
УПРАВЛІННЯ ЕКОНОМІКОЮ: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

УДК 330.341:004.4 (477)

О. С. СЕРДЮК,
кандидат економічних наук,
старший науковий співробітник
відділу проблем перспективного розвитку паливно-енергетичного комплексу
Інституту економіки промисловості НАН України,
вул. Марії Капніст, 2, 03057, Київ, Україна

КОНЦЕПЦІЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗНИЖЕННЯ ЕМІСІЇ CO₂ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ

Наведено концептуальні засади зниження емісії CO₂ в енергетичному секторі України, які базуються на використанні розробленого нового модельного інструментарію мовою програмування Python. Установлено перелік ТЕС, діяльність яких характеризується високими викидами CO₂. Визначено пріоритетність заміщення потужностей зазначених ТЕС об'єктами відновлювальної енергетики.

Ключові слова: концепція; ефективність зниження CO₂; теплові електростанції; оптимізація виробництва; кластеризація; модернізація; відновлювальні джерела енергії.
Бібл. 3; рис. 12; табл. 2.

UDC 330.341:004.4 (477)

OLEKSANDR SERDIUK,
Cand. of Econ. Sci.,
Senior Researcher of the Department
of Perspective Development of Fuel and Energy Sector
Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine,
2, Marii Kapnist St., Kyiv, 03057, Ukraine

CONCEPT OF EFFICIENT REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN UKRAINE'S ENERGY SECTOR

The conceptual bases of reducing greenhouse gas emissions in Ukraine's energy sector, which are based on the use of the developed new model toolkit in the Python programming language, are presented. The list of TPPs, which activities are characterized by high greenhouse gas emissions, is identified. The priority of replacing the capacities of these TPPs with renewable energy facilities is determined.

Keywords: concept; efficiency of reducing greenhouse gas emissions; thermal power plants; optimization of production; clustering; modernization; renewable energy sources.
References 3; Figures 12; Tables 2.

© Сердюк Олександр Сергійович (Serdiuk Oleksandr), 2019; e-mail: serdyuk_o@nas.gov.ua

Нині українська енергетична система, а саме – сектор теплової енергетики, є найбільшим у країні продуцентом CO₂. За 2017 р. підприємствами сектору було викинуто в повітря близько 63 млн. т CO₂, що становило 50% загальнодержавної емісії в господарстві *. У світовому масштабі на частку українського сектору теплової енергетики припадає 0,2% загальних викидів CO₂, що є доволі високим показником з огляду на мізерний внесок України у світове господарство (0,14% світового ВВП).

На основі порівняння показників загальносвітової частки викидів CO₂ з внеском країни у світове господарство можна зробити висновок щодо відносної неефективності використання вуглеводневих енергетичних ресурсів в Україні. Отже, порівняно з іншими більш розвинутими країнами Україна на одиницю згенерованої за допомогою спалювання вуглеводнів енергії виробляє меншу кількість продукції (послуг) **. Цей факт стає ще очевиднішим з огляду на високу (22%) частку атомної енергії в енергетичному балансі країни. Причиною такої неефективності є низькопродуктивне використання вуглеводневих джерел енергії ***.

Аналізуючи існуючі нині зниження викидів CO₂, слід зауважити, що вони не передбачають безпосереднього підвищення продуктивності використання вуглеводневих джерел енергії. Наприклад, відома концепція третьої промислової революції авторства Дж. Ріфкіна [1] передбачає тотальний перехід до відновлювальної енергетики, що за своє суттю лише зменшуватиме частку вуглеводневих джерел енергії, не змінюючи продуктивності їх використання.

Популярну нині концепцію застосування ринкових механізмів (торгівля квотами) з метою зниження викидів CO₂ [2] також не можна сприймати як таку, що однозначно спрямована на підвищення продуктивності вуглеводневих джерел енергії. Немає впевненості в тому, що, отримавши економічні стимули, продуцент CO₂ знижуватиме викиди саме шляхом підвищення продуктивності джерел енергії. Як альтернативу він може обрати шлях скорочення обсягів виробництва.

Серед вітчизняних концепцій зниження викидів CO₂ слід виокремити “Проект стратегії низьковуглецевого розвитку України до 2050 року” **** як такий, що певною мірою передбачає підвищення продуктивності вуглеводневих джерел енергії. Зокрема, згідно з ним, передбачено впровадження когенераційних установок на існуючих енергогенеруючих підприємствах, що має підвищити кількість виробленої енергії на одиницю витраченого палива. Однак, попри слушність та-

* Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2017 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/arch_vzrap_u.htm.

** Слід зауважити, що відмінності у показниках ВВП різних країн виникають не тільки через різницю в обсягах виробництва продукції (послуг). На показники ВВП впливають також ціни на продукцію (послуги) всередині країни. Однак, з огляду на те, що світова економіка набуває дедалі глобальнішого характеру (послаблюються торговельні бар'єри між країнами), ціни на продукцію (послуги) на внутрішніх ринках не можуть дуже відрізнитися. З урахуванням цього результати порівняння частки викидів CO₂ з внеском кожної країни у світове господарство, що характеризує ефективність використання енергетичних ресурсів, можна вважати об'єктивними.

*** Зокрема, устаткування, яке перетворює потенціальну енергію палива на теплову – механічну енергію.

**** [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://menr.gov.ua/files/docs/>.

ких пропозицій, стратегія має абстрактний характер, тобто в ній не визначено, які саме підприємства теплової енергетики підлягають модернізації, а які мають бути замінені відновлювальними та ядерними джерелами енергії. Таким чином, ідеться про відсутність конкретики щодо об'єктів, на які має поширюватися дія заходів щодо зниження викидів CO₂ в цілому та підвищення продуктивності вуглеводневих джерел енергії зокрема.

Отже, **мета статті** – розробити концепцію, яка визначатиме головні положення зазначеної стратегії.

Слід зауважити, що в межах такої концепції питання заміщення енергетичних потужностей низькоемісійними та підвищення продуктивності вуглеводневих джерел енергії мають вирішуватися комплексно. У світовому масштабі неефективне використання вуглеводневих енергетичних ресурсів * підсилює дію глобальних зовнішніх ефектів, які негативно впливають на світову економіку. Продукування CO₂ в межах певної економічної системи на вищому рівні від потенціально можливого (за однакових умов) створює ситуацію, коли виробництво суспільних благ (послуг) цією системою стає каталізатором зниження ефективності світового виробництва. Наприклад, в Україні на 1 дол. ВВП припадає 473 кг викидів CO₂, тоді як у Швеції цей показник дорівнює 77 кг (еталонний показник) **. З цього випливає, що наслідком вироблення одиниці ВВП в Україні є непропорційно великий внесок у підсилення дії глобальних зовнішніх ефектів.

Для означення стану, коли існує відхилення від еталонного показника продукування CO₂ на одиницю ВВП в межах певної економічної системи, надалі в дослідженні використовуватиметься термін “компаративна неефективність використання енергетичних ресурсів”. На такий показник впливають чотири фактори: I – неефективне завантаження виробничих потужностей, що використовують вуглеводневе паливо як джерело енергії; II – технологічна та фізична застарілість технічних засобів трансформації енергії вуглеводнів (у теплову, механічну, електричну); III – домінування високоемісійних видів виробництва в економіці ***, що може бути наслідком застарілості технологічного укладу ****; IV – домінування високоемісійних видів енергетики. Останній фактор є одним з найвагоміших, оскільки енергетика, а саме – тепловий її сектор, продукує левову частку CO₂. Винятками є Франція, де енергетичні потреби країни забезпечуються за рахунок

* Під неефективним використанням вуглеводневих енергетичних ресурсів мається на увазі ситуація, коли технологічні та економічні можливості держави дозволяють замінити вуглеводневі джерела енергії на інші (наприклад, відновлювальні) або підвищити продуктивність їх використання. Однак, з огляду на ряд причин (можливо, політичних або соціальних), цього не відбувається.

** Інтенсивність вибросов CO₂ при постійному паритеті покупательной способности / Статистический ежегодник мировой энергетики 2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://yearbook.enerdata.ru/co2-fuel-combustion/world-CO2-intensity.html>.

*** На перший погляд може здатися, що частка високоемісійних видів виробництва не впливає на ефективність використання енергетичних ресурсів, оскільки, з технічної точки зору, ефективність визначається в межах підприємства. Однак, якщо розглядати це питання з точки зору господарської політики, стає очевидним, що застосування одиниці енергетичного ресурсу в межах певної економічної системи має супроводжуватися максимізацією ринкової вартості всіх товарів і послуг.

**** Технологічний уклад – це сукупність технологій, характерних для певного рівня розвитку виробництва.

атомної генерації, а також Німеччина, де значення цього фактора поступово знижується з переходом на відновлювальні джерела енергії.

Кожний з наведених факторів більшою або меншою мірою впливає на рівень емісії CO₂ в країні, що у співвідношенні з показником ВВП формує індекс компаративної неефективності використання енергетичних ресурсів (рис. 1).

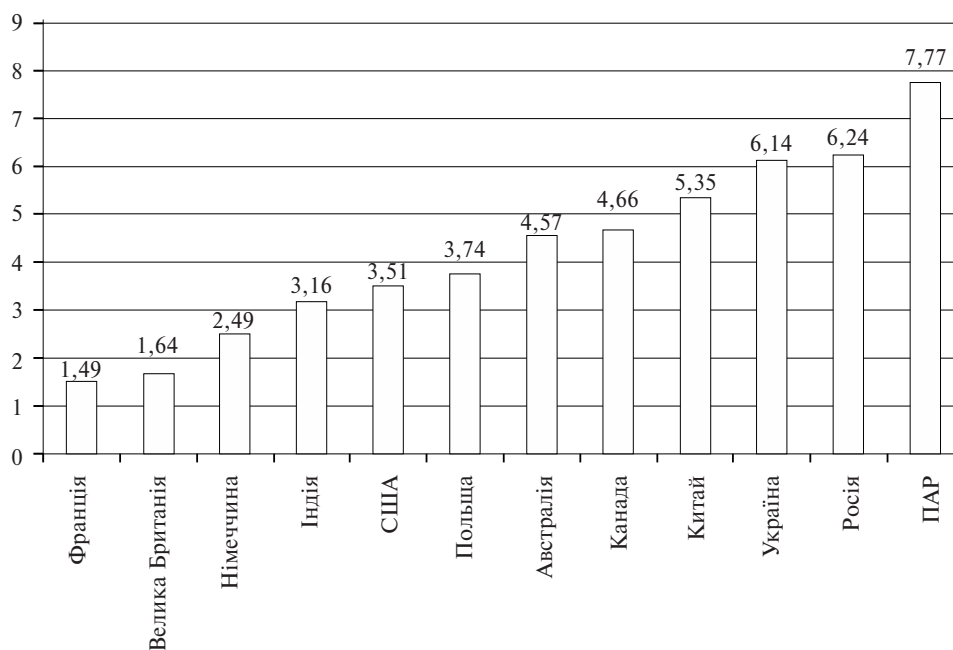


Рис. 1. Індекс компаративної неефективності використання енергетичних ресурсів

Побудовано автором за: Інтенсивність вибросов CO₂ при постійном паритете покупательной способности / Статистический ежегодник мировой энергетики 2018 [Електронний ресурс]. –

Режим доступу : [https://yearbook.enerdata.ru/co2-fuel-combustion/world-CO₂-intensity.html](https://yearbook.enerdata.ru/co2-fuel-combustion/world-CO2-intensity.html).

Примітка: показник індексу 1 відповідає 100-процентному відхиленню від еталонного показника.

Відповідно, індекси 2, 3, 4, *n*... відповідають відхиленню на 200%, 300%, 400%, *n*%...

Високий індекс компаративної неефективності використання енергетичних ресурсів в Україні (6,14) значною мірою зумовлений високою часткою енергетичного сектору в загальнодержавній емісії CO₂ (50%). Основними продуцентами CO₂ в секторі (близько 88%) є теплові електростанції (ТЕС), діяльність яких характеризується низькою ефективністю використання енергетичних ресурсів, що спричиняє високі викиди CO₂ в повітря (оскільки викиди є похідними від кількості використаного палива) *. Причиною цього є неефективне завантаження виробничих потужностей і застарілість (технологічна та фізична) устаткування ТЕС.

Беручи до уваги фактори, що впливають на показник компаративної неефективності використання енергетичних ресурсів, запропоновано концепцію зни-

* Слід зауважити, що об'єктивність цього висновку зумовлюється структурою споживання палива тепловим сектором енергетики, де частка кам'яного вугілля та антрациту (які за показниками викидів CO₂ є майже ідентичними) становить 98,5%. У випадку, коли структура споживання палива не мала б подібної моноресурсної основи, не можна було б зробити однозначного висновку про ефективність використання енергетичних ресурсів, оскільки на рівень викидів CO₂ впливала б відмінність хімічного складу палива.

ження емісії CO_2 в енергетичному секторі України, яка має реалізовуватись у три етапи: I – оптимізація виробництва на ТЕС; II – модернізація устаткування ТЕС з метою створення високоманеврових потужностей; III – заміна потужностей ТЕС на відновлювальні джерела енергії.

З огляду на те, що зміна обсягів виробництва електроенергії на ТЕС не потребує додаткових капіталовкладень *, а можливий дефіцит електроенергії, викликаний такою зміною (у випадку, коли ефективний рівень виробництва є нижчим за поточний), може бути компенсований за рахунок атомної генерації, реалізація заходів щодо приведення навантаження ТЕС до максимально ефективного рівня стає першочерговим напрямом зниження загальнодержавної емісії CO_2 . Реалізація даного процесу зумовлює необхідність виявлення загального рівня навантаження на ТЕС, за якого на одиницю викидів CO_2 продукуватиметься найбільша кількість електроенергії. Для вирішення цього завдання запропоновано використати метод порівняння кривої “Зростання виробництва в результаті підвищення викидів CO_2 ” з кривою “Втрати виробництва внаслідок зниження викидів CO_2 ”. Криві являють собою дві залежності (тренди) і визначатимуться на основі регресійного аналізу вибірки відповідних показників.

На основі аналізу помісячної вибірки (за 2015–2017 рр. та чотири місяці 2018 р.) показників виробництва електроенергії та питомих витрат умовного палива ** для 12 діючих українських ТЕС встановлено, що відповідні криві можна побудувати лише для трьох електростанцій, а саме: Курахівської (рис. 2) ***, Бурштинської та Ладжинської.

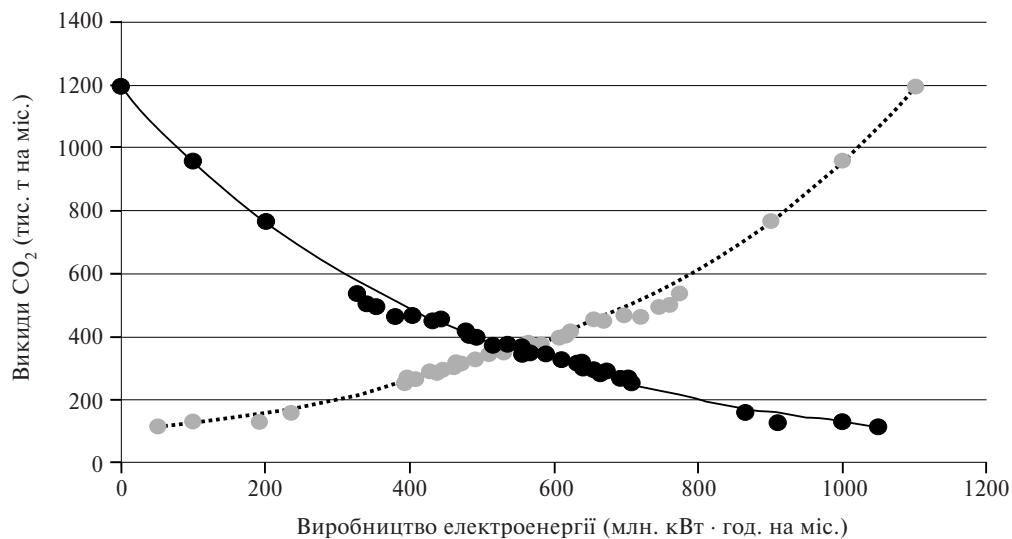


Рис. 2. Ефективність виробництва Курахівської ТЕС

Побудовано автором за даними журналу “ЕнергоБизнес” за 2017 р.

* Оскільки припинення або зниження навантаження на енергоблоки ТЕС є стандартною процедурою виробничого процесу.

** Для розрахунку щомісячних викидів CO_2 на ТЕС було використано показник викидів CO_2 на одиницю палива (для кам'яного вугілля він становить 1,8).

*** З метою візуалізації методу визначення ефективного рівня виробництва ТЕС було побудовано криві для Курахівської ТЕС.

Показники для інших дев'яти ТЕС характеризуються низьким (21–46% від максимально можливого навантаження ТЕС) діапазоном вибірки, що унеможливує виявлення експоненціального тренду (рис. 3).

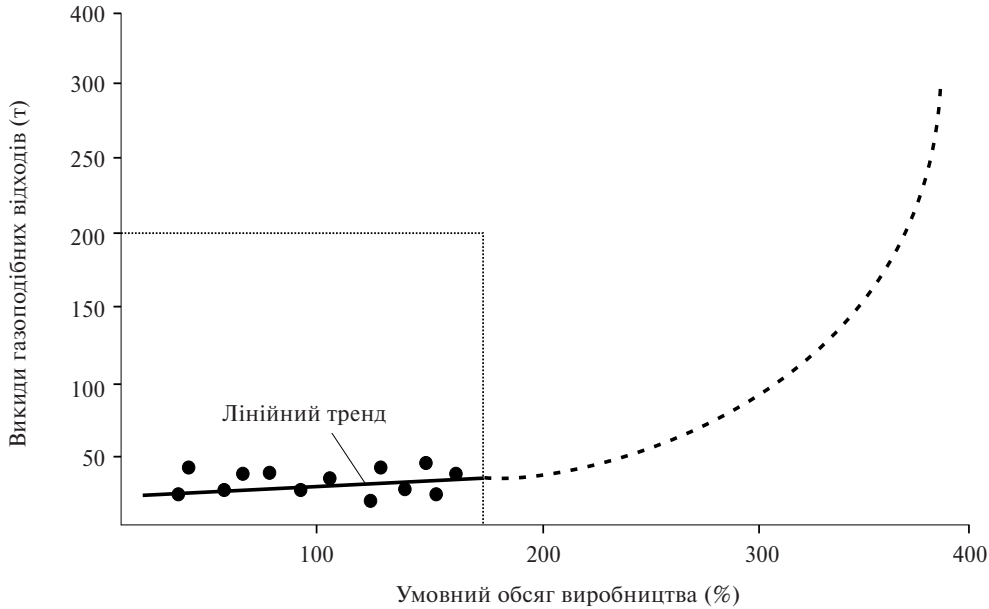


Рис. 3. Діапазон вибірки для дев'яти українських ТЕС
Побудовано автором за даними журналу “ЕнергоБизнес” за 2017 р.

З огляду на відсутність можливості виявлення максимально ефективного рівня навантаження для решти дев'яти ТЕС, першочергово доцільно встановити обсяги виробництва електроенергії цими ТЕС на рівні відносної ефективності – в межах наявного діапазону навантаження (21–46%), що характеризується найменшими викидами CO₂ на одиницю виробленої електроенергії.

З метою виконання поставлених завдань мовою програмування Python написано програму, яка шляхом автоматичного опрацювання даних виявляє максимально та відносно ефективні рівні виробництва електроенергії українськими ТЕС. На основі отриманої інформації програма визначає ефект від реалізації проекту оптимізації навантаження ТЕС * (рис. 4).

Вхідними даними для цієї програми є: статистична вибірка показників (у нашому випадку щомісячних) виробництва електроенергії та питомих витрат умовного палива (табл. 1); найменування ТЕС, для яких визначатиметься максимально ефективний рівень виробництва (задається оператором). Другому пункту має передувати оцінка можливості побудови експоненціального тренду для кожної електростанції за наявними даними, що, зрештою, визначатиме перелік ТЕС, для яких встановлюватиметься максимально ефективний рівень виробництва. Для решти ТЕС програма визначатиме відносно ефективний рівень виробництва.

* Проект передбачає встановлення максимально ефективного рівня виробництва електроенергії на ТЕС, де це можливо, а для решти ТЕС – відносно ефективного рівня.

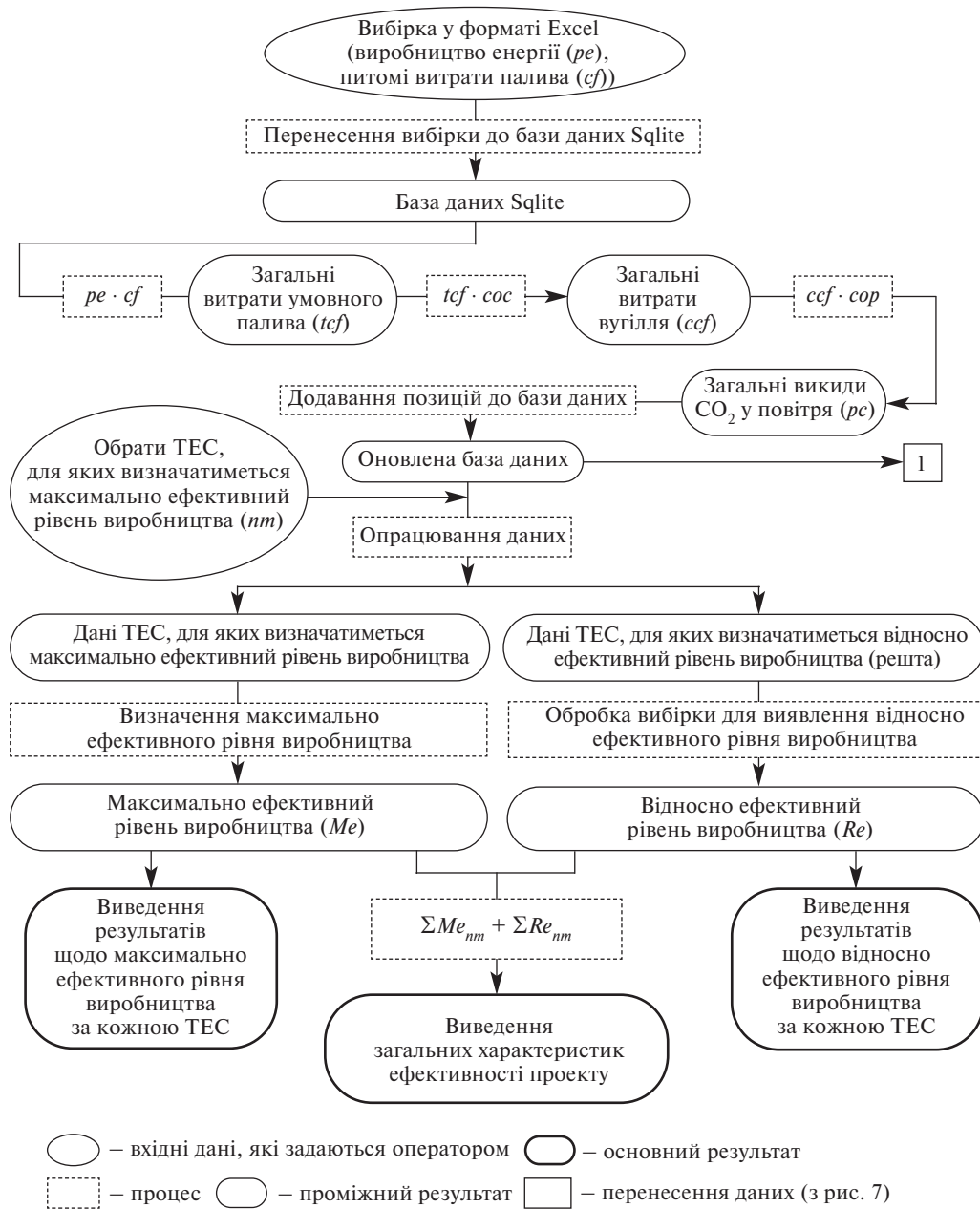


Рис. 4. Алгоритм визначення максимально та відносно ефективних рівнів виробництва електроенергії ТЕС

Тут і далі розроблено автором.

Таблиця 1

Частина вибірки *

Місяці	Криворізька ТЕС		Придніпровська ТЕС		Запорізька ТЕС		Слов'янська ТЕС	
	вироб-ництво	витрати палива	вироб-ництво	витрати палива	вироб-ництво	витрати палива	вироб-ництво	витрати палива
Січень	233,172	429	216,477	420,8	767,268	344,6	16,653	761,9
Лютий	167,852	392,6	99,593	417,3	622,529	346,9	16,788	758,0
Березень	230,188	410,2	160,715	424,8	633,708	342,1	54,427	521,5

Закінчення таблиці

Квітень	138,221	470,6	91,927	451,8	432,494	354,3	206,172	413,2
Травень	91,844	481,7	95,345	445,6	652,877	347,8	248,255	378,2
Червень	112,777	432,4	79,795	461,3	378,127	363,5	291,237	397,2
Липень	156,237	435,2	103,768	476,2	477,096	357,6	170,526	386,1
Серпень	222,950	474,7	0,107	471,9	497,259	359,7	292,07	417,1
Вересень	336,363	464	0,426	821,4	430,508	364,2	264,179	412,1
Жовтень	–	–	–	–	–	–	–	–
Листопад	–	–	–	–	–	–	–	–
Грудень	202,24	457,6	146,422	444,2	392,009	363,7	282,701	397,4

* Розраховано автором в Excel.

За результатами роботи програми у консолі було отримано відповідну інформацію (рис. 5 і 6).

<p>Максимально ефективний рівень виробництва: Ladyzhynska TES – 502,534375 млн. кВт · год. на міс. Burshtynska TES – 993,44725 млн. кВт · год. на міс. Kurakhivska TES – 524,37625 млн. кВт · год. на міс.</p> <p>-----</p> <p>Відносно ефективний рівень виробництва: Trypil'ska TES – 345,824 млн. кВт · год. на міс. Slovyanska TES – 248,255 млн. кВт · год. на міс. Luganska TES – 325,437 млн. кВт · год. на міс. Kryvorizka TES – 167,852 млн. кВт · год. на міс. Zmiyivska TES – 101,787 млн. кВт · год. на міс. Vuhlehirska TES – 592,877 млн. кВт · год. на міс. Zaporizka TES – 711,826 млн. кВт · год. на міс. Prydniprovska TES – 158,776 млн. кВт · год. на міс. Dobrotvirska TES – 159,489 млн. кВт · год. на міс.</p>

Рис. 5. Результати роботи програми, що характеризують максимально та відносно ефективні рівні виробництва електроенергії ТЕС

<p>-----</p> <p>Оцінка ефекту від реалізації проекту оптимізації навантаження українських ТЕС: Поточне середньорічне виробництво електроенергії – 49954,251 млн. кВт · год. на рік Поточні середньорічні викиди CO₂ у повітря – 43248,5344087 тис. т на рік</p> <p>Середньорічне виробництво електроенергії після реалізації проекту оптимізації навантаження – 57989,7705 млн. кВт · год. на рік Середньорічні викиди CO₂ після реалізації проекту оптимізації навантаження – 43853,8143239 тис. т на рік</p> <p>Профіцит/дефіцит (+/-) електроенергії в системі – 8035,5195 млн. кВт · год. на рік Різниця у викидах CO₂ – 605,279915214 тис. т на рік</p> <p>Загальний ефект: підвищення/зниження (+/-) виробництва електроенергії на 16,0857571461% збільшення/зменшення (+/-) викидів CO₂ на 1,39953855891%</p>

Рис. 6. Результати роботи програми, що характеризують ефект від реалізації проекту оптимізації навантаження українських ТЕС

Отже, результати розрахунків показують, що за умови встановлення максимально ефективного рівня виробництва на Ладижинській, Бурштинській, Курахівській ТЕС та відносно ефективного рівня виробництва на інших дев'яти ТЕС * сектором теплової енергетики (без урахування ТЕЦ) продукуватиметься близько 50 млрд. кВт · год. електроенергії на рік. За такого рівня виробництва щорічні викиди CO₂ сягатимуть 43 млн. т. З точки зору оцінки якості проекту, такі зміни характеризують зростання виробництва електроенергії на 16% при підвищенні викидів CO₂ лише на 1,4%, що доводить ефективність оптимізації навантаження ТЕС.

Розглядаючи максимально ефективні рівні виробництва та відповідні їм показники викидів CO₂ (табл. 2), слід звернути увагу на те, що кожна ТЕС продукує різну кількість CO₂ на одиницю виробленої електроенергії (про що свідчить питомий показник викидів CO₂). Причиною цього є якісна (технічна та фізична) відмінність в устаткуванні електростанцій. Отже, проявляється II фактор компаративної неефективності використання енергетичних ресурсів.

Таблиця 2

Максимально ефективний рівень виробництва електроенергії ТЕС і показники викидів CO₂, що відповідають такому рівню виробництва *

ТЕС	Максимально ефективний рівень виробництва (млн. кВт · год./міс.)	Викиди CO ₂ (тис. т/міс.)	Питомі викиди CO ₂
Курахівська	524	428	0,816
Бурштинська	993	830	0,835
Ладижинська	502	406	0,808

* Складено автором за даними розрахунків програми.

Примітка: наведені в таблиці показники характеризують викиди CO₂ на одиницю виробленої електроенергії та є актуальними для поточного порядку обчислення (млн. кВт · год. / тис. т CO₂). Для об'єктивного сприйняття питомих викидів CO₂ в межах інших величин слід пропорційно знижувати порядок обчислення (тис. кВт · год. / т CO₂ тощо).

В умовах переходу до низькоємісійної енергетики модернізацію ТЕС доцільно розглядати лише в контексті створення нечисленних вискоєфективних маневрових потужностей. Виробничі потужності ТЕС підлягають поступовій заміні на відновлювальні джерела енергії (що зменшуватиме значення III фактора компаративної неефективності використання енергетичних ресурсів).

Зважаючи на внутрішню та зовнішню обмеженість фінансового ресурсу енергетичного сектору, не слід очікувати, що заходи з модернізації устаткування ТЕС (маневрових потужностей) та переходу на відновлювальні джерела енергії можуть бути реалізовані в короткостроковій перспективі. З огляду на це, з метою максимізації віддачі від застосування обмеженого фінансового ресурсу ** слід: по-перше, розділити ТЕС на два кластери за показниками ефективності експлуатації з метою виокремлення групи відносно ефективних ТЕС, які підлягатимуть мо-

* На Трипільській, Слов'янській, Луганській, Криворізькій, Зміївській, Вуглегірській, Запорізькій, Придніпровській та Добровірській ТЕС.

** Під обмеженим фінансовим ресурсом насамперед мається на увазі державне фінансування проектів модернізації, оскільки неправдоподібно було б припущення, що держава має можливість профінансувати проекти модернізації всіх українських ТЕС у короткостроковій перспективі. Про застосування приватного ресурсу для потреб модернізації йтиметься далі.

дернізації; по-друге, розставити ТЕС 2-го кластера (відносно неефективні) за пріоритетністю до заміни на відновлювальні джерела енергії. Для реалізації поставленого завдання до існуючої програми додано алгоритм, що розділяє ТЕС на кластери та ранжує електростанції 2-го кластера за показником відносної неефективності експлуатації (рис. 7).

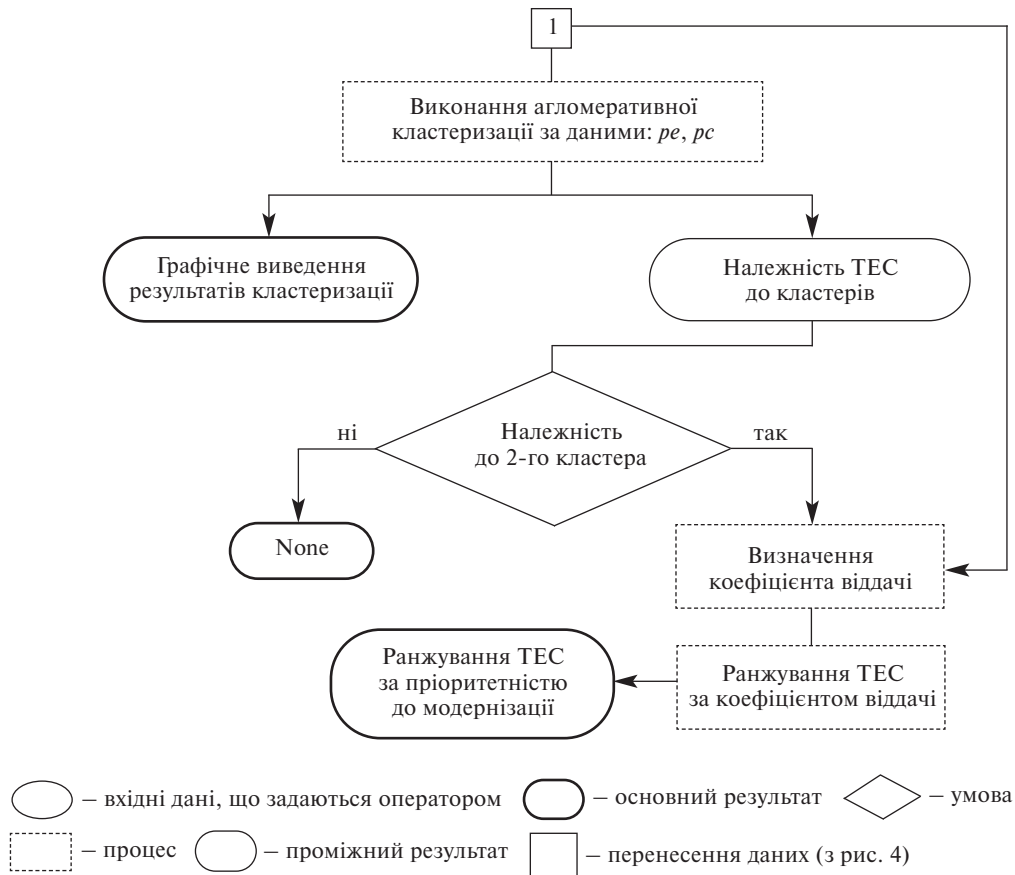


Рис. 7. Алгоритм кластеризації та ранжування ТЕС за пріоритетністю до модернізації

Як і в будь-якій виробничій системі, в українському секторі теплової енергетики є ланки (ТЕС), діяльність яких характеризується низькою економічною віддачею відносно інших. Критерієм їх визначення є відставання від еталонного (найкращого) та аутсайдерського (найгіршого) показників ефективності. Мінімальне відставання від еталонного показника формує кластер з ланок, діяльність яких характеризується відносно високою ефективністю. Відповідно, мінімальне відставання від аутсайдерського показника формує кластер ланок, що характеризуються відносно низькою ефективністю діяльності. З теоретичної точки зору, кластери ТЕС (з високою та низькою ефективністю діяльності) мають розташовуватись у межах, наведених на рисунку 8.

З метою розподілу українських ТЕС на відповідні кластери використано метод агломеративної кластеризації – Machine Learning *, який представлений бібліотекою

* Методи штучного інтелекту, які вирішують завдання шляхом дослідження та запам'ятовування досвіду вирішення аналогічних завдань.

scikit-learn для мови програмування Python. Метод агломеративної кластеризації належить до групи алгоритмів кластеризації, основу яких становлять однакові принципи: алгоритм починає свою роботу з того, що кожен пункт даних вносить в окремий кластер, у процесі виконання об'єднує по два найбільш подібних між собою кластери доти, доки не буде задоволений певний критерій для зупинення. Таким критерієм для зупинення, реалізованим у бібліотеці scikit-learn, є кількість кластерів. З огляду на це, подібні між собою кластери об'єднуються доти, доки не залишиться їх задана кількість. Існує декілька критеріїв зв'язку, що задають точний спосіб вимірювання “найбільш схожих кластерів”. У їх основі лежить відстань між двома існуючими кластерами [3]. Вхідними даними для кластеризації є медіальний показник вибірки за кожною ТЕС (у нашому випадку вибірка складається з 33 місячних етапів спостережень).

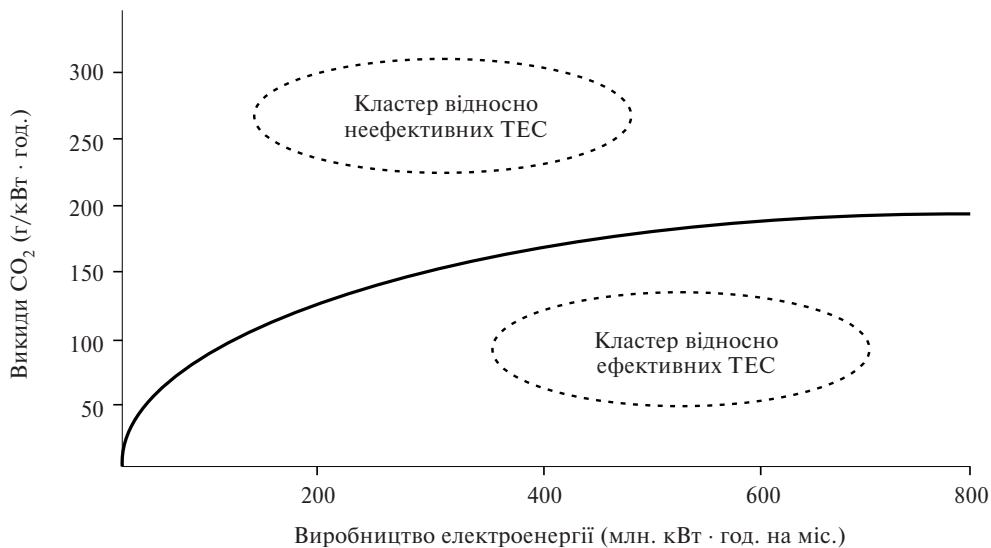
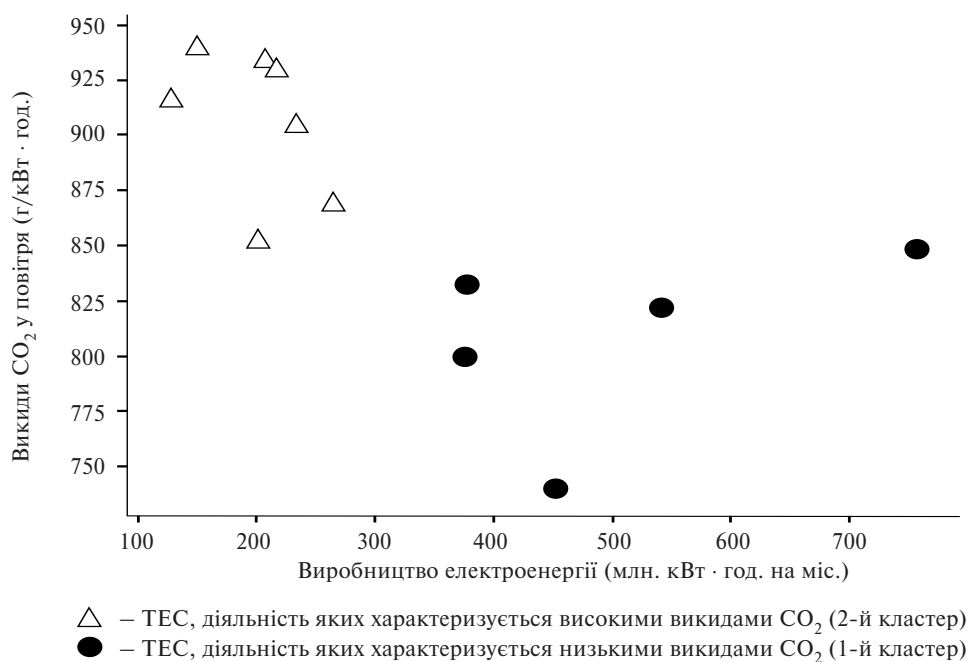


Рис. 8. Теоретичні межі розташування кластерів

За результатами роботи програми, українські ТЕС було розділено на два кластери (рис. 9). До 1-го кластера, який характеризується відносно низькими викидами CO_2 на одиницю виробленої енергії (що є тотожним відносно ефективному рівню виробництва), потрапили Запорізька, Бурштинська, Ладижинська, Вуглегірська та Курахівська ТЕС. Решта електростанцій – у 2-му кластері, для якого характерними є відносно високі викиди CO_2 на одиницю виробленої енергії.

За алгоритмом програми дані електростанцій, що потрапили до 2-го кластера, опрацьовуються на предмет встановлення ефективності їх експлуатації в межах сектору теплової енергетики. Критерієм ефективності слугує коефіцієнт віддачі, який являє собою перетворену на коефіцієнт різницю між частками виробництва електроенергії та викидів CO_2 конкретною ТЕС у межах сектору теплової енергетики (рис. 10). Наприклад, якщо ТЕС виробляє 15% електроенергії його загальноного обсягу енергогенерації і при цьому викидає в повітря 17% загальної емісії CO_2 сектору, то її коефіцієнт віддачі дорівнюватиме $-0,02$. Від'ємний коефіцієнт віддачі свідчить про те, що в межах економічної системи негативний ефект від діяльності підприємства перевищує позитивний. У наведеному прикладі у процентному співвідношенні ТЕС більше продукує CO_2 , ніж виробляє електроенергії.



Примітка: розроблено автором за допомогою мови програмування Python з використанням бібліотек scikit-learn та matplotlib.

Рис. 9. Графічне зображення результатів кластеризації українських ТЕС за рівнем викидів CO₂ на одиницю виробленої електроенергії

<p>Електростанції, що характеризуються низьким рівнем викидів CO₂ у повітря на одиницю виробленої електроенергії:</p> <p>Zaporizka TES Burshtynska TES Ladyzhynska TES Vuhlehirska TES Kurakhivska TES</p> <p>-----</p> <p>Електростанції, що характеризуються високим рівнем викидів CO₂ у повітря на одиницю виробленої електроенергії:</p> <p>Kryvorizka TES Prydniprovska TES Slovyanska TES Dobrotvirska TES Trypilska TES Zmiyivska TES Luganska TES</p>
--

Рис. 10. Результати роботи програми щодо розподілу українських ТЕС на кластери за критерієм питомих викидів CO₂

За результатами роботи програми, у консоль виводиться інформація щодо: належності ТЕС до певного кластера (низькі викиди CO₂ – 1-й кластер, високі – 2-й кластер); ранжування ТЕС 2-го кластера за коефіцієнтом віддачі (рис. 11 і 12).

<p>Ранжування ТЕС 2-го кластера за коефіцієнтом віддачі:</p> <p>Prydniprovska TES (-0,0544085745006) Zmiyivska TES (-0,0484151606732) Slovyanska TES (-0,0436112910233) Trypilska TES (-0,0370194647311) Dobrotvirska TES (-0,0303668540278) Luganska TES (-0,0279123021888) Kryvorizka TES (-0,0173912365755)</p>
--

Рис. 11. Результати роботи програми з ранжування ТЕС за коефіцієнтом віддачі

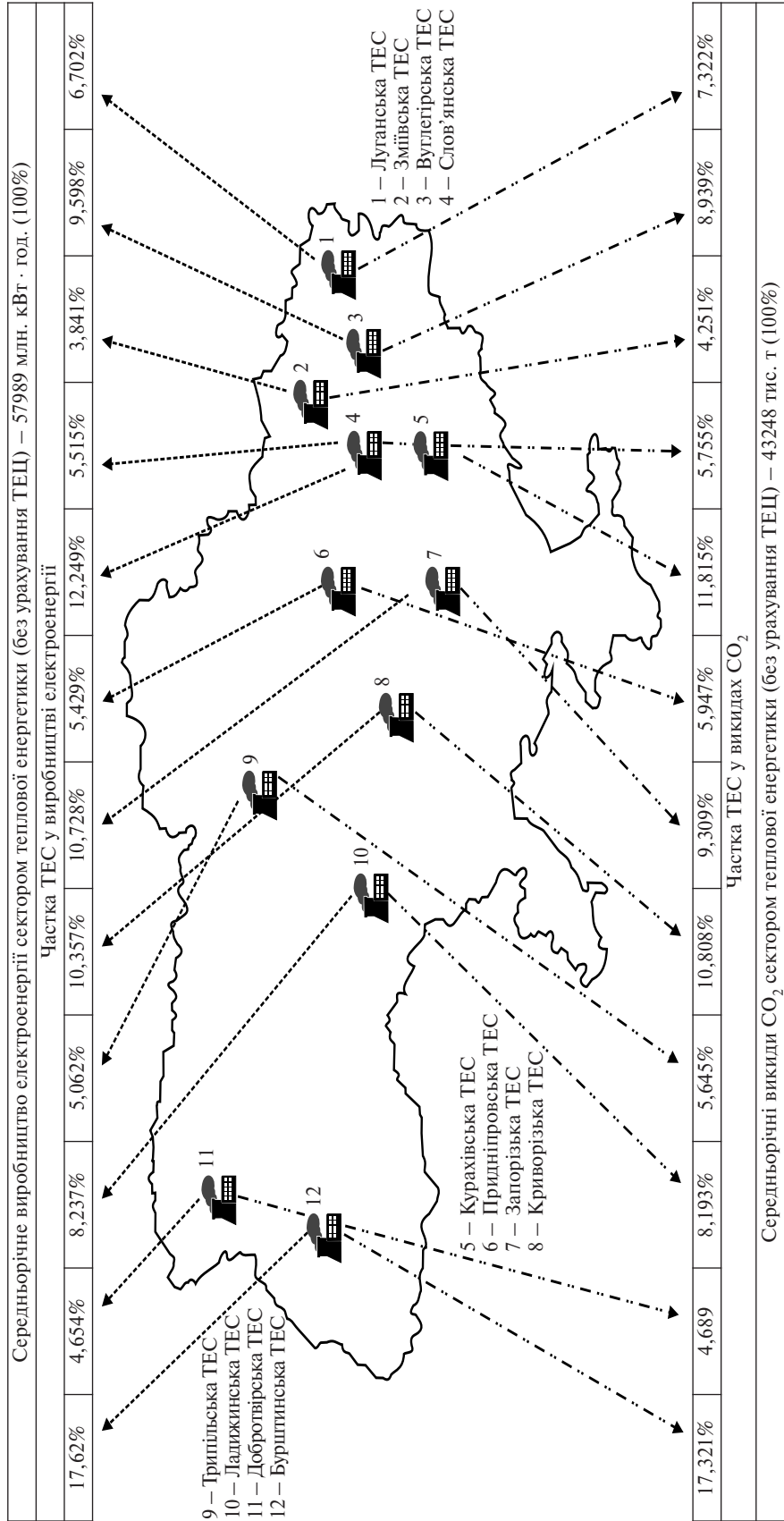


Рис. 12. Частки ТЕС у загальному виробництві електроенергії та викидах CO₂

Побудовано автором за даними журналу “ЕнергоБизнес” за 2017 р.

Відповідно до запропонованої концепції зниження викидів CO₂ в енергетичній системі України, ТЕС, що потрапили до 1-го кластера, підлягають модернізації з метою створення високоефективних маневрових потужностей. На основі 2-го кластера, з ранжованими за коефіцієнтом віддачі ТЕС, встановлюється пріоритетність заміни потужностей теплової енергетики на відновлювальні. За такого ранжування найнижчий коефіцієнт віддачі характеризує найвищий пріоритет для заміни потужностей.

Висновки

Отже, з огляду на вагомий внесок енергетичного сектору України в загальнодержавне продукування CO₂, необхідність у його реструктуризації стає дедалі очевиднішою з економічної точки зору. Однак відсутність економічної волі з боку приватних сторін та обмежені фінансові можливості державного сектору гальмують реалізацію відповідних заходів. Оскільки природні економічні стимули для зниження викидів CO₂ приватним сектором в енергетиці (80% теплової енергетики належить приватному сектору) можуть виникнути лише у випадку зміни кон'юнктури ринку енергоносіїв, то постає питання щодо ефективного використання обмежених фінансових ресурсів держави для таких потреб.

Запропонована нами концепція встановлює порядок реалізації заходів щодо зниження емісії CO₂ в енергетичному секторі України. У межах концепції розроблено програму, яка визначає ланки енергетичного сектору (в нашому випадку – ТЕС), для реструктуризації яких доцільно першочергово направляти фінансовий ресурс. Ранжування підприємств за пріоритетністю до реструктуризації визначає цілі для застосування обмеженого фінансового ресурсу, що в підсумку максимізуватиме економічний ефект від реструктуризації.

Список використаної літератури

1. Рифкин Д. Третья промышленная революция. Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом ; [пер. с англ.]. – М. : Альпина нон-фикшн, 2014. – 410 с.
2. Пляскина Н. Формирование рыночных отношений в сфере природопользования и тенденции развития энергетической политики в условиях реализации Киотского протокола // Вестник Новосибирского государственного университета. – Сер. : Социально-экономические науки. – 2005. – № 5. – С. 24–40.
3. Мюллер А. Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными ; [пер. с англ.]. – СПб. : Вильямс, 2017. – 480 с.

References

1. Rifkin J. *Tret'ya Promyshlennaya Revolyutsiya. Kak Gorizontaľ'nye Vzaimodeistviya Menyayut Energetiku, Ekonomiku i Mir v Tselom* [The Third Industrial Revolution. How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy and the World]. Moscow, Alpina non-fiction, 2014 [in Russian].
2. Plyaskina N. *Formirovanie rynochnykh otnoshenii v sfere prirodopol'zovaniya i tendentsii razvitiya energeticheskoi politiki v usloviyakh realizatsii Kiotskogo protokola* [Formation of market relations in the field of environmental management and trends in

the development of energy policy in the context of the implementation of the Kyoto Protocol]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Sotsial'no-ekonomicheskie nauki – Vestnyk. Novosibirsk State University. Ser. : Social and Economic Sciences*, 2005, No. 5, pp. 24–40 [in Russian].

3. Muller A. *Vvedenie v Mashinnoe Obuchenie s Pomoshch'yu Python. Rukovodstvo dlya Spetsialistov po Rabote s Dannymi* [Introduction to Machine Learning with Python: A Guide for Data Scientists]. SPb., Vil'yams, 2017 [in Russian].

*Стаття надійшла до редакції 7 листопада 2018 р.
The article was received by the Editorial staff on November 7, 2018.*
