088				
Енергія вітру	5753	-	-	-	-	-				
Енергія сонця	50	-	-	-	-	-				
ТЕЦ на біомасі	-	189	112	2	55	-				
Атомна енергія	3410	6974	-	-	1460	1820				
Всього встановленої потужності	25494	15338	15332	4776	4537	4908				
Вартість портфеля	270,41	171,79	149,66	50,35	54,91	53,90				
Віддача портфеля	0,0407	0,0231	0,0270	0,0077	0,0067	0,0077				
Ризик портфеля	0,866	0,576	1,021	0,394	0,168	0,198				

– більший фізичний обсяг портфелю означає менший ризик з точки зору покриття необхідного попиту, проте характеризується також і більшим ризиком зміни доходності портфелю, оскільки більша величина портфелю вимагає більший обсяг витрат.

При цьому, в динаміці років (2012-2015 рр.) в країнах наявною є тенденція до збільшення потужностей вітрових і сонячних установок проти скорочення генеруючої потужності вугільних і газових електростанцій (рис. 1).

Динаміка обсягу відпуску електроенергії на одиницю вартості за період 2012-2015 рр. вказує на здешевлення генерації сонячної енергії майже на 60% проти зростання вартості генерації електроенергії з викопних палив (вугілля, природний газ, уран) на порядку 30%. Це є логічним свідченням того, що за останні роки загальна вартість сонячних установок знизилася на порядку 50 відсотків [14].

Таким чином, йде тенденція до того, що зростатиме частка джерел із низьким ризиком і зменшення частки джерел із високим ризиком, але за умови зростання фізичного обсягу відпуску електроенергії на одиницю вартості перших і зменшення фізичного обсягу відпуску електроенергії на одиницю вартості останніх (див. рис. 1, напрям стрілок вказує на зростання чи падіння встановленої потуж-

ності відповідно у 2015 році в порівнянні із 2012 р.).

Все вищезазначене призводить до того, що не дивлячись на високий ризик коливання доходності, притаманний вугіллю, природному газу, біомасі, урану, а також відповідним енергогенеруючим портфелям, вони, як правило, мають інші переваги, які є суттєвими для компаній в частині прийняття рішень щодо їх розвитку – є гнучкими в плані транспортування-зберігання-використання, передбачуваними з точки зору обсягу згенерованого продукту для задоволення попиту, заводи з їх використання характеризуються тривалістю економічного циклу життя та ін.

Енергогенеруючий портфель з точки зору безпеки енергопостачання. Нижче наведено перелік ризиків, які безпосередньо пов'язані з енергетичною безпекою, а також те, в якій мірі різні джерела генерації електроенергії є уразливими для цих ризиків (табл. 2).

Серед всіх перерахованих ризиків, саме фінансові і економічні ризики (особливо ризики коливання оптових цін на електроенергію, обсягу згенерованої електроенергії, змін попиту на електроенергію і газ, а також змін ціни на паливо і CO₂), а також технологічні ризики суттєво впливають на результат операцій підприємств із різними джерелами генерації електроенергії.

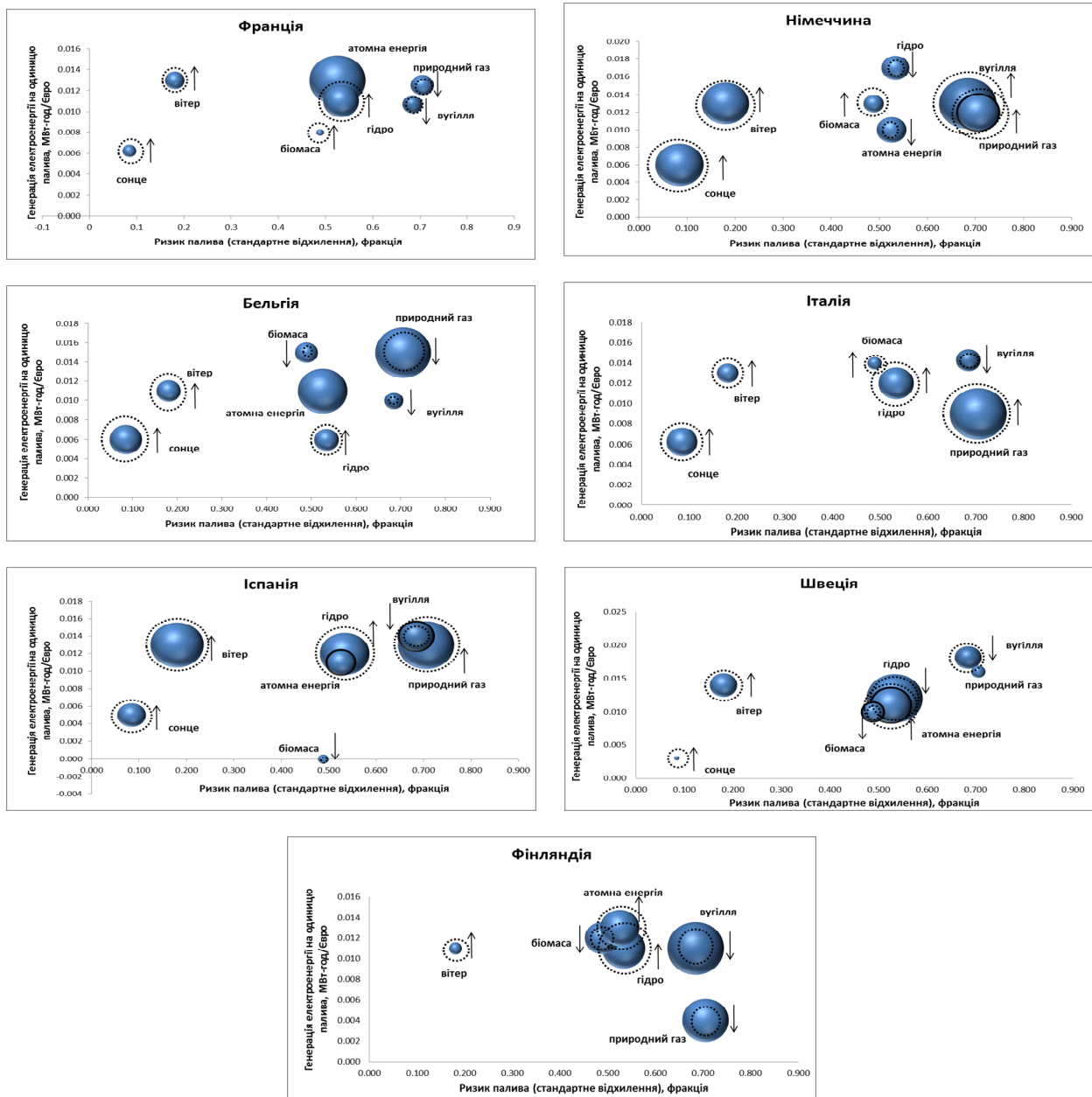


Рис. 1. Візуалізація балансування різних джерел генерації електроенергії з точки зору фізичної віддачі (вісь Y), ризику (вісь X) і встановленої генеруючої потужності (розмір бульбашки, ГВт-год на рік) на 2012 рік із тенденцією на 2015 рік (точечні бульбашки) в розрізі країн-членів ЄС

В цілому, більше ризиків стосується саме вугілля, природного газу та атомної енергії. Так, компанія Fortum прийняла рішення про припинення проекту УЗВ (уловлювання і збереження вуглецю) Мері-Порі через переважання технологічних і фінансових перепон. У Німеччині та Нідерландах багато газових і кілька вугільних електростанцій компанії RWE були закриті через низьку рентабельність та нездатність покрити експлуатаційні витрати.

В цілях захисту від волатильності оптових цін на електроенергію компанії страхують виробництво та продаж електроенергії за рахунок використання фізичних і фінансових форвардних контрактів і

довгострокових контрактів із клієнтами.

У звітах компаній, як правило, відображаються загальний процентний обсяг застрахованих активів; лише звіт компанії RWE розкриває те, що на початок 2016 р. компанією було застраховано більш ніж 90% потужності, що працює на ядерному паливі і бурому вугіллі, а також більш ніж 60% потужності на основі кам'яного вугілля і природного газу на ринках Німеччини, Великобританії і країн Бенелюксу (за 2015 рік ці дані склали 90% і 70% відповідно, а на 2017 р. відповідні показники перевищували 70% і 10% відповідно станом на початок 2016 р.) [18].

Таблиця 2

Ризики, що притаманні різним джерелам генерації електроенергії і впливають на безпеку енергопостачання (адаптовано з [17])

Тип ризику	Вірогідність дії протягом наступних десятиліть	Джерела генерації електроенергії, для яких притаманний певний ризик						
		Вугілля	Природний газ	Гідроенергія	Енергія вітру	Енергія сонця	Енергія біомаси	Атомна енергія
Фінансові ризики								
Ризик підвищення цін на паливо	середній	X	X	-	-	-	-	-
Ризик коливання ціни на електроенергію	високий-середній	X	X	X	X	X	X	X
Ризик обсягу	низький	X	X	X	X	X	X	X
Економічні ризики								
Недостатній обсяг інвестицій	високий	X	X	X	X	X	X	X
Підрив існуючого ринку	середній	-	X	X	X	X	-	-
Незбалансованість ціни на електроенергію	високий	-	X	-	-	-	-	-
Колівання попиту	середній	X	X	-	-	-	-	-
Геополітичні ризики								
Добровільне зниження виробництва електроенергії	низький-середній	-	X	-	X	X	X	X
Примусове зниження виробництва електроенергії	низький-середній	-	X	-	-	-	-	-
Ризик транспорту/транзиту	низький-середній	-	X	-	-	-	X	-
Ресурсний націоналізм	високий	-	X	-	-	-	-	X
Геологічні ризики								
Виснаження/нестача ресурсу	низький	X	X	-	-	-	X	X
Природоохоронні ризики								
Аварії	середній	-	-	-	-	-	-	X
Зміна клімату	середній	X	X	-	-	-	-	-
Ризиковий процес виробництва електроенергії	середній-високий	X	-	-	-	-	X	X
Технологічні ризики								
Відмова в системі	середній	X	X	X	X	X	X	X
Ризик переривчастості джерела електроенергії	середній	-	-	-	X	X	X	X

Загалом, надійність і безперервність постачання електроенергії в країнах ЄС залежить не скільки від фізичних запасів і доступу до енергоносіїв, скільки від економічної ситуації в самих країнах, політичної ситуації в країнах-імпортерах палива, регулювання енергетики, а останнім десятиліттям - і від впливу на довкілля.

Енергогенеруючий портфель в контексті впливу на навколишнє природне середовище та ефективність генерації електроенергії. Вважається, що трансформація структури енергопортфелю в сторону такої, що містить більше енергоефективних (споживають меншу кількість енергії) і низьковуглецевих технологій генерації електроенергії, сприятиме потенціалу для зниження витрат, стимулюванню економічного зростання, декарбонізації і боротьбі зі зміною клімату. З іншого боку, слід відмітити, що новітні технології генерації електроенергії (наприклад, вугільні технології інтегрованої газифікації комбінованого циклу (англ. IGCC)), маючи суттєвий потенціал підвищення енергоефективності і зменшення викидів, є дуже складними в експлуа-

тації, що знижує гнучкість і доступність технології (оскільки енергоефективність додає вартість).

Взагалі ті технології, які генерують меншу кількість викидів, є, як правило, і менш енергоефективними [22]. Виключення складає лише гідроенергетика, яка має найвищу ефективність серед всіх енергогенеруючих технологій, доступних на даний час і низький рівень викидів. Вугільні, газові станції, а також ТЕЦ, що працюють на біомасі, займають друге місце за ефективністю. Фотовольтаїчна енергія має найнижчий ККД, набагато менший за інші технології [23].

Порівнюючи викиди парникових газів (ПГ) цих технологій, результат є протилежним - середній рівень викидів ПГ на вугільній електростанції є найбільшим - близько 971 г CO₂-екв/кВт-год; використання природного газу характеризується відносно низькими викидами CO₂ (499 г CO₂-екв/кВт-год). Передбачається, що при застосуванні УЗВ (уловлювання і зберігання вуглецю), середній рівень викидів ПГ на газових електростанціях має знизитися до порядку 170 г CO₂-екв/кВт-год. Викиди АЕС, навіть

враховуючи викиди, пов'язані із додатковими заходами з безпеки, є нижче, ніж викиди від викопних палив і сягають порядку 33 г CO₂-екв/кВт-год.

Заводи з ВЕС в процесі генерації електроенергії мають значно нижчий рівень викидів – 11 г CO₂-екв/кВт-год; але процес їх будівництва, виведення з експлуатації, виробництва необхідних компонентів не є низько вуглецевим: 98% викидів від 20-25-річної роботи ВЕС припадає на виготовлення та монтаж вітрових турбін. Як правило, в силу технічних характеристик і місце розташування, морські вітряні турбіни генерують більше викидів, ніж наземні.

Велика ГЕС викидає еквівалент від 10 до 30 грамів CO₂ на кожен кВт-год згенерованої електроенергії, при цьому її основний вуглецевий слід надходить з процесів будівництва станції та виведення її з експлуатації. У випадку біомаси, використання у виробництві електроенергії якої також є низько вуглецевим (45 г CO₂-екв/кВт-год), слід, однак, відмітити те, що досі немає жодних міжнародних критеріїв, що визначають так звану «сталу» біомасу, а методам її культивування та виробництва бракує керуваної і стійкої основи [24].

Окрім викидів, слід також враховувати який обсяг землі є необхідним для побудови і функціонування тієї чи іншої електростанції. Так, низьковуглецеві і високо-ефективні ТЕЦ на біомасі потребують найбільший обсяг землі, який становить порядку 5000 км² на 1ГВт встановленої потужності, в порівнянні із іншими станціями, що використовують викопне чи атомне паливо і потребують в середньому 2,5 км² на 1ГВт встановленої потужності. ГЕС, вітрові і сонячні станції також поступаються традиційним станціям, оскільки їх потреби в землі становлять приблизно 750, 100 та 35 км² відповідно на 1ГВт встановленої потужності [23].

В економічному контексті корисним є порівняння технологій з точки зору вартості уникнення викидів CO₂, яка визначає вартість скорочення викидів за рахунок витіснення генерації на основі викопного палива, і виражається в одиниці вартості за тону CO₂ (табл. 3). Скорочення викидів CO₂ в атмосферу залежить від типу призупиненої чи виведеної з експлуатації ТЕС, що працює на викопному паливі в результаті інвестицій у низько вуглецеві технології.

Стосовно вартості уникнення викидів CO₂, то найнижче, навіть негативне, значення належить діючим ГЕС та АЕС, оскільки рівень LCOE на цих станціях є нижчим, ніж на вугільних ТЕС. Це означає, що при можливості збільшення генерації на ГЕС / АЕС задля зменшення або заміщення вугільної генерації, загальна вартість скорочення викидів CO₂ падатиме. Проте, відповідно до вище-

проведеного аналізу, збільшення генерації за рахунок побудови нових великих ГЕС та новітніх АЕС є малоймовірним.

Більше того, порівнюючи новітні вугільні ТЕС (із технологією УЗВ) та АЕС і ВЕС, то останні, хоча і мають порівняно низькі витрати на скорочення викидів, але є обмеженими через проблеми поводження з радіоактивними відходами або брак в наявності ресурсів (берегового вітру). Оскільки витрати на сонячні системи на сьогоднішній день ще залишаються досить коштовними, то їх витрати на пом'якшення вуглецевих викидів є в два-три рази більшими, ніж на вугільних ТЕС, оснащених технологією УЗВ [25, 26]. Вартість уникнення викидів CO₂ для газових станцій є вищою за вугільні, оскільки обсяг уникнених викидів на кВт-год згенерованої електроенергії для них є меншим.

Аналізуючи склад енергопортфелів компаній з приводу кількості низько вуглецевої і більш енерго-ефективної потужності (рис. 2), наявним є те, що компанії намагаються зменшити розрив між високо-ефективною /низько-вуглецевою гідро-потужністю та низько-ефективною / високо-вуглецевою вугільною і газовою потужностями. У той же час, більшість компаній мають значну кількість низько вуглецевого ядерного потенціалу, який також характеризується відносно невеликими потребами в землі і низькою вартістю запобігання викидам вуглекислого газу. Обсяг низько вуглецевої вітрової і сонячної потужностей, а також ТЕЦ на основі біомаси, що характеризуються досить великими потребами в землі та високою ціною уникнення викидів (особливо в разі сонячної енергії) є невеликим.

Таблиця 3
Вартість уникнення викидів CO₂,
дол. США за тону CO₂*

Вугілля	Природний газ	Гідро-енергія	Енергія вітру	Енергія сонця	Енергія біомаси	Атомна енергія
23-92	67-106	від -27 до 0	від -8 до 16	182-239	9-49	від -7 до 25

* Вугільні і газові технології, оснащені УЗВ

Таким чином, потенціал збільшення високо-ефективної / низько вуглецевої потужності може бути обмежено технічними вимогами і вартістю заходів з підвищення потужності з метою задоволення необхідного попиту і здійснення відповідних кроків з модернізації обладнання.

Загальна схема при здійсненні балансування різних джерел генерації електроенергії представлена на рис. 3.

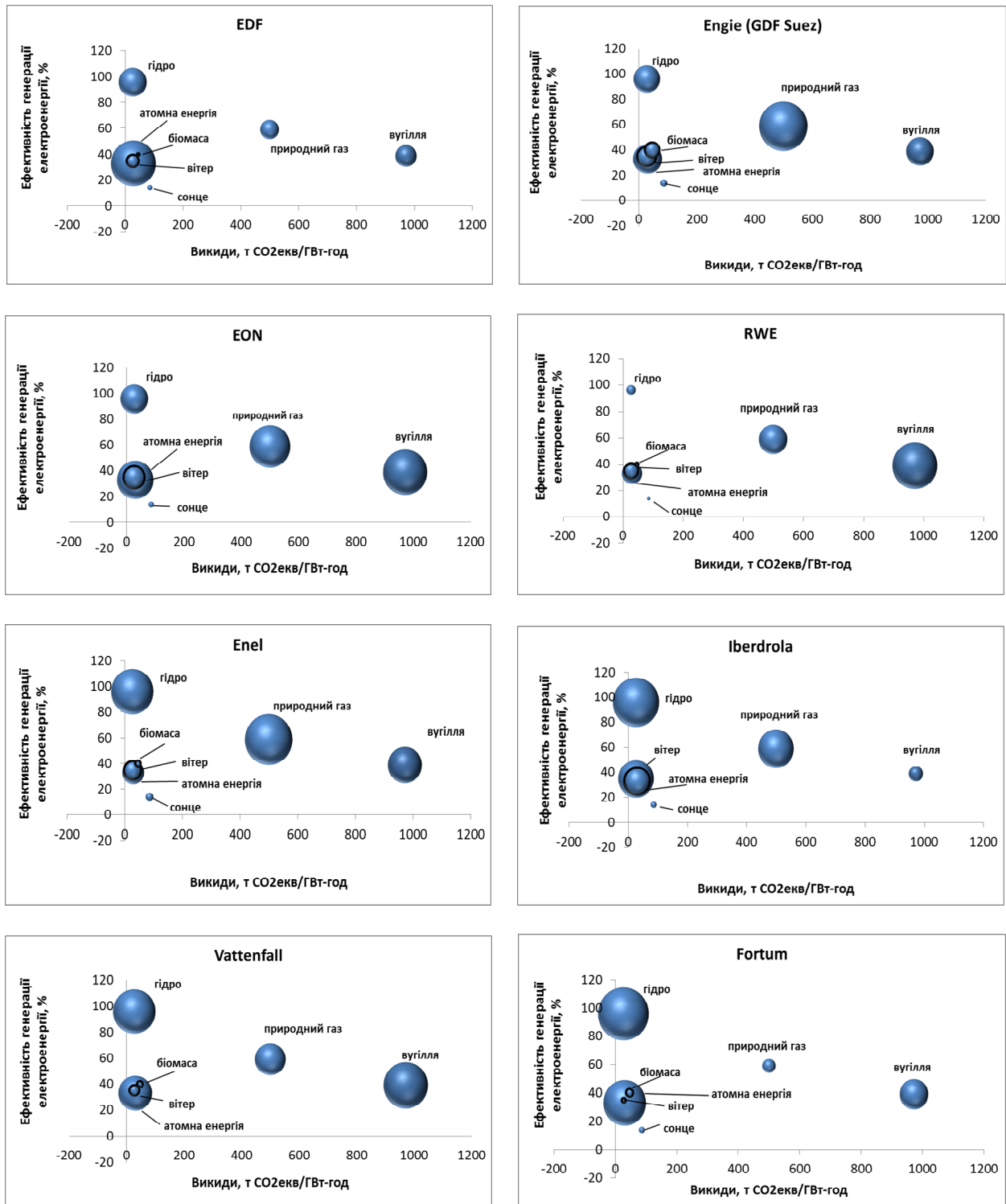


Рис. 2. Візуалізація балансування різних джерел генерації електроенергії компанії з точки зору енергоефективності (вісь Y), викидів ПГ (вісь X) і встановленої генеруючої потужності (розмір бульбашки, ГВт-год на рік) на 2014 рік

	Зміцнення конкурентоспроможності		Забезпечення енергетичної безпеки		Зниження впливу на довкілля	
	Сприяє / Перешкоджає		Сприяє / Перешкоджає		Сприяє / Перешкоджає	
Вугілля (буре вугілля)	тривале економічне життя заводу; є гнучкими в плані транспортування-зберігання-використання; передбачуване з точки зору згенерованої електроенергії	висока волатильність витрат; низький обсяг відпуску електроенергії на одиницю вартості	не існує проблем у доступі до ресурсу; в наявності є ефективна інфраструктура транспортування і зберігання вугілля	фінансові, економічні, і технологічні ризики, що впливають на безпеку енергопостачання; необхідність модернізації існуючого парку вугільних ТЕС	прийнятний ККД; потреба у кількості землі для електростанції є невеликою	значні викиди ПГ і димових газів
Природний газ	тривале економічне життя заводу; є відносно гнучким в плані транспортування-зберігання-використання; передбачуване з точки зору згенерованої електроенергії	висока волатильність витрат; низький обсяг відпуску електроенергії на одиницю вартості	в наявності є ефективна інфраструктура транспортування і зберігання скрапленого природного газу; сланцевий газ широко розглядається як нетрадиційний тип викопного палива, але позиція щодо нього є різною	фінансові, економічні, геополітичні і технологічні ризики, що впливають на безпеку енергопостачання; невизначено питання ціни на ресурс	прийнятний ККД; потреба у кількості землі для електростанції є невеликою	значні викиди ПГ і димових газів; висока вартість уникнення викидів ПГ
Гідроенергія	низька волатильність витрат; високий обсяг відпуску електроенергії на одиницю вартості; тривале економічне життя заводу; передбачуване з точки зору згенерованої електроенергії	витрати на будівництво нових великих ГЕС є високими	не існує проблем у доступі до ресурсу	притаманні фінансові і технологічні ризики; потенціал річок для великої гідроенергетики в ЄС на сьогодні майже вичерпано	високий ККД; потреба у прийнятній кількості землі для електростанції; незначні викиди ПГ	існує загроза біорізноматттю
Енергія вітру	низька волатильність витрат; високий обсяг відпуску електроенергії на одиницю вартості	нетривале економічне життя заводу; не є гнучкими в плані транспортування-зберігання-використання; передбачуване з точки зору згенерованої електроенергії	не існує проблем у доступі до ресурсу	фінансові і технологічні ризики; енергія є нестійкою і великомасштабне зберігання згенерованої електроенергії ще не є економічно життєздатним	прийнятний ККД; потреба у прийнятній кількості землі для електростанції; незначні викиди ПГ	переповненість пейзажу, негативне втручання у флору і фауну, появу тривожного шуму, мерехтливої тіні від роботи лопаті вітряка
Енергія сонця	низька волатильність витрат; високий обсяг відпуску електроенергії на одиницю вартості	нетривале економічне життя заводу; не є гнучкими в плані транспортування-зберігання-використання; передбачуване з точки зору згенерованої електроенергії	не існує проблем у доступі до ресурсу	фінансові і технологічні ризики; енергія є нестійкою і великомасштабне зберігання згенерованої електроенергії ще не є економічно життєздатним	потреба у прийнятній кількості землі для електростанції; незначні викиди ПГ	низький ККД; висока вартість уникнення викидів ПГ; переповненість пейзажу, негативне втручання у флору і фауну
Енергія біомаси	високий обсяг відпуску електроенергії на одиницю вартості; є відносно гнучкою в плані транспортування-зберігання-використання; передбачуване з точки зору згенерованої електроенергії	висока волатильність витрат; нетривале економічне життя заводу;	наявність в ЄС сприятливих і великих площ для вирощування сільськогосподарських культур біомаси	фінансові і технологічні ризики; залишається невирішеним те, скільки енергії з с/г біомаси буде доступно в ЄС для портів електроенергетики	прийнятний ККД; незначні викиди ПГ	потреба у великій кількості землі для електростанції; використання великої частки біомаси в енергопортфелі створює ризик погіршення ефективності станції
Атомна енергія	тривале економічне життя заводу; передбачуване з точки зору згенерованої електроенергії	висока волатильність витрат; низький обсяг відпуску електроенергії на одиницю вартості	не існує проблем у доступі до ресурсу	економічні, природоохоронні і технологічні ризики, що впливають на безпеку енергопостачання	прийнятний ККД; потреба у кількості землі для електростанції є невеликою; незначні викиди ПГ	питання утилізації ВЯП та РАВ є відкритим

Рис. 3. Схема чинників, що сприяють чи перешкоджають балансуванню джерел генерації електроенергії в контексті зміцнення конкурентоспроможності, забезпечення енергетичної безпеки і зниження впливу на довкілля

Як показує схема, не існує такого джерела електроенергії, який може одночасно сприяти і при цьому не перешкоджати як зміцненню конкурентоспроможності, так і забезпеченню енергетичної безпеки, а також зниженню впливу на довкілля. Таким чином, виникає питання про готовність компаній щодо прийняття певних бар'єрів, які існують при використанні конкретного джерела генерації електроенергії. Ця готовність залежить від ставлення і вразливості компанії до ризику.

Ставлення компанії до ризику. Динаміка показників коливаннями коефіцієнта боргу компанії за останні роки представлена в табл. 4.

У 2014 році деякі компанії показують падіння прибутків, і, як результат, збільшення фактору боргу. В GDF Suez це, як повідомляється, обумовлено зниженням цін на нафту і газ, в E.On – це, в першу чергу, відображає зміни валютних коливань і зниження продажів електроенергії. Як результат, обидві групи були вимушені скоротити операційні витрати. Показник Ebitda в RWE та E.On продовжує знижен-

ня, яке розпочалося в 2011 р. і основні причини якого криються у скороченні тривалості життєвого циклу німецьких АЕС і введенні податку на ядерне паливо. Підвищення ефективності та продаж активів були серед заходів компаній, направлених на зміцнення фінансової позиції. Падінню Ebitda в RWE у 2014 р. сприяли також перегляд ціни на газ із Газпромом, падіння рентабельності виробництва електроенергії, «м'яка» зима і т.д. [27 – 29].

Суттєве падіння прибутку на 21,8 млрд шведських крон за 2013-2014 рр. показала компанія Vattenfall (хоча показники Ebitda залишалися в середньому на рівні 4,9 млрд. євро протягом 2007-2014 рр.). Це стало результатом падіння оптових цін на електроенергію, що негативно вплинуло на рентабельність традиційної генерації і, поряд із подальшим закриттям АЕС в Швеції і виходу з вугільного ринку в Данії, спричинило збиток від знецінення в розмірі приблизно 36 млрд. шведських крон у другому кварталі 2015 р. [30, 31].

Таблиця 4

Рівні фактора заборгованості для енергетичних компаній протягом 2007-14рр.*

Рік / Компанія	EDF	GDF Suez	Enel	E.On	RWE	Vatten fall	Iber Drola	For Tum
Межа коефіцієнта боргу	н/і **	≤ 2,5	≤ 4,5	≤ 3	≤ 3	≤ н/і	≤ н/і	≤ 3
2014	2-2,5	2,27	3,2	4,0	4,3	3,9	3,7	1,1
2013	2,1	2,02	2,9	3,5	3,9	3,7	4,0	3,7
2012	2,6	2,58	2,8	3,3	3,5	2,1	3,9	3,1
2011	н/і	2,28	2,7	3,9	3,6	2,6	4,2	2,3
2010	н/і	2,19	2,3	2,8	2,8	2,4	4,0	3,0
2009	н/і	н/і	4,4	3,4	2,8	3,0	4,4	2,5
2008	н/і	н/і	4,8	3,2	2,1	1,4	н/і	2,6
2007	н/і	н/і	н/і	1,9	0,6	1,0	н/і	1,9

*Числа в жирному шрифті вказують на ситуації, коли коефіцієнт боргу перевищує його межу;

** н/і – немає інформації

В цілому, на базі ринкової капіталізації компанії EDF, GDF Suez, Enel, E.On і RWE колективно втратили 37% своєї вартості з 2008 по 2013 рр. Це дозволяє припустити, що зазначені вище компанії навряд чи прийматимуть нові ризики в майбутньому [32, 33].

Найбільш позитивна тенденція спостерігалась в компанії Fortum, яка показала найвище (серед розглянутих компаній) зростання Ebitda - на 1,9 млрд євро в 2014 р. в порівнянні із 2013 р., а також найнижче значення фактору боргу за весь період. Це сталося в основному за рахунок більш високих обсягів виробництва гідроенергії, зниження експлуатаційних витрат і зміцнення національної валюти, що компенсувало негативні наслідки від збитків на загальну суму 20 млн. євро в 2013 р. у зв'язку із рішенням про припинення виробництва електроенергії на вугільній ТЕС Інко в Фінляндії [26].

Висновки

Підводячи підсумок, аналіз балансування енергетичного портфелю компаній підтверджує те, що в основному позиція компанії до ризику і можливих проблем, пов'язаних із конкретними джерелами генерації електроенергії змушують її обирати певний склад енергогенеруючого портфеля. Ця позиція і визначає те, наскільки збалансованим є енергопортфель. Оскільки основу енергетичної позиції ЄС складають конкурентоспроможність енергопортфеля, його здатність забезпечити надійне і стабільне постачання електроенергії і звести до мінімуму вплив на довкілля, можна зробити висновок про те, що в даний час компанії все ще мають левову частку традиційної і атомної генерації, але на майбутні періоди ситуація зміниться в сторону інтеграції технологій з (одночасно) більш високою ефективні-

стю, нижчою вартістю, зменшеними ризиками поставок палива і впливу на довкілля [35, 36].

Література

1. Toyoda, M. *The Best Energy Mix and the Need for Comprehensive Viewpoints [Електронний ресурс] / M. Toyoda. – Режим доступу: <http://eneken.ieej.or.jp/data/4857.pdf>. – 15.10.2016.*
2. McDonough, E. *Managing Project Portfolios [Text] / E. Mcdonough, F. Spital // Research-Technology Management. – 2003. – vol. 46, no. 3. – P. 40–46.*
3. Cooper, R. *Portfolio Management for New Product Development: Results of an Industry Practices Study [Text] / R. Cooper, S. Edgett, E. Kleinschmidt // R&D Management, Industrial Research Institute, Inc. – 2001. – vol. 31, no. 4. – P. 361-380. DOI: 10.1111/1467-9310.00225.*
4. Awerbuch, S. *Efficient Electricity Generating Portfolios for Europe: Maximising Energy Security and Climate Change Mitigation [Text] / S. Awerbuch, Y. Spencer // EIB Papers. – 2007. – vol. 12, iss. 2. – P. 8-37. ISSN 0257-7755.*
5. Bitman, W. *R&D Portfolio Management Framework for Sustained Competitive Advantage [Text] / W. Bitman // IEEE International Engineering Management Conference. – Proceeding IEEE, 2005. – P. 775-779. DOI: 10.1109/IEMC.2005.1559254.*
6. Padovani, M. *Project Portfolio Adjustment and Balance: the Case of a Company in the Chemical Sector [Text] / M. Padovani, M. Monteiro De Carvalho, A. Muscat // Produção. – 2012. – vol. 22, no. 4. – P. 674-695. DOI: 10.1590/S0103-65132012005000064.*
7. Matos, E. *Selection of Portfolios of Electricity Generation Projects: an Exploratory Study [Електронний ресурс] / E. Matos, P. Ferreira,*

J. Cunha. – Режим доступу: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26112/1/matos_ferreira_cunha_artigo_IECC_final.pdf. – 15.10.2016.

8. Mikkola, J. *Portfolio Management of R&D Projects: Implications for Innovation Management* [Text] / J. Mikkola // *Technovation*. – 2001. – vol. 21, no. 7. – P. 423-435. DOI: 10.1016/S0166-4972(00)00062-6.

9. Bhattacharya, A. *Power Sector Investment Risk and Renewable Energy: A Japanese Case Study Using Portfolio Risk Optimization Method* [Text] / A. Bhattacharya, S. Kojima // *Energy Policy*. – 2012. – vol. 40. – P. 69-80. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.09.031.

10. Cucchiella, F. *Modeling Optimal Investments With Portfolio Analysis in Electricity Markets* [Text] / F. Cucchiella, I. D'adamo, M. Gastaldi // *Energy Education Science and Technology, Part A: Energy Science and Research*. – 2012. – vol. 30, iss. 1. – P. 673-692.

11. *The Shift Project Data Portal* [Електронний ресурс]: *Energy and Climate Data*. – Режим доступу: www.tsp-data-portal.org. – 20.11.2016.

12. Salvatore, J. *World Energy Perspective. Cost of Energy Technologies* [Електронний ресурс] / J. Salvatore. – Режим доступу: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC_J1143_CostofTECHNOLOGIES_021013_WE_B_Final.pdf. – 27.01.2017.

13. Bazilian, M. *Analytical methods for energy diversity and security: portfolio optimization in the energy sector: a tribute to the work of Dr. Shimon Awerbuch* [Text] / M. Bazilian, F. Roques. – Elsevier : *Business & Economics*, 2009. – 364 p.

14. Ball, B. *Notes on Exploration and Production Portfolio Optimization* [Електронний ресурс] / B. Ball, S. Savage. – Режим доступу: <http://web.stanford.edu/~savage/faculty/savage/Notes.PDF>. – 10.11.2016.

15. Zaslavskiy, V. *Type Variety Principle and the Algorithm of Strategic Planning of Diversified Portfolio of Electricity Generation Sources* [Text] / V. Zaslavskiy, M. Pasichna // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2017. – vol. 582. – P. 474-485.

16. Frankel, D. *The Disruptive Potential of Solar Power* [Електронний ресурс] / D. Frankel, K. Ostrowski, D. Pinner. – Режим доступу: <http://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/the-disruptive-potential-of-solar-power>. – 10.11.2016.

17. Checchi, A. *Long-Term Energy Security Risks for Europe: A Sector-Specific Approach*. CEPS working document [Електронний ресурс] A. Checchi, A. Behrens, C. Egenhofer. – Режим доступу: <http://ssrn.com/abstract=1334620>. – 20.11.2016.

18. *Transforming RWE and Securing a Sound Financial Base* [Електронний ресурс] / RWE. – Режим доступу: <https://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/2758922/data/2495606/26/rwe/investor-re>

[relations/presentations/RWE-Company-Presentation-2016-06-29.pdf](https://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/2758922/data/2495606/26/rwe/investor-re). – 20.11.2016.

19. *Sustainable Power Generation from Fossil Fuels: Aiming for Near-Zero Emissions from Coal After 2020* [Електронний ресурс] / Commission of the European Communities. – Режим доступу: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0843:FIN:EN:PDF>. – 30.11.2016.

20. *European Biomass Residues - 269 MTOE of green Energy for a sustainable Biobased Economy* [Електронний ресурс] / EUBIA. – Режим доступу: http://www.eubren.com/EUROPEAN_BIOMASS_RESIDUES_EUBIA.pdf. – 20.11.2016.

21. *Nuclear Power in the European Union* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union.aspx>. – 30.11.2016.

22. *Efficiency in Electricity Generation* [Text] / A report drafted by EURELECTRIC «Preservation of Resources» Working Group's «Upstream» Sub-Group in collaboration with VGB. – 2003. – 30 p.

23. Evans, A. *Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies* [Text] / A. Evans, V. Strezov, T. Evans // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2009. – no. 13. – P. 1082-1088. DOI: 10.1016/j.rser.2008.03.008.

24. *Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources* [Електронний ресурс] / World Nuclear Association - Режим доступу: http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf. – 20.11.2016.

25. Abellera, C. *The costs of CCS and other low-carbon technologies* [Text] / C. Abellera, C. Short. – *Issues Brief*, 2011. – no. 2. – 12 p.

26. Chatzimouratidis, A. *Multicriteria evaluation of power plants impact on the living standard using the analytic hierarchy process* [Text] / A. Chatzimouratidis, P. Pilavachi // *Energy Policy*. – 2008. – vol. 36, iss. 3. – P. 1074-1089. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.11.028.

27. *Management Report and Annual Financial Consolidated Statements* [Електронний ресурс] / GDF Suez. – Режим доступу: <https://www.engie.com/wp-content/uploads/2015/03/gdf-suez-management-report-and-annual-consolidated-financial-statements-2014.pdf>. – 30.11.2016.

28. *2014 Annual Report* [Електронний ресурс] / E.ON. – Режим доступу: https://www.eon.com/content/dam/eon-com/ueber-uns/publications/150312_EON_Annual_Report_2014_EN.pdf. – 30.11.2016.

29. *Annual Report 2014* [Електронний ресурс] / RWE. – Режим доступу: <http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/2696788/data/2331574/6/rwe/investor-reports/2014/RWE-Annual-Report-2014.pdf>. – 30.11.2016.

30. Vattenfall's second quarter 2015: Substantial impairment losses and continued low electricity prices [Електронний ресурс] / Vattenfall. – Режим доступу: <https://corporate.vattenfall.com/press-and-media/press-releases/2015/vattenfalls-second-quarter-2015-substantial-impairment-losses-and-continued-low-electricity-prices/>. – 20.11.2016.

31. Toward a more sustainable energy portfolio. Annual and sustainability report 2014 [Електронний ресурс] / Vattenfall. – Режим доступу: <https://corporate.vattenfall.co.uk/globalassets/uk/about-us/investor-relations/annual-and-sustainability-report-2014.pdf>. – 30.11.2016.

32. Coal: Caught in the EU Utility Death Spiral [Електронний ресурс] / The Carbon Tracker. – Режим доступу: http://www.carbontracker.org/report/eu_utilities/. – 30.11.2016.

33. 2015-19 Strategic Plan: New foundations for growth [Електронний ресурс] / ENEL. – Режим доступу: <http://strategy2015.enel.com/files/Enel-ID-2015.pdf>. – 30.11.2016.

34. Annual Report 2014 [Електронний ресурс] / Fortum. – Режим доступу: http://apps.fortum.fi/gallery/Fortum_Annual_Report_2014_low.pdf. – 30.11.2016.

35. Заславський, В. А. Застосування МАІ при вирішенні проблеми диверсифікації складу портфеля джерел генерації електроенергії [Текст] / В. А. Заславський, М. В. Пасічна, К. К. Красовська // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія : Фізико-математичні науки. – 2016. – № 2. – С. 78-85.

36. Zaslavskiy, V. Towards the Creation of a Competitive, Diversified Energy Portfolio for Electricity Generating Companies in EU Energy Market Conditions [Електронний ресурс] / V. Zaslavskiy, K. Kravovska, M. Pasichna. – Режим доступу: <https://dataquarterly.eu/edq-article/towards-creation-competitive-diversified-energy-portfolio-electricity-generating>. – 01.03.2017.

Industrial Research Institute, Inc, vol. 31, no. 4, 2001, pp. 361-380. DOI: 10.1111/1467-9310.00225.

4. Awerbuch, S., Spencer, Y. Efficient Electricity Generating Portfolios for Europe: Maximising Energy Security and Climate Change Mitigation. *EIB Papers*, vol. 12, iss. 2, 2007, pp. 8-37. ISSN 0257-7755.

5. Bitman, W. R&D Portfolio Management Framework for Sustained Competitive Advantage. *IEEE International Engineering Management Conference, Proceeding IEEE*, 2005, pp. 775-779. DOI: 10.1109/IEMC.2005.1559254.

6. Padovani, M., Monteiro De Carvalho, M., Muscat, A. Project Portfolio Adjustment and Balance: the Case of a Company in the Chemical Sector. *Produção*, vol. 22(4), 2012, pp. 674-695.

7. Matos, E., Ferreira, P., Cunha, J. Selection of Portfolios of Electricity Generation Projects: an Exploratory Study. Available at: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26112/1/matos_ferreira_cunha_artigo_IECC_final.pdf (accessed 15.10.2016).

8. Mikkola, J. Portfolio Management of R&D Projects: Implications for Innovation Management. *Technovation*, vol. 21(7), 2001, pp. 423-435. DOI: 10.1016/S0166-4972(00)00062-6.

9. Bhattacharya, A., Kojima, S. Power Sector Investment Risk and Renewable Energy: A Japanese Case Study Using Portfolio Risk Optimization Method. *Energy Policy*, vol. 40, 2012, pp. 69-80. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.09.031.

10. Cucchiella, F., D'adamo, I., Gastaldi, M. Modeling Optimal Investments With Portfolio Analysis in Electricity Markets. *Energy Education Science and Technology, Part A: Energy Science and Research*, vol. 30, iss. 1, 2012, pp. 673-692.

11. *The Shift Project Data Portal: Energy and Climate Data*. Available at: www.tsp-data-portal.org (accessed 20.11.2016).

12. Salvatore, J. *World Energy Perspective. Cost of Energy Technologies*. Available at: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC_J1143_CostofTECHNOLOGIES_021013_WEB_Final.pdf (accessed 27.01.2017).

13. Bazilian, M., Roques, F. *Analytical methods for energy diversity and security: portfolio optimization in the energy sector: a tribute to the work of Dr. Shimon Awerbuch*. Elsevier, Business & Economics Publ., 2009. 364 p.

14. Ball, B., Savage, S. *Notes on Exploration and Production Portfolio Optimization*. Available at: <http://web.stanford.edu/~savage/faculty/savage/Notes.PDF> (accessed 10.11.2016).

15. Zaslavskiy, V., Pasichna, M. Type Variety Principle and the Algorithm of Strategic Planning of Diversified Portfolio of Electricity Generation Sources.

References

1. Toyoda, M. *The Best Energy Mix and the Need for Comprehensive Viewpoints*. Available at: <http://eneken.ieej.or.jp/data/4857.pdf> (accessed 15.10.2016).

2. McDonough, E., Spital, F. Managing Project Portfolios. *Research Technology Management*, vol. 46, no. 3, 2003, pp. 40-46.

3. Cooper, R., Edgett, S., Kleinschmidt, E. Portfolio Management for New Product Development: Results of an Industry Practices Study. *R&D Management*,

Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 582, 2017, pp. 474-485.

16. Frankel, D., Ostrowski, K., Pinner, D. *The Disruptive Potential of Solar Power*. Available at: <http://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/the-disruptive-potential-of-solar-power> (accessed 10.11.2016).

17. Checchi, A., Behrens A., Egenhofer C. *Long-Term Energy Security Risks for Europe: A Sector-Specific Approach. CEPS working document*. Available at: <http://ssrn.com/abstract=1334620> (accessed 20.11.2016).

18. RWE. *Transforming RWE and Securing a Sound Financial Base*. Available at: <https://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/2758922/data/2495606/26/rwe/investor-relations/presentations/RWE-Company-Presentation-2016-06-29.pdf> (accessed 20.11.2016).

19. Commission of the European Communities. *Sustainable Power Generation from Fossil Fuels: Aiming for Near-Zero Emissions from Coal After 2020*. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0843:FIN:EN:PDF> (accessed 30.11.2016).

20. EUBIA. *European Biomass Residues - 269 MTOE of green Energy for a sustainable Biobased Economy*. Available at: http://www.eubren.com/EUROPEAN_BIOMASS_RESIDUES_EUBIA.pdf (accessed 20.11.2016).

21. *Nuclear Power in the European Union*. Available at: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union.aspx> (accessed 30.11.2016).

22. *Efficiency in Electricity Generation*. Report drafted by EURELECTRIC "Preservation of Resources" Working Group's «Upstream» Sub-Group in collaboration with VGB, 2003. 30 p.

23. Evans, A., Strezov, V., Evans, T. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 13, 2009, pp. 1082-1088. DOI: 10.1016/j.rser.2008.03.008.

24. World Nuclear Association. *Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Source*. Available at: http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf (accessed 20.11.2016).

25. Abellera, C., Short, C. The costs of CCS and other low-carbon technologies. *Issues Brief*, no. 2, 2011. 12 p.

26. Chatzimouratidis, A., Pilavachi, P. Multicriteria evaluation of power plants impact on the living standard using the analytic hierarchy process. *Energy Pol-*

icy, vol. 36, iss. 3, 2008, pp. 1074-1089. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.11.028.

27. GDF Suez. *Management Report and Annual Financial Consolidated Statements*. Available at: <https://www.engie.com/wp-content/uploads/2015/03/gdf-suez-management-report-and-annual-consolidated-financial-statements-2014.pdf> (accessed 30.11.2016).

28. E.ON. *2014 Annual Report*. Available at: https://www.eon.com/content/dam/eon-com/ueber-uns/publications/150312_EON_Annual_Report_2014_EN.pdf (accessed 30.11.2016).

29. RWE. *Annual Report 2014*. Available at: <http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/2696788/data/2331574/6/rwe/investor-relations/reports/2014/RWE-Annual-Report-2014.pdf> (accessed 30.11.2016).

30. Vattenfall. *Vattenfall's second quarter 2015: Substantial impairment losses and continued low electricity prices*. Available at: <https://corporate.vattenfall.com/press-and-media/press-releases/2015/vattenfalls-second-quarter-2015-substantial-impairment-losses-and-continued-low-electricity-prices/> (accessed 30.11.2016).

31. Vattenfall. *Toward a more sustainable energy portfolio. Annual and sustainability report 2014*. Available at: <https://corporate.vattenfall.co.uk/globalassets/uk/about-us/investor-relations/annual-and-sustainability-report-2014.pdf> (accessed 30.11.2016).

32. The Carbon Tracker. *Coal: Caught in the EU Utility Death Spiral*. Available at: http://www.carbon-tracker.org/report/eu_utilities/ (accessed 30.11.2016).

33. ENEL. *2015-19 Strategic Plan: New foundations for growth*. Available at: <http://strategy2015.enel.com/files/Enel-ID-2015.pdf> (accessed 30.11.2016).

34. Fortum. *Annual Report 2014*. Available at: http://apps.fortum.fi/gallery/Fortum_Annual_Report_2014_low.pdf (accessed 30.11.2016).

35. Zaslavskiy, V. A., Pasichna, M. V., Krasovska, K. K. Zastosuvannya MAI pry vyrishenni problemy diversyfikatsiyi skladu portfelya dzhерel heneratsiyi elektroenerhiyi [The use of the MAI while addressing the diversification of the portfolio of power generation sources]. *Visnyk Kyivskoho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriya: Fizyko-matematychni nauky – Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Physics and Mathematics*, 2016, no. 2, pp. 78-85.

36. Aspects of creation of a competitive, diversified energy *Towards the Creation of a Competitive, Diversified Energy Portfolio for Electricity Generating Companies in EU Energy Market Conditions*. Available at: <https://dataquarterly.eu/edq-article/towards-creation-competitive-diversified-energy-portfolio-electricity-generating> (accessed 30.11.2016).

Поступила до редакції 11.05.2017, розглянута на редколегії 12.06.2017

АНАЛИЗ БАЛАНСИРОВАНИЯ ПОРТФЕЛЯ ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОРТФЕЛЯ

В. А. Заславский, М. В. Пасечная

Проведён анализ сбалансированности энергетического портфеля компаний с точки зрения трёх его составляющих - конкурентоспособности, энергетической безопасности и воздействия на окружающую природную среду. В рамках исследования проводится анализ целесообразности портфельного менеджмента в сфере энергетики, применяются теории портфеля и его многокритериальной оптимизации. Данный анализ помогает выявить приоритеты компаний при формировании энергопортфеля, сильные и слабые стороны тех или иных источников генерации электроэнергии. Результаты исследования будут способствовать пониманию динамики портфеля и перспектив его изменения в будущем.

Ключевые слова: портфель источников генерации электроэнергии, многокритериальная оптимизация, теория портфеля Марковица, риски энергообеспечения.

ANALYSIS OF BALANCING OF PORTFOLIO OF ELECTRICITY GENERATION SOURCES TO SOLVE THE PROBLEM OF OPTIMIZATION OF THE ENERGY PORTFOLIO

V. A. Zaslavskiy, M. V. Pasichna

The analysis of balancing of energy portfolio of the companies from the point of view of its three components - the competitiveness, its energy security and impact on the environment was performed. The study analyzes the appropriateness of portfolio management in the energy sector, applies portfolio and multi-criteria optimization theories. This analysis helps to identify priorities in the formation of companies' energy portfolio, strengths and weaknesses of various sources of electricity generation. The results of the research will contribute to the understanding of the dynamics of the portfolio and the prospects of its change in the future.

Keywords: electricity generation portfolio, multi-criteria optimization, Markowitz portfolio theory, risks of energy supply.

Заславський Володимир Анатолійович – д-р тех. наук, проф., проф. каф. математичної інформатики факультету комп'ютерних наук і кібернетики, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, e-mail: zas@unicyb.kiev.ua.

Пасічна Майя Володимирівна – аспірант каф. математичної інформатики факультету комп'ютерних наук і кібернетики, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, e-mail: maupas@gmail.com.

Zaslavskiy Volodymyr Anatoliyovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mathematical Informatics, Faculty of Computer Science and Cybernetics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, e-mail: zas@unicyb.kiev.ua.

Pasichna Maiia Volodymyrivna – Postgraduate student of the Department of Mathematical Informatics, Faculty of Computer Science and Cybernetics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, e-mail: maupas@gmail.com.