ISSN 2786-7102 (Online), ISSN 2786-7633 (Print)
https://doi.org/10.15407/srenergy2024.03.070

УДК 620.9

Олександр Сударików, https://orcid.org/0009-0001-1210-1090
Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна
e-mail: a.sudarykov@gmail.com

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ЗАПРОВАДЖЕННІ «КОНЦЕПЦІЇ «ЗЕЛЕНОГО» ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ УКРАЇНИ ДО 2050 РОКУ»

Анотація. *На шляху до членства в ЕС Україна долучилась до «Європейського зеленого курсу», метою якого є досягнення нульових викидів парникових газів та нульового забруднення навколишнього середовища шляхом переходу від використання копалин до відновлюваних джерел енергії та сировини у країнах-членах Європейського Союзу до 2050 року. Було сформовано «Концепцію «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року», яка передбачає зміну підходів до розвитку енергетики з акцентом на проблему боротьби зі зміною клімату та сталого розвитку економіки. При досягненні цілей «зеленого» переходу важливо розуміти, які фактори найбільше впливають на споживання електроенергії. Перспективним є включення таких факторів у моделі прогнозування попиту на електроенергію. Ці моделі ставатимуть все більш важливими для забезпечення надійності та ефективності мережі. Виявлення факторів, що впливають на енергоспоживання, може стимулювати інновації в енергоефективних технологіях і практиках. У статті зроблено висновок, що на споживання електроенергії в Україні впливають ті ж основні фактори, що і в інших країнах світу. Бажане скорочення споживання електроенергії може бути досягнуто як суто економічними заходами (підвищення тарифів), так і більш прийнятними, технологічними. Проте в умовах війни існують додаткові труднощі, такі як складність прогнозування структури, стану, розвитку енергосистеми на енергоринку. Значна частина населення зараз має більш нагальні проблеми, ніж енергозбереження, тому підвищується роль держави у цьому питанні. Енергосистема України вже зазнала значних руйнувань, до того ж цей процес триває і може тривати ще невизначений час. Незважаючи на труднощі, втрачене обладнання енергосистеми поступово замінюється на нове, більш технологічне. Частина підприємств, які мали значне споживання, або втрачена, або вийшла з ладу. Найбільш пристосованими до нових проблем виявилися торговельний сектор та сфера послуг та частина населення. Тут спостерігається швидкий перехід до використання власних генераторів, сонячних панелей та електротранспорту, що дає зниження споживання електроенергії із державної енергосистеми. Промисловість, зважаючи на потрібні для цього кошти, буде замінювати технології на більш енергоефективні після завершення активної фази війни.*

Ключові слова: *«зелений» перехід, енергоефективність, споживання електроенергії, прогнозування попиту на електроенергію, енергосистема.*

1. Вступ

В останні роки у світі все більше уваги приділяється проблемам екології і Україна тут не стала винятком. Відбувається зміна підходів до розвитку енергетики з акцентом на боротьбу зі зміною клімату. Сучасні світові кліматичні виклики змушують людство переглянути попередні підходи до використання природних ресурсів. Екологізація енергетики – це новий зміст і нова логіка розвитку енергетики з пріоритетом екології [1].

«Європейський зелений курс» (ЄЗК) («The European Green Deal») – набір політичних ініціатив Європейської комісії, висунутих з метою досягнення нульових викидів парникових газів та нульового забруднення навколишнього середовища шляхом переходу від використання копалин до відновлюваних

джерел енергії та сировини у країнах-членах Європейського Союзу до 2050 року. ЄЗК був офіційно представлений головою Єврокомісії Урсулою фон дер Ляйн в Європарламенті 11 грудня 2019 року [2]. Європейська комісія підтримує плани України щодо післявоєнної «зеленої» реконструкції та подальшої реалізації «Європейської зеленої угоди» [3]. Ключовими напрямами ЄЗК є чиста енергія, кліматична дія, будівництво та реновація, стійка промисловість, стійка мобільність, зменшення забруднення довкілля, біорозмаїття, стійка аграрна політика (Стратегія «Від лану до столу») [2]. «Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року» (Концепція) передбачає перехід від традиційних енергетичних систем, заснованих на викопному паливі, до більш стійких та екологічно чистих альтернатив. Мінекоенерго України визначає основною ціллю Концепції приведення частки електроенергії, виробленої в Україні з альтернативних джерел, до 70% через 30 років.

Метою статті є визначення найважливіших факторів, що впливають на споживання електроенергії при запровадженні «Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року» для їх врахування у моделі прогнозування попиту на електроенергію. Розуміння таких факторів дозволяє визначити конкретні сфери, зміни в яких можуть бути найбільш ефективними. Це дасть змогу розробляти цілеспрямовані стратегії зменшення споживання енергії найбільш результативними способами та ефективніше розподіляти ресурси та гарантує, що інвестиції будуть спрямовані на ініціативи, які призведуть до найбільшого скорочення енергоспоживання, максимізуючи вплив обмежених ресурсів. Виявлення факторів, що впливають на споживання енергії, може стимулювати інновації в енергоефективних технологіях і практиках. Багато таких факторів пов’язано з поведінкою людини та суспільними нормами. Визначення цих факторів має важливе значення при розробці ефективних стратегій підвищення енергоефективності та моделей прогнозування попиту на електроенергію, що дозволить скоротити викиди парникових газів та сприяти переходу до більш сталого енергетичного майбутнього.

2. Методи та матеріали

Літературний огляд: проведено аналіз наукових публікацій та інформації з інтернет-ресурсів за темою українського «зеленого» переходу, стану енергетики України та розвинутих країн, позитивного досвіду провідних країн у сфері скорочення споживання електроенергії та, зокрема, переходу на електротранспорт.

3. Результати та обговорення

Міндовкілля України основною метою Концепції визначає приведення частки електроенергії, яка виробляється з відновлюваних джерел, до 70 % до 2050 року та припинення дії необґрунтовано високих «зелених» тарифів на електроенергію, отриману з альтернативних джерел [4].

Відповідно до звіту Міністерства енергетики та захисту довкілля України, в рамках «зеленого» переходу має збільшитися споживання електроенергії (рис. 1).

Екологічні обмеження загалом та обмеження, що накладаються «зеленим» переходом зокрема, про які йдеться в українському законодавстві, мають бути враховані в моделях прогнозування попиту на електроенергію. У статті Н. Майстренко проведено детальний літературний огляд математичних моделей, розроблених в Інституті загальної енергетики НАН України, які враховують вплив екологічного фактора [6]. Зокрема, серед публікацій, що досліджують вплив викидів парникових газів в атмосферу від промислових виробництв, можна виділити роботи вітчизняних вчених В.М. Макарова, М.М. Макортецького, М.О. Перова, І.Ю. Новицького, М.І. Капліна, Т.Р. Білан, Б.А. Костюковського, Т.П. Нечаєвої, Н.В. Парасюк, І.Ч. Лещенко та ін. [7–20].

На даний час однією з важливих робіт, де у довгостроковому прогнозуванні враховано такі фактори, є модель «TIMES-Ukraine» [21]. Вона базується на національних статистичних класифікаторах, узгоджених класифікаціями ООН. Включення до моделі нових даних у більшості випадків вимагало перегляду алгоритму обробки даних [5]. У цій математичній моделі [22, 23] використовуються такі екологічні показники: питомий показник ефективності екологічних викидів – вуглецеємність ВВП (з

ПКС) – CO_2/$(ПКС); показник інтенсивності екологічних викидів – CO_2/особу [24]. Вона базується на національних статистичних класифікаторах, які узгоджені класифікаціями ООН, проте включення до моделі нових даних у більшості випадків вимагає перегляду алгоритму обробки даних [6].

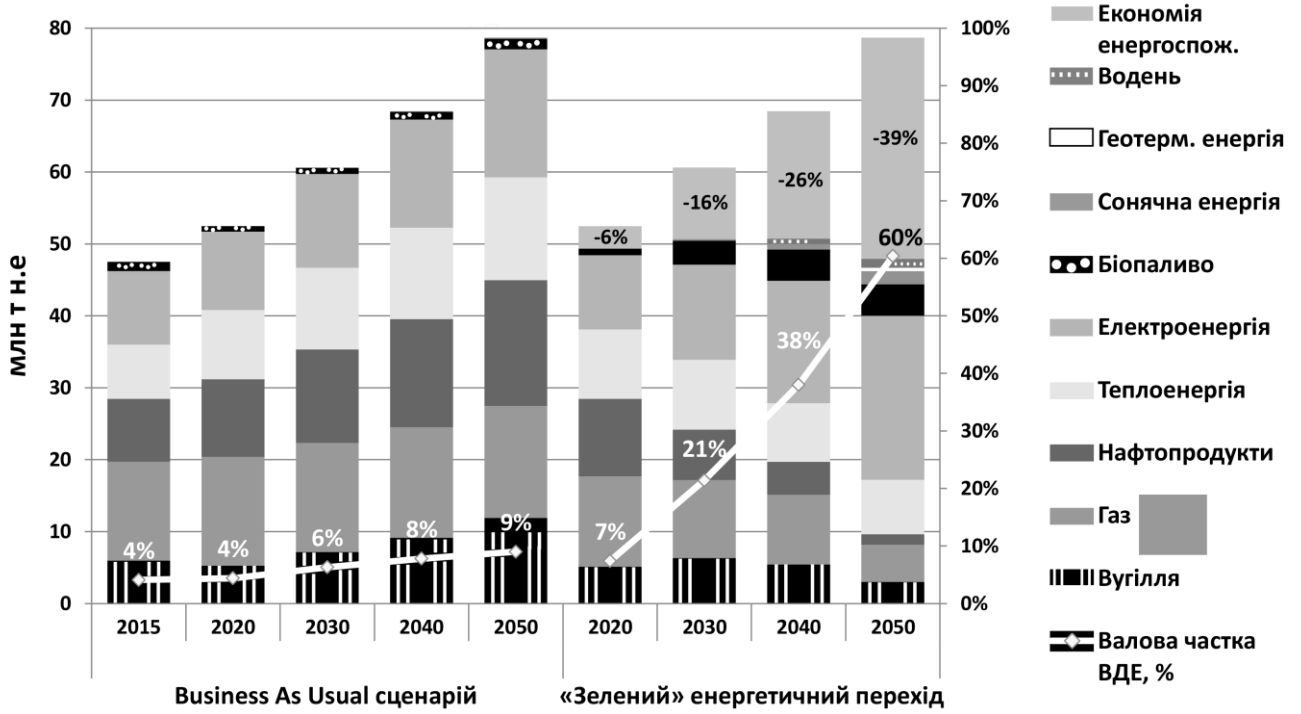

Рисунок. 1. Кінцеве енергетичне споживання до 2050 року (Міністерство енергетики та захисту довкілля України) [5]

Фактори, які впливають на споживання електроенергії. Ключові фактори, що впливають на споживання електроенергії з точки зору фізики, наступні: номінальна потужність електричного пристрою або системи; кількість годин роботи; ефективність пристрою; тип електричного навантаження, підключеного до системи; температура навколишнього середовища; коливання напруги; вік обладнання та технічне обслуговування [25].

Великий вплив на споживання електроенергії також має раціональне використання енергоресурсів населенням, його можливості застосовувати для своїх потреб більш енергоефективну побутову техніку і т. ін. Для цього необхідно методично проводити роз'яснювальну роботу серед населення. Для країни в цілому значними факторами є наявність та співвідношення промисловості та сфери послуг, ІТ тощо.

Розуміння факторів, що впливають на споживання енергії, має важливе значення для оптимізації продуктивності та ефективності електричних пристроїв і систем. Враховуючи їх, споживачі можуть приймати обґрунтовані рішення щодо зменшення енергоспоживання та пов'язаних з цим витрат [25].

Багато факторів, що впливають на споживання енергії, пов'язані з поведінкою людини та суспільними нормами. Усвідомлення таких факторів може стати основою для кампаній та ініціатив, спрямованих на сприяння зміни поведінки, заохочення окремих людей і громад до прийняття більш ефективних заходів зі скорочення енергоспоживання. Визнання факторів, що впливають на споживання енергії, допомагає визначити потенційні ризики та вразливі місця в енергетичних системах, що дозволить розробити профілактичні заходи для пом'якшення цих ризиків, підвищуючи стійкість енергетичної інфраструктури до таких викликів, як зміна клімату та дефіцит ресурсів.

Заходи для зменшення споживання електроенергії під час реалізації «зеленого» переходу

1. Впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, гідроелектрична та геотермальна енергія.

2. Широке впровадження заходів щодо енергоефективності у будівлях, промисловості, транспорті та побутовій техніці. Ці заходи включають покращення ізоляції, перехід на енергоефективне освітлення та прилади, а також оптимізацію промислових процесів.

3. Впровадження нових технологій у споживанні і розподілі електроенергії. Ці технології оптимізують структуру енергоспоживання, забезпечуючи динамічне ціноутворення, перерозподіл навантаження та керування попитом у режимі реального часу. Так, у 2021 році зі спожитих 154,826 млрд кВт·год 29,343 млрд кВт·год було втрачено в процесі розподілу (приблизно 19 %) [26].

4. Зміни у технологічних промислових процесах, використання відновлюваних джерел енергії у виробництві та впровадження чистіших виробничих технологій може вплинути на структуру споживання енергії у промисловому секторі. Це включає ініціативи щодо скорочення викидів від важкої промисловості, такої як сталеливарна, цементна та хімічна.

5. Політична та нормативна база – державна політика, яка має сприяти розумному споживанню.

6. «Зелений» перехід вимагає переходу на електротранспорт, що має зменшити споживання викопного палива, але збільшити споживання електроенергії.

7. Економічні чинники – економічні умови, передусім ціни на енергоносії та динаміка ринку впливають на структуру споживання енергії. Зміни у вартісній конкурентоспроможності технологій використання відновлюваних джерел енергії, коливання цін на викопне паливо та зрушення на світових енергетичних ринках впливають на інвестиційні рішення та тенденції споживання енергії.

Зменшення споживання електроенергії населенням та промисловістю

Зменшення споживання електроенергії із загальної мережі означає зменшення навантаження на об’єкти генерації. З початку великої війни найбільш успішним прикладом зменшення споживання є приклад населення. У грудні 2023 р. населення збільшило споживання електроенергії на 11 % порівняно з груднем 2022 р., коли були часті відключення. За даними Міненерго, у грудні 2023 року обсяги споживання промисловістю зросли на 37,6 % (2,34 млрд кВт проти 1,69 млрд кВт у 2022 році). Проте за підсумками 2023-го року споживання промисловості знизилось на 5 % порівняно з 2022 р. Населення за рік скоротило споживання електроенергії на 1,2 %. Виробництво електроенергії у 2023 р. сумарно скоротилось на 6,8 %. Найбільше за рік скоротилась генерація на атомних електростанціях, на 16 %, що пов’язано із втратою Запорізької АЕС [27].

У 2023 році відбувся перехід теплоелектростанцій з використання вугілля на природний газ та мазут внаслідок ускладнення видобутку вугілля в країні та його доставки з-за кордону.

При наявному дефіциті 4,5 ГВт генеруючої потужності на 30 січня 2023 року за 2023 рік в експлуатацію в країні було додано лише 200 МВт нової генеруючої потужності (без врахування СЕС домогосподарств) [28].

Отже, проблема стимулювання скорочення споживання електроенергії, визначена ще у «Комплексній державній програмі енергозбереження України» [29], залишається надважливою.

Промисловість та об’єкти інфраструктури, що споживають багато електроенергії, також повинні проводити заходи зі зменшення споживання. Парламентом розроблена модель самовиробництва для активних споживачів, спрямована на зменшення споживання електроенергії з мережі підприємствами. Споживач встановлює власні засоби генерації, частина виробленої електроенергії з якої покриває власні потреби, а надлишок продається в мережу.

У великих містах одними з найбільших та найменш ефективних споживачів електроенергії є водоканали. Рішенням може бути будівництво комплексів, що спалюватимуть біогаз, вироблений на очисних спорудах водоканалу, для виробництва електричної енергії. За оцінками фахівців, працюючий біогазовий комплекс може забезпечити 70 % потреб в електроенергії водоканалу. Стимулювати встановлення біогазових комплексів на потужностях водоканалів можна за рахунок співпраці з міською владою та поєднання фінансування з коштів державного та місцевого бюджетів або міжнародних партнерів [29].

Враховуючи досвід розвинутих країн, в яких заходи з енергоефективності, прийняті з 2000 року, заощадили майже 1800 ТВт·год у 2017 році, або близько 20 % від загального поточного споживання електроенергії, можна зробити припущення, що такий ефект буде й в Україні. Уповільнення темпу зростання споживання електроенергії пояснюється енергоефективністю в промисловості, в основному в результаті суворих, широко застосовуваних мінімальних стандартів енергоефективності для електродвигунів. У житлових будинках загальне споживання енергії певними класами приладів вже досягло піку. У 2000 році близько 53 % попиту на електроенергію в промисловому секторі надходило від важкої промисловості, у 2017 році – вже менше 45 %. Зараз на країни з розвиненою економікою припадає 30 % світового виробництва сталі, наприклад, порівняно з 60 % у 2000 році і 25 % виробництва алюмінію, що також менше від приблизно 60 % у 2000 році. Попит на електроенергію для опалення та транспорту збільшився лише на 350 ТВт·год між 2000 і 2017 роками. З 2000 року лише близько 7 % домогосподарств у розвинутих економіках перейшли з викопного палива на електроенергію для обігріву приміщень і води, а використання електроенергії для задоволення попиту на тепло в промисловому секторі залишається незначним [30]. У багатьох регіонах ціна на електроенергію порівняно з викопним паливом обмежує її конкурентоспроможність, проте прогнозується повільне зростання попиту на електроенергію.

В середньому попит на електроенергію в країнах з розвиненою економікою, за прогнозами, зростатиме лише на 0,7 % на рік до 2040 року, це буде пов’язано з цифровізацією та політикою, що стимулює використання електромобілів та електроопалення. Без такої політики попит на електроенергію в багатьох країнах з розвиненою економікою продовжував би знижуватися. Очікується, що до 2040 року частка електроенергії в кінцевому споживанні зросте до 27 % проти 22 % сьогодні [30].

Відповідно до Концепції у 2050 році споживання палива у транспортній сфері України має скоротитися до 15 %, а споживання електроенергії зрости до рівня 46 % від загального об’єму [31]. Розвиток електротранспорту неможливий без розвитку мереж зарядних станцій, їх кількість на початок 2024 рік в Україні перевищує 10 тис. Але більше ніж 90 % з них мають низьку швидкість зарядки (до 50 кВт/год), і переважна частина зарядних станцій встановлена у містах, а на автотрасах їх не вистачає. Для порівняння, у Німеччині понад 90 тисяч зарядних станцій, а також план на 1 мільйон у 2030 році [32]. Але тут постає нова проблема – чи витримає енергосистема країни таке збільшення навантаження. Зараз в Україні на одну зарядну станцію припадає в середньому 15 автомобілів. В ЄС – 11. До 2030 року планується зменшити це співвідношення до 7 електрокарів на 1 станцію.

У США повний перехід на електромобілі (EV) підвищить попит на електроенергію приблизно на 30 %, якщо майбутній автопарк матиме такий самий середній розмір, вагу та потужність, що й поточні EV. Однак ці розміри для сучасних електромобілів значно нижчі, ніж для звичайних транспортних засобів, тому, коли електромобілі замінять їх, середній розмір, вага та потужність електромобілів, ймовірно, зростуть. Використавши дані 255 електромобілів, протестованих Агентством з охорони навколишнього середовища США у 2011–2021 роках, для оцінки впливу збільшення ваги та потужності на споживання електроенергії електромобілями, було встановлено, що перехід на електромобілі може збільшити споживання електроенергії на 35 % або більше [33].

Ринок України, хоч і значно менший за ринок США, має схожий парк електротранспорту, проте пропорція збільшення споживання зберігається. Одним із перспективних рішень для збільшення запасу ходу електромобілів є впровадження системної інфраструктури, яка доставляє енергію до електромобілів під час руху [34]. Очікується, що впровадження такої інфраструктури збільшить попит на електромобілі принаймні на 15 %. Іншим рішенням є станції заміни акумуляторів, однак для цих станцій необхідно встановити чітку політику власності. Стратегічно плануючи мережу рішень для заряджання електромобілів, яка охоплює як стаціонарні, так і динамічні варіанти, а також дротові та бездротові альтернативи, ми можемо запропонувати водіям електромобілів широкі можливості зарядки. Це вирішить їхні проблеми з асортиментом і буде стимулювати більш широке впровадження електромобілів завдяки довгостроковій економії коштів, пов’язаній з електромобілями [35].

4. Висновки

На споживання електроенергії в Україні впливають переважно ті самі основні фактори, що і в інших країнах світу. Скорочення споживання може бути досягнуто як суто економічними заходами (підвищення тарифів), так і більш прийнятними, технологічними (заміна застарілих технологій та пристроїв). Проте в умовах війни існують додаткові труднощі, такі як складність прогнозування як стану, так і розвитку енергосистеми на енергоринку (за рахунок незапланованого виходу з ладу того чи іншого обладнання внаслідок атак ворога); значна частина населення зараз має більш нагальні проблеми, ніж енергозбереження. Енергосистема вже зазнала значних руйнувань, до того ж цей процес може тривати ще невизначений час. Незважаючи на труднощі, втрачене обладнання енергосистеми поступово замінюється на нове, більш технологічне. Частина підприємств, які мали значне споживання електроенергії, або втрачена, або вийшла з ладу. Найбільш пристосованими до нових проблем в енергетичному секторі виявилися торговельний сектор та сфера послуг та частина населення. Тут спостерігається швидкий перехід до використання власних генераторів, сонячних панелей та електротранспорту, що дає зниження споживання електроенергії із енергосистеми. Промисловість, зважаючи на потрібні для цього кошти, буде замінювати обладнання на більш енергоефективні після завершення активної фази війни.

Посилання

1. Презентовано проект Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/prezentovano-proekt-koncepciyi-zelenogo-energetichnogo-perehodu-ukrayini-do-2050-roku (дата звернення: 30.04.2024).
2. Європейський Зелений Курс. URL: https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobitnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda (дата звернення: 27.03.2024).
3. European Commission supports Ukraine's plans for post-war "green" reconstruction and further implementation of European Green Deal. URL: https://www.kmu.gov.ua/en/news/yevrokomisiia-pidtrymuie-plany-ukrainy-u-povoiennii-zelenii-vidbudovi-ta-podalshomu-vprovadzhenni-ievropeiskoho-zelenoho-kursu (дата звернення: 27.03.2024).
4. «Ukrainian Green Deal» – концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року. URL: https://se.net.ua/ukrainian-green-deal-kontseptsiya-zelenogo-energetychnogo-perehodu-ukrayiny-do-2050-roku/ (дата звернення: 27.03.2024).
5. Україна та Європейський зелений курс. Річний моніторинговий звіт 2023. URL: https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2023/12/veb-versiya-ukrayina-ta-yezk-2023.pdf (дата звернення 29.03.2024).
6. Maistrenko N. Taking into account environmental constraints on emissions in economic models long-term forecasting of energy consumption (review of publications). *System Research in Energy*. 2023. No. 3(74). P. 85—94. https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.085
7. Макаров В., Перов М. Оцінка перспективності діючих вуглевидобувних підприємств. *Системні дослідження в енергетиці*. 2023. № 2(73). С. 18—29. https://doi.org/10.15407/srenergy2023.02.018
8. Макортецький М.М., Перов М.О., Новицький І.Ю. Математична модель оптимальної структури вугільної продукції для ТЕС України із врахуванням екологічних обмежень. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. Вип. 2(49). С. 40—48. https://doi.org/10.15407/pge2017.02.040
9. Каплін М.І., Макаров В.М., Білан Т.Р. Балансово-оптимізаційна модель взаємодії енергетики з паливними галузями ПЕК України з урахуванням європейських екологічних норм. *Проблеми загальної енергетики*. 2018. Вип. 1(52). С. 5—11. https://doi.org/10.15407/pge2018.01.005
10. Макаров В.М., Каплін М.І., Перов М.О. Врахування екологічних обмежень при моделюванні розвитку вугільної промисловості. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 4(59). С. 36—44. https://doi.org/10.15407/pge2019.04.036
11. Каплін М., Білан Т., Новицький І. Моделювання енергозабезпечення країни за структурою даних продуктового енергетичного балансу в форматі міжнародної енергетичної агенції. *Проблеми загальної енергетики*. 2022. Вип. 1-2(68-69). С. 58—69. https://doi.org/10.15407/pge2022.01-02.058
12. Костюковський Б.А. Моделювання розвитку електроенергетичної системи України для обґрунтування Другого національно визначеного внеску щодо обмеження викидів парникових газів. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. Вип. 2(65). С. 28—35. https://doi.org/10.15407/pge2021.02.028
13. Нечаєва Т.П. Оцінка доцільності впровадження перспективних ядерних реакторів з урахуванням вимог до надійності та екологічності функціонування ОЕС України. *Проблеми загальної енергетики*. 2018. Вип. 1(52). С. 41—50. https://doi.org/10.15407/pge2018.01.041
14. Парасюк Н.В. Перспективи впровадження внутрішньої системи торгівлі квотами на викиди парникових газів в Україні. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 2(57). С. 53—59. https://doi.org/10.15407/pge2019.02.053

15. Лещенко І.Ч. Система математичних моделей дослідження перспектив функціонування і розвитку газової галузі в сучасних умовах. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. Вип. 3(50). С. 5—14. https://doi.org/10.15407/pge2017.03.005
16. Лещенко І.Ч., Єгер Д.О. Загальна оцінка потенціалу скорочення викидів парникових газів у нафтогазовій галузі України на період до 2040 року. *Проблеми загальної енергетики*. 2020. Вип. 1(60). С. 55—65. https://doi.org/10.15407/pge2020.01.055
17. Leshchenko I., Shulzhenko S., Kaplin M., Maistrenko N., Shcherbyna E. Assessment of the greenhouse gases reduction by the oil and gas sector of Ukraine to meet international climate agreements. In A. Zaporozhets & V. Artemchuk (Eds.). *Studies in Systems, Decision and Control. Systems, Decision and Control in Energy IV*. 2023. Vol. 456. P. 199—212. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22500-0_13
18. Kulyk M., Nechaieva T., Zgurovets O., Shulzhenko S. Maistrenko N. Comparative Analysis of Energy-Economic Indicators of Renewable Technologies in Market Conditions and Fixed Pricing on the Example of the Power System of Ukraine. In A. Zaporozhets & V. Artemchuk (Eds.). *Studies in Systems, Decision and Control. Systems, Decision and Control in Energy IV*. 2023. Vol. 454. P. 433—449. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22464-5_26
19. Кулик М.М., Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В., Куц Г.О. Енергоефективність та прогнозування енергоспоживання на різних ієрархічних рівнях економіки: методологія, прогнозні оцінки до 2040 року. Київ, НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2021. 234 с.
20. Майстренко Н.Ю. Методика прогнозування рівнів енергоспоживання з урахуванням екологічних, технологічних та структурних факторів в економіці на ієрархічних рівнях. Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій: колективна монографія. Полтава – Львів: НУПП імені Юрія Кондратюка, НУ «Львівська політехніка» — Дніпро: Середняк Т.К., 2022. С. 623–635. https://doi.org/10.23939/monograph2022
21. Long-Term Energy Modeling and forecasting in Ukraine: scenarios for the action plan for the implementation of the energy strategy of Ukraine for the period up to 2035. Ukrainian-Danish Energy Center. Bilateral cooperation of governments on strategic energy planning. Kiev-Copenhagen, 2019. 57 p. URL: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/long-term_energy_modelling_and_forecasting_in_ukraine_english.pdf (дата звернення: 27.03.2024).
22. Подолець Р.З., Дячук О.А. Стратегічне планування у паливно-енергетичному комплексі на базі моделі «TIMES-Україна»: наук. доп. Київ: Ін-т екон. та прогнозув. НАН України, 2011. 150 с.
23. Дячук О.А., Подолець Р.З., Серебренніков Б.С., Зеленюк Т.А. Ефективність і екологічність використання енергетичних ресурсів у світі та Україні. *Економічний аналіз: зб. наук. праць*. За ред. В.А. Дерія. Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2014. Том 15. № 1. С. 59—75.
24. Маляренко О., Іваненко Н., Сударикова О. Дослідження взаємозв'язку показників екологічної та енергетичної ефективності на рівні країни. *Системні дослідження в енергетиці*. 2023. № 4(75). С. 84—94. https://doi.org/10.15407/srenergy2023.04.084
25. What are the factors that affect the energy consumption of electrical devices and systems? URL: https://www.electricity-magnetism.org/what-are-the-factors-that-affect-the-energy-consumption-of-electrical-devices-and-systems/ (дата звернення: 27.03.2024).
26. Україна за 9 місяців збільшила виробництво електроенергії на 6,2 %. URL: https://energy365.com.ua/tpost/g3pbhezn31-ukrana-za-9-msyatsv-zblshila-virobnitstv (дата звернення: 27.03.2024).
27. У грудні 2023 р. населення збільшило споживання електроенергії на 11 %. URL: https://expro.com.ua/novini/-u-grudn-2023-r-naselennya-zblshilo-spojivannya-elektroenerg-na-11 (дата звернення: 27.03.2024).
28. Енергетична трансформація України: підсумки першого року (невтішні). URL: https://www.epravda.com.ua/columns/2023/12/26/708108/ (дата звернення: 27.03.2024).
29. Про Комплексну державну програму енергозбереження України: постанова Кабінету Міністрів України від 05.02. 1997 р. № 148. URL: https://ips.ligazakon.net/document/KP970148?ed=1997_02_05 (дата звернення: 27.03.2024).
30. Bouckaert S., Goodson T. The mysterious case of disappearing electricity demand. Paris, IEA, 2019. URL: https://www.iea.org/commentaries/the-mysterious-case-of-disappearing-electricity-demand (дата звернення: 27.03.2024).
31. Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року». Комітет Верховної Ради України з питань енергетики та житлово-комунальних послуг. Міністерство енергетики та захисту довкілля. URL: https://kompek.rada.gov.ua/uploads/documents/30556.pdf (дата звернення: 27.03.2024).
32. Сто тисяч електричних ластівок. URL: https://minprom.ua/articles/304334.html (дата звернення: 27.03.2024).
33. Galvin R. Are electric vehicles getting too big and heavy? Modelling future vehicle journeying demand on a decarbonized US electricity grid. *Energy Policy*. 2022. Vol. 161. 112746. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112746
34. Colombo C. G., Miraftabzadeh S. M., Saldarini A., Longo M., Brenna M., Yaici W. Literature review on wireless charging technologies: Future trend for electric vehicle? *2022 Second International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (SMART)* (2022, November 23–25). P. 1—5.

35. Aldhanhani T., Abraham A., Hamidouche W., Shaaban M. Future Trends in Smart Green IoV: Vehicle-to-Everything in the Era of Electric Vehicles. *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*. 2024. Vol. 5. P. 278—297. https://doi.org/10.1109/OJVT.2024.3358893

References

1. The project of the concept of "green" energy transition of Ukraine until 2050 was presented. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/prezentovano-proekt-koncepciyi-zelenogo-energetichnogo-perehodu-ukrayini-do-2050-roku (Last accessed: 30.04.2024).
2. European Green Course. URL: https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobitnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
3. European Commission supports Ukraine's plans for post-war "green" reconstruction and further implementation of European Green Deal. URL: https://www.kmu.gov.ua/en/news/yevrokomisiia-pidtrymuie-plany-ukrainy-u-povoiennii-zelenii-vidbudovi-ta-podalshomu-vprovadzhenni-ievropeiskoho-zelenoho-kursu (Last accessed: 27.03.2024).
4. «Ukrainian Green Deal» – the concept of «green» energy transition of Ukraine by 2050. URL: https://se.net.ua/ukrainian-green-deal-kontseptsiya-zelenogo-energetychnogo-perehodu-ukrayiny-do-2050-roku/ (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
5. Ukraine and the European Green Course. (2023). Annual monitoring report. URL: https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2023/12/veb-versiya-ukrayina-ta-yezk-2023.pdf (Last accessed: 29.03.2024).
6. Maistrenko, N. (2023). Taking into account environmental constraints on emissions in economic models long-term forecasting of energy consumption (review of publications). *System Research in Energy*, *3*(74), 85–94. https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.085
7. Makarov, V. & Perov, M. (2023). Assessment of prospects of operating coal mining enterprises. *System Research in Energy*, *2*(73), 18–29 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/srenergy2023.02.018
8. Makortetskiy, M.M., Perov, M.O., & Novytskyi, I.Yu. (2017). Mathematical model of the optimal structure of coal production for thermal power plants of Ukraine with taking into account environmental constraints. *The Problems of General Energy*, *2*(49), 40–48 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/pge2017.02.040
9. Kaplin, M.I., Makarov, V.M., & Bilan, T.R. (2018). The balance-optimization model of the Ukrainian power sector and fuel industries mutually coordinated operation in the view of European environmental legislation. *The Problems of General Energy*, *1*(52), 5–11 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/pge2018.01.005
10. Makarov, V.M., Kaplin, M.I., & Perov, M.O. (2019). Consideration of environmental constraints in modeling the development of coal industry. *The Problems of General Energy*, *4*(59), 36–44 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/pge2019.04.036
11. Kaplin, M.I., Bilan, T.R., & Novytskyi, I.Yu. (2022). Modeling of country energy supply by structure of product energy balance data in the format of the international energy agency. *The Problems of General Energy*, *1-2*(68-69), 58–69 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/pge2022.01-02.058
12. Kostyukovskyi, B.A. (2021). The Modelling of Power System of Ukraine Development for Assessment of Nationally Determined Contribution of Ukraine to the Paris Agreement. *The Problems of General Energy*, *2*(65), 28–35 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/pge2021.02.028
13. Nechaieva, T.P. (2018). Assessment of the expediency of introducing advanced nuclear reactors with regard for requirements to the reliability and ecological compatibility of the operation of Ukrainian UPS. *The Problems of General Energy*, *1*(52), 41–50 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/pge2018.01.041
14. Parasyuk, M.V. (2019). Prospects of implementing the internal system of quota trade for greenhouse gas emission in Ukraine. *The Problems of General Energy*, *2*(57), 53–59 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/pge2019.02.053
15. Leshchenko, I.Ch. (2017). A system of mathematical models for studying the prospects of functioning and development of gas industry under current conditions. *The Problems of General Energy*, *3*(50), 5–14 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/pge2017.03.005
16. Leshchenko, I.Ch., & Yeger, D.O. (2020). Overall estimation of the potential of ghg reduction in Ukraine's oil and gas industry by 2040. *The Problems of General Energy*, *1*(60), 55–65 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/pge2020.01.055
17. Leshchenko, I., Shulzhenko, S., Kaplin, M., Maistrenko, N., & Shcherbyna, E. (2023). Assessment of the greenhouse gases reduction by the oil and gas sector of Ukraine to meet international climate agreements. In A. Zaporozhets & V. Artemchuk (Eds.), *Studies in Systems, Decision and Control. Systems, Decision and Control in Energy IV*. 456 (pp. 199–212). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22500-0_13
18. Kulyk, M., Nechaieva, T., Zgurovets, O., Shulzhenko, S. & Maistrenko, N. (2023). Comparative Analysis of Energy-Economic Indicators of Renewable Technologies in Market Conditions and Fixed Pricing on the Example of the Power System of Ukraine. In A. Zaporozhets & V. Artemchuk (Eds.), *Studies in Systems, Decision and Control. Systems, Decision and Control in Energy IV*, 454 (pp. 433–449). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22464-5_26
19. Kulyk, M.M., Malyarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., Stanytsina, V.V., & Kuts, G.O. (2021). Energy Efficiency and Forecasting of Energy Consumption at Different Hierarchy Levels of Economy: Methodology, Forecast Estimates Until 2040. Kyiv, Naukova Dumka (233 p.).

20. Maistrenko, N. (2022). Methodology for forecasting energy consumption levels taking into account ecological, technological and structural factors in the economy at hierarchical levels. Overcoming ecological risks and threats to the environment in emergency situations [collective monograph]. Poltava – Lviv: NUPP named after Yuriy Kondratyuk, NU "Lviv Polytechnic" – Dnipro: Srednyak T.K. (pp. 623–635). https://doi.org/10.23939/monograph2022
21. Long-Term Energy Modeling and forecasting in Ukraine: scenarios for the action plan for the implementation of the energy strategy of Ukraine for the period up to 2035. (2019). Ukrainian-Danish Energy Center. Bilateral cooperation of governments on strategic energy planning. Kiev-Copenhagen (57 p.). URL: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/long-term_energy_modelling_and_forecasting_in_ukraine_english.pdf (дата звернення: 27.03.2024).
22. Podolets, R.Z., & Dyachuk, O.A. (2011). Stratehichne planuvannia u palyvno-enerhetychnomu kompleksi na bazi modeli "TIMES-Ukraina": nauk. dop. Kyiv: Institute for economics and forecasting of NAS of Ukraine (150 p.) [in Ukrainian].
23. Diachuk, O.A., Podolets, R.Z., Serebrennikov, B.S., & Zeleniuk, T.A. (2014). Efektyvnist i ekolohichnist vykorystannia enerhetychnykh resursiv u sviti ta Ukraini. *Ekonomichnyi analiz: zb. nauk. prats*. Za red. V.A. Deriia. Ternopil: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr Ternopilskoho natsionalnoho ekonomichnoho universytetu "Ekonomichna dumka", *15*(1), 59–75 [in Ukrainian].
24. Maliarenko, O., Ivanenko, N., & Sudarykov, O. (2023). Study of the relationship of environmental and energy efficiency indicators at the country level. *System Research in Energy*, *4*(75), 84–94 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/srenergy2023.04.084
25. What are the factors that affect the energy consumption of electrical devices and systems? URL: https://www.electricity-magnetism.org/what-are-the-factors-that-affect-the-energy-consumption-of-electrical-devices-and-systems/ (Last accessed: 27.03.2024).
26. Ukraine increased electricity production by 6.2 % in 9 months. URL: https://energy365.com.ua/tpost/g3pbhezn31-ukrana-za-9-msyatsv-zblshila-virobnitstv (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
27. In December 2023, the population increased electricity consumption by 11 %. URL: https://expro.com.ua/novini/-u-grudn-2023-r-naselennya-zblshilo-spojivannya-elektroenerg-na-11 (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
28. Energy transformation of Ukraine: results of the first year (disappointing). URL: https://www.epravda.com.ua/columns/2023/12/26/708108/ (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
29. About the Comprehensive State Energy Saving Program of Ukraine: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 05.02.1997 No. 148. URL: https://ips.ligazakon.net/document/KP970148?ed=1997_02_05 (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
30. Bouckaert, S., & Goodson, T. (2019). The mysterious case of disappearing electricity demand. IEA, Paris. URL: https://www.iea.org/commentaries/the-mysterious-case-of-disappearing-electricity-demand (Last accessed: 27.03.2024).
31. Concept of the "Green" energy transition of Ukraine until 2050. Committee of the Verkhovna Rada of Ukraine on energy and housing and communal services. Ministry of Energy and Environmental Protection. URL: https://kompek.rada.gov.ua/uploads/documents/30556.pdf (Last accessed: 27.03.2024) [in Ukrainian].
32. One hundred thousand electric swallows. URL: https://minprom.ua/articles/304334.html (Last accessed: 27.03.2024).
33. Galvin, R. (2022). Are electric vehicles getting too big and heavy? Modelling future vehicle journeying demand on a decarbonized US electricity grid. *Energy Policy*, 161, 112746. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112746
34. Colombo, C. G., Miraftabzadeh, S. M., Saldarini, A., Longo, M., Brenna, M., & Yaici, W. (2022, November 23–25). Literature review on wireless charging technologies: Future trend for electric vehicle? *2022 Second International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (SMART)* (pp. 1–5).
35. Aldhanhani, T., Abraham, A., Hamidouche, W., & Shaaban, M. (2024). Future Trends in Smart Green IoV: Vehicle-to-Everything in the Era of Electric Vehicles. *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 5, 278–297. https://doi.org/10.1109/OJVT.2024.3358893

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING ELECTRICITY CONSUMPTION UPON THE IMPLEMENTATION OF THE “GREEN” ENERGY TRANSITION CONCEPT IN UKRAINE BY 2050

Alexander Sudarykov, https://orcid.org/0009-0001-1210-1090
General Energy Institute of NAS of Ukraine, 172, Antonovycha St., Kyiv, 03150, Ukraine
e-mail: a.sudarykov@gmail.com

Abstract. *On the way to EU membership, Ukraine joined the "European Green Deal", which aims to achieve zero greenhouse gas emissions and zero environmental pollution by transitioning from the use of fossil fuels to renewable sources of energy and raw materials in the member states of the European Union by 2050. The concept of the "green" energy transition of Ukraine by 2050 was formulated, which involves a change in approaches to the development of energy with an emphasis on the problem of combating climate change and sustainable economic development. When achieving the goals of the "green" transition, it is important to understand which factors have the greatest impact on electricity consumption. It is promising to include such factors in electricity demand forecasting models. These models will become increasingly important to ensure network reliability and efficiency. Identifying the factors that affect energy consumption can drive innovation in energy-efficient technologies and practices. The article concludes that electricity consumption in Ukraine is affected by the same main factors as in other countries of the world. The desired reduction in electricity consumption can be achieved both by purely economic measures (increasing tariffs) and by more acceptable, technological measures. However, in the conditions of war, there are additional difficulties, such as the difficulty of forecasting the structure, state, and development of the energy system on the energy market. A significant part of the population now has more urgent problems than energy conservation, so the role of the state in this issue is increasing. Ukraine's energy system has already suffered significant destruction, and this process is ongoing and may continue for an indefinite period of time. Despite the difficulties, the lost power system equipment is gradually being replaced with new, more technologically advanced equipment. Some of the enterprises that had significant consumption were either lost or failed. The most adapted to new problems turned out to be the trade sector and the service sector and part of the population. Here, there is a rapid transition to the use of own generators, solar panels and electric transport, which reduces the consumption of electricity from the state power system. Industry, taking into account the funds required for this, will replace technologies with more energy-efficient ones after the end of the active phase of the war.*
Keywords: "green" transition, energy efficiency, electricity consumption, electricity demand forecasting, energy system.

Надійшла до редколегії: 04.04.2024