

ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ, ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЯ ТА ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ – КЛЮЧОВІ ФАКТОРИ СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

DECARBONIZATION, DECENTRALIZATION AND DIGITALIZATION – THE KEY FACTORS OF MODERN ENERGY SECTOR

У статті розглянуто основні тенденції розвитку сучасної енергетики, які відповідають концепції «ЗД», такі як декарбонізація, децентралізація та діджиталізація. Мета статті полягає у визначенні актуальності цих процесів для розвитку сучасної енергетики. Розглянуто динаміку викидів CO₂ у світі. З'ясовано, що оскільки виробництво енергії з викопних джерел пов'язане з такими викидами, то для їх зниження та досягнення цільового рівня необхідним є використання відновлюваних джерел енергії. Використання підприємствами автономних систем енергозабезпечення дає можливість створити децентралізоване енергетичне господарство, трансформуючи ринок, що може бути організований з використанням моделі P2P-трейдингу. Виявлено, що розвиток інформаційних технологій, який відбувається відповідно до тенденції діджиталізації, дає змогу створити спеціальну платформу для організації такого трейдингу на енергетичному ринку, забезпечити його прозорість та реалізацію інтересів усіх учасників.

Ключові слова: декарбонізація, децентралізація, діджиталізація, енергетика, трейдинг P2P.

В статье рассмотрены основные тенденции развития современной энергетики, соответствующие концепции «ЗД», такие как декарбонизация, децентрализация и диджитализация. Цель статьи заключается в определении актуальности этих процессов для развития современной энергетики. Рассмотрена динамика выбросов CO₂ в мире. Выяснено, что поскольку производство энергии из ископаемых источников связано с такими выбросами, то для их снижения и достижения целевого уровня необходимым является использование возобновляемых источников энергии. Использование предприятиями автономных систем энергообеспечения позволяет создать децентрализованное энергетическое хозяйство, трансформируя рынок, который может быть организован с использованием модели P2P-трейдинга. Выявлено, что развитие информационных технологий, которое происходит в соответствии с тенденцией диджитализации, позволяет создать специальную платформу для организации такого трейдинга на энергетическом рынке, обеспечить его прозрачность и реализацию интересов всех участников.

Ключевые слова: декарбонизация, децентрализация, диджитализация, энергетика, трейдинг P2P.

УДК 658.261 : 620.9 : 004.75

DOI: <https://doi.org/10.32843/bses.71-18>

Пудичева Г.О.

к.е.н., доцент кафедри економіки підприємства та організації підприємницької діяльності Одеський національний економічний університет

Pudychewa Halyna

Odesa National Economic University

The main trends of the development of energy sector on the current stage due to the concept of “3D”, namely decarbonization, decentralization and digitalization, are considered in the article. The purpose of this article is to determine the relevance of these processes for the development of modern energy sector. To achieve this goal the author uses such general scientific research methods, as analysis, synthesis, theoretical generalization, abstraction and analogy, graphic analysis, etc. The dynamics of CO₂ emissions in the world is considered by the author. As carbon emission has a significant impact on the climate changes, it is necessary to regulate the level of CO₂ emissions in order to prevent irreversible changes. It is found that since the production of energy from fossil fuel is associated with carbon emission, in order to reduce this emission and achieve the target level, it is necessary to use renewable energy sources. The use of renewables allows autonomous supplying energy to enterprises and makes it possible to create a decentralized energy systems, transforming the market, which can be organized using the market model of P2P-trading (“Peer-to-Peer”). The concept of information technologies is determined based on the analysis of scientific literature. It is revealed that the development of information technologies in energy sector, namely “blockchain”, “AI” (artificial intellect), “IoT” (Internet of Things), “big data” and its management, etc. is taking place in accordance with the global trend of digitalization. Digitalization may allow to create the competitive environment in the energy market and to form prices and tariffs on the energy services based on the market principles. Moreover, use of information technologies may enable energy security and promote renewables use. The author shows that the combination of processes of decarbonization, decentralization and digitalization in energy sector makes it possible to create a special platform for organizing such P2P-trading on the energy market, to ensure its transparency and realization of interests of all participants.

Key words: decarbonization, decentralization, digitalization, energy sector, P2P-trading.

Постановка проблеми. Енергетика розвинутих країн сьогодні розвивається у напрямі так званих ЗД, а саме декарбонізації, децентралізації та діджиталізації (англ. “3Ds” – “decentralization”, “decarbonization”, “digitalization”). Водночас сьогодні світ стикається з новими викликами нестабільності та невизначеності, пов'язаними з пандемією COVID-19.

Розвиток вітчизняної енергетики повинен бути узгоджений із сучасними глобальними тенденціями. Саме тому потрібно визначити особливості декарбонізації, децентралізації та діджиталізації як ключових факторів, які в найближчі десятиліття справлятимуть вплив на енергетичну сферу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Серед дослідників концепції «ЗД» в енергетиці можна виділити зарубіжних науковців М.Л. Ді Сільвестре, С. Фарузза, Е.Р. Сансеверіно, Г. Зіццо [1], які розглядають вплив декарбонізації, діджиталізації та децентралізації на інфраструктуру електроенергетичного сектору. Й. Ву, Дж.М. Гуерреро, Дж.К. Васкез [2] зосереджують у своїх дослідженнях увагу на діджиталізації та децентралізації, які забезпечують зміну ключових технологій та інфраструктури енергетичної сфери. Автори стверджують, що зростання частки електричної енергії, виробленої з відновлюваних джерел, стимулює перехід до нової моделі ринку, а це забезпечує

зниження карбонового сліду. Проте у вітчизняних публікаціях концепція «ЗД» ще не набула широкого поширення, а дослідження цих тенденцій мають фрагментарний характер. Саме тому необхідним вбачається узагальнення особливостей впливу кожного з трьох аспектів концепції на розвиток сучасної енергетики.

Постановка завдання. Метою статті є встановлення актуальності процесів декарбонізації, децентралізації та діджиталізації в поточних умовах функціонування енергетичної галузі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вимога декарбонізації енергетики в сучасному світі пов'язана з тим, що більшість викидів парникових газів виникає у зв'язку зі споживанням енергії в різних секторах економіки, зокрема житловому секторі, у промисловості, сфері послуг, транспорті. Для досягнення екологічних цілей з припинення кліматичних викидів необхідно знижувати споживання викопного палива. В доповіді [3] зазначається, що викиди парникових газів необхідно скоротити на 45% до 2030 року порівняно з рівнем 2010 року, щоб досягти цільового показника у 1,5°C до 2050 року.

Проте, як видно з рис. 1, загальні викиди CO₂ у світі продовжують зростати.

Так, у 2019 році порівняно з 1990 роком обсяг викидів CO₂ у світі збільшився на 15 333,27 Мт (67,6%) порівняно з рівнем 1990 року. Причому у галузі електроенергетики відсоток зростання рівня викидів CO₂ у світовому масштабі склав 78% у 2019 році порівняно з 1990 роком [4]. Якщо ж такі темпи зростання викидів збережуться, то

у 2021 році загальний обсяг викидів CO₂ у світі досягне позначки 45 643 Мт.

Це вимагає розроблення заходів, націлених на перехід до використання відновлюваних джерел енергії, що є більш чистими та невичерпними.

Використання відновлюваних технологій в енергетиці безпосередньо пов'язано з другим аспектом концепції «ЗД», а саме децентралізацією. В умовах реформування енергетичного ринку підприємства – споживачі електричної енергії в Україні можуть вільно змінювати її постачальників, оскільки, відповідно до Правил роздрібного ринку електричної енергії [5], монополій облэнерго на цьому ринку більше не існує. Вибір постачальника може залежати від власних потреб підприємства, запропонованих механізмів ціноутворення, рівня сервісного обслуговування тощо, що дає змогу вибрати підприємству найбільш оптимальний варіант енергопостачальника. Крім того, підприємства можуть вибрати варіант власного виробництва електричної енергії, стаючи особливими гравцями на ринку – «просьюмерами». Найбільш поширеним варіантом такого виробництва є встановлення підприємствами сонячних електростанцій (СЕС).

Проекти такого виду дають змогу підприємствам не тільки забезпечити власне енергетичне постачання, але й знизити шкідливий вплив на довкілля, оскільки не створюють шкідливих викидів під час генерації електричної енергії порівняно з генерацією електроенергії з викопних джерел.

На наш погляд, оскільки «зелені» тарифи у майбутньому будуть поступово знижуватися, най-

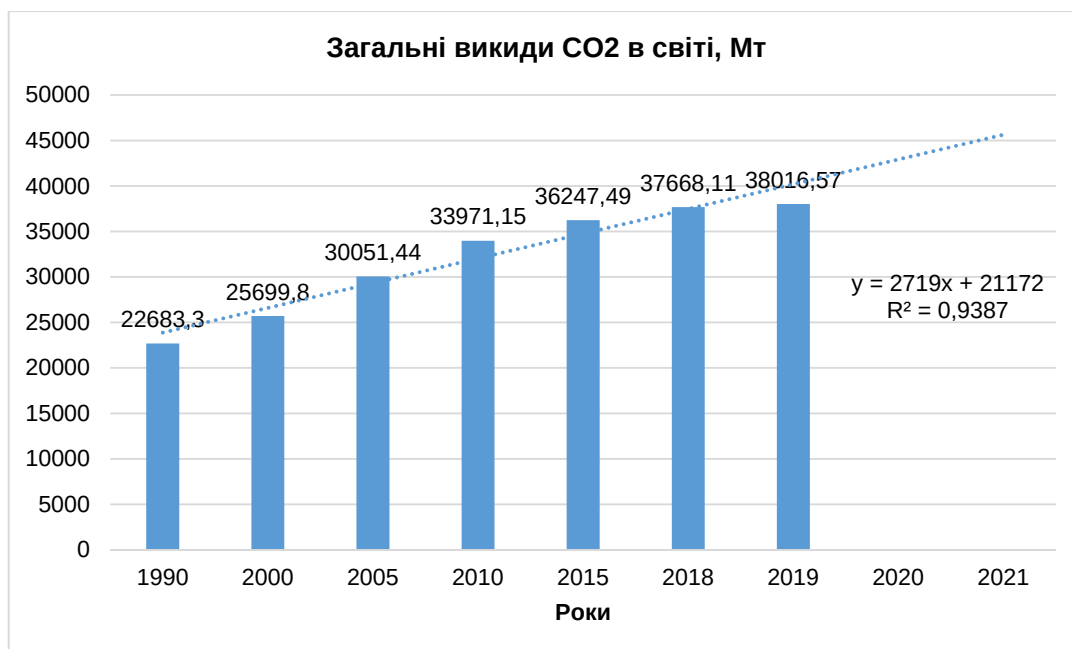


Рис. 1. Загальні викиди CO₂ у світі, Мт

Джерело: побудовано автором за даними джерела [4]

більш перспективними для підприємств є проекти, які дають змогу покривати власні потреби в електроенергії за рахунок відновлюваних джерел. Основними перевагами таких проектів є економічна ефективність (порівняно невеликий строк окупності), незалежність від зміни тарифів, скорочення витрат на передачу та розподіл енергії (одна з вимог децентралізації енергії відповідно до концепції «ЗД»).

Використання підприємствами автономних систем енергозабезпечення дає реальну можливість створити децентралізоване енергетичне господарство без необхідності залучати додаткових посередників. В таких системах підприємства можуть виступати і як покупці, і як продавці електричної енергії. Це значно трансформує процеси формування ланцюгів постачання енергії для підприємств.

На наш погляд, формування ефективних ланцюгів постачання енергії в такому разі може ґрунтуватись на використанні моделі енергетичного ринку "Peer-to-Peer" (P2P). Трейдинг P2P – це купівля-продаж енергії між двома та більше учасниками ринку, поєднаними мережами. За такого виду ринкових відносин надлишок енергії, що виникає у її виробника, може бути переданий та проданий іншим користувачам через захищену платформу. Така форма трейдингу допомагає учасникам вільно вибирати, у кого купляти електроенергію та кому її продавати.

Проте однією з основних вимог впровадження цього виду ринкових відносин є використання захищеної платформи, що використовує новітні технології цифровізації.

Для вітчизняного енергетичного ринку, який перебуває на стадії реформування та розбудови, ті соціально-економічні процеси, що відбуваються в Україні та світі, стають справжніми випробуваннями, подолання яких визначає здатність до подальшого сталого розвитку. Рушійною силою, що може створити нові можливості для поліпшення соціально-економічного розвитку в умовах неоднозначності, стає сьогодні процес поширення цифрових технологій (діджиталізація або цифровізація). Діджиталізація – це зростання застосування інформаційних та телекомунікаційних технологій в економіці та суспільстві [6]. Цифрові технології, змінюючи парадигму розвитку окремих підприємств та бізнесу загалом, трансформують економічні системи різного рівня, формуючи умови для нових підходів до їх організації та управління.

Розвиток інформаційних технологій пов'язаний зі стрімкими темпами інноваційних процесів та науково-технічним прогресом. Пандемія COVID-19 сьогодні створює передумови для їх усе більшого проникнення в усі сфери господарської та суспільної діяльності і в Україні, і у світі.

У тлумачному словнику з інформатики інформаційна технологія визначається як комплекс методів, способів і засобів, що забезпечують збирання, накопичування, зберігання, оброблення, передачу й відображення інформації та орієнтовані на підвищення ефективності та продуктивності праці, а також організована сукупність процесів, елементів, пристроїв і методів, використовуваних для оброблення інформації; інформаційні технології є неодмінною складовою частиною більшості видів інтелектуальної, управлінської та виробничої діяльності людини й суспільства [7, с. 355]. Крім того, термін «інформаційні технології» (ІТ, інформаційно-комунікаційні технології) найчастіше використовується для опису цифрових технологій, включаючи методи комунікації, а також технології зберігання й оброблення інформації [7, с. 356]. Інтеграція інформаційних технологій в усі сфери суспільного життя приводить до необхідності трансформувати парадигму розвитку підприємницьких структур у цифрову (англ. "digital"). Стрімкий розвиток цифрових технологій змінює способи виробництва та споживання продуктів та послуг, а також форми взаємозв'язків між суб'єктами господарювання.

Багато невеликих підприємств відхиляють ідею декарбонізації, оскільки вважають, що впровадження технологій відновлюваної енергетики є доволі витратним заходом. Проте окупність таких інвестицій досить висока, крім того, активне використання підприємствами цифрових технологій сьогодні дає змогу підприємствам сформулювати та реалізувати нові стратегії в енергетичних господарствах, що будуть орієнтовані на споживача та дадуть можливість підвищити ефективність, як великого, так і малого бізнесу.

Посилення необхідності декарбонізації в енергетиці, з одного боку, та процеси цифровізації (діджиталізації), з іншого боку, можуть у майбутньому створити можливості для підвищення енергетичної ефективності, розширення використання відновлюваних джерел енергії та налагодити взаємозв'язки між учасниками в енергетичних ланцюгах постачання, сприяючи підвищенню їх фінансових результатів.

А.С. Полянська та С.В. Савчук зазначають, що цифрові інновації в енергетиці не пов'язані лише зі встановленням автоматизованих електронних систем. Важливим кроком у процесі діджиталізації є переосмислення енергетичними підприємствами способів ведення бізнесу, методів залучення споживачів та взаємодії з ними [8, с. 22]. Серед тенденцій, які актуалізують процеси діджиталізації у сфері енергетики, автори виокремлюють такі:

- зростання попиту на електроенергію;
- їх стандартів щодо функціонування енергетичних підприємств;

– поширення відновлюваних джерел енергії [8, с. 22–23].

Разом із зазначеними тенденціями можна вказати на необхідність балансування ринку електричної енергії в умовах відходу від його централізованого регулювання.

Нові управлінські рішення, пов'язані з використанням цифрових технологій, сприятимуть зниженню операційних витрат для підприємств, підвищать надійність здійснення процесів постачання енергії, підвищать гнучкість управління підприємствами в енергетичній сфері та загалом сприятимуть підвищенню ефективності їх роботи.

Напрямами цифровізації в енергетиці є такі [8, с. 23–24]:

- технологія «блокчейн»;
- штучний інтелект/машинне самонавчання;
- бізнес-платформа для обміну даними між учасниками енергетичного ринку;
- безпілотники та дистанційна реєстрація;
- планшетні пристрої та підключення до мобільних мереж;
- масиви великих даних (“Big data”) та управління даними;
- Інтернет речей (“Internet of Things”, “IoT”) в енергетичному секторі.

Розвиток цифрових інновацій може стати ключовим імпульсом для вітчизняних підприємств щодо зняття бар'єрів для входження в інтегрований європейський енергетичний ринок.

В умовах переходу до інтегрованого європейського енергетичного ринку Україні необхідна глибока трансформація енергетичної системи. Відхід від централізованого енергопостачання та необхідність декарбонізації створюють нові важливі виклики в реалізації цього процесу. Саме тому впровадження цифрових технологій в енергетиці стає необхідною умовою подальшого розвитку. Діджиталізація в процесі координації учасників енергетичних ланцюгів постачання може стати запорукою функціонування конкурентного середовища та формування цін та тарифів на енергетичні послуги за ринковим принципом. Також цифрові технології можуть стати в нагоді для забезпечення енергетичної безпеки під час постачання енергетичних послуг.

Цифрові технології примножують можливості підвищення ефективності нових енергетичних систем, розширюючи можливості активної участі споживачів енергії в енергетичних ланцюгах постачання та просуваючи використання енергії з відновлюваних джерел.

Децентралізація енергетичних господарств розглядається багатьма науковцями як ключове рішення для країн та міст для швидкого переходу до більш сталого середовища. Розширення використання відновлюваних джерел енергії на локальному рівні створює можливості для фор-

мування децентралізованих відновлюваних енергетичних систем. Децентралізовані відновлювані енергетичні системи розглядаються як більш ефективні, надійні та стабільні, ніж звичайні енергетичні системи. З огляду на технічну складність такі системи вимагають залучення всебічних систем моніторингу для розширення використання відновлюваних джерел енергії, а також для забезпечення можливості оптимізації використання енергії в енергетичних господарствах [9, с. 2]. На наш погляд, це можна реалізувати шляхом цифровізації цієї сфери, а саме шляхом використання методів сучасного оброблення інформації та автоматизації їх здійснення.

Перехід на шлях діджиталізації в енергетиці знижує потребу у побудові централізованої інфраструктури енергетичного ринку з використанням захищених платформ для здійснення P2P-трейдингу й таким чином створює нові можливості для споживачів брати участь у процесах побудови енергетичних ланцюгів постачання, налагоджуючи контроль над ними.

Використання цифрових технологій в енергетиці вимагає корінних змін у підходах до здійснення енергетичного менеджменту на підприємствах. Управління енергетичними господарствами в нових умовах цифровізації не може здійснюватися у «ручному» режимі та вимагає формування управлінських структур, здатних оперативно реагувати на виклики, спираючись на кваліфікований персонал, що навчається в процесі роботи. Водночас багато операцій здійснюються в автоматичному режимі, передумовою чого є наявність доступу до глобальної мережі. Автоматичний облік в режимі реального часу створює умови для віддаленого контролю над енергетичними системами та спрощує прогнозування на майбутні періоди. Варто відзначити, що деякі операції, пов'язані з діджиталізацією енергетичних господарств, можуть бути передані на аутсорсинг постачальникам інформаційних та сервісних послуг. Це може підвищити ефективність управління енергетичними процесами та створить додаткові конкурентні переваги.

Тенденція до децентралізації енергетичного ринку може виявитися у створенні локальних мереж. Серед інструментів реалізації таких мереж виділяють енергетичні громади, “micro-grid”, трейдинг P2P (“peer-to-peer”) [10, с. 276], віртуальні електростанції [11], мультиенергетичні хаби [12]. Децентралізовані енергетичні мережі ґрунтуються на використанні місцевих відновлюваних джерел, з яких може генеруватися чиста та екологічна енергія.

Тенденція в енергетиці, пов'язана з переходом до відновлюваних джерел енергії, поширюється у зв'язку з появою дешевих технологій генерації електричної енергії із сонячної. Встановлення

сонячних панелей стає доступним не лише для підприємств, але й для побутових споживачів у житловому секторі. Як зазначалося раніше, споживачі, що беруть участь у генерації енергії, стають «просьюмерами» та можуть брати активну участь у формуванні мереж електричної енергії. Традиційний односторонній режим передачі енергії змінюється на двосторонній, а «просьюмери» стають повноцінними учасниками енергетичних ланцюгів постачання. Така інфраструктура генерації енергії робить енергетичне господарство більш розподіленим, динамічним та гнучким. Таким чином, виникає нагальна необхідність знайти ефективний спосіб координації таких енергетичних господарств та інтегрувати їх у загальне енергетичне господарство макrorівня.

Децентралізація в енергетиці вимагає створення нових розподільчих мереж для електричної енергії, що дасть змогу підвищити гнучкість енергетичних систем та підвищити частку відновлюваних джерел енергії у виробництві. Такі мережі створюються на основі впровадження технологій «розумних мереж» (“smart-grid”). Їх розвиток вимагає значних інвестицій (за даними IEA, інвестиції в технології “smart grid” у 2017 році у світі склали \$33 млрд. [13]), проте вони допомагають знизити кількість збоїв у мережах та сприяють впровадженню нових бізнес-моделей, заснованих на розподілі енергетичних ресурсів.

Ключову роль у розумних мережах відіграють інформаційні та комунікаційні технології, що відповідають за збирання та аналіз інформації про виробництво та споживання енергії. Дослідження застосування цих напрямів інновацій пов’язано здебільшого з інформаційними технологіями, технічними науками та сферою інжинірингу, хоча представляє інтерес також у рамках теорії управління підприємствами. Впровадження таких систем дає змогу знизити витрати на енергію у споживачів та підвищує надійність у ланцюгах постачання електричної енергії.

Створення «розумних мереж» та запровадження трейдингу P2P висувають вимогу взаємопов’язаності учасників та можливості їх оперативного реагування на зміну ситуації на енергетичному ринку. Таким чином, виникає нагальна потреба знайти ефективний спосіб координувати децентралізовані енергетичні системи та інтегрувати їх у єдину мережу, що дасть змогу здійснювати рух енергетичних потоків як у прямому, так і в зворотному напрямку, при цьому здійснювати підприємствами операцій із купівлі-продажу надлишково згенерованої енергії.

Висновки з проведеного дослідження. Таким чином, розвиток енергетичних господарств підприємств, відповідно до тенденцій декарбонізації, децентралізації та діджиталізації, приводить до необхідності зміни механізмів формування енер-

гетичних ланцюгів постачання, що є викликом для всіх зацікавлених учасників. Вимога декарбонізації сприяє переходу на використання відновлюваних джерел енергії та підвищення енергетичної ефективності її споживачами. Зростання попиту на енергію та зміна ролі багатьох споживачів на енергетичному ринку на «просьюмерів» вимагають появи нових механізмів взаємодії між учасниками енергетичного ринку, їх регуляції та координації. Діджиталізація створює можливості для впровадження нових бізнес-моделей, що ґрунтуються на прозорих операціях та взаємодії P2P.

Все це трансформує структуру енергетичних ланцюгів постачання та вимагає формування нових ринкових механізмів, що здатні збалансувати попит і пропозицію, попередивши збої та сприяючи зниженню витрат.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Silvestre M.L., Favuzza S., Sanseverino R., Zizzo G. How Decarbonization, Digitalization and Decentralization are changing key power infrastructures. *Renewable and Sustainable Reviews*. 2018. No. 93. P. 483–498.
2. Wu Y., Wu Y., Guerrero J.M., Vasquez J.C. Digitalization and decentralization driving transactive energy Internet: Key technologies and infrastructure. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. 2021. № 126. 106593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106593>.
3. IPCC, 2018. Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. IPCC, Geneva, Switzerland. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15> (дата звернення: 03.12.2021).
4. Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E. Fossil CO₂ emissions of all world countries – 2020. Report. EUR 30358 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020. DOI: 10.2760/143674, JRC121460.
5. Про затвердження Правил надання послуги з постачання теплової енергії і типових договорів про надання послуги з постачання теплової енергії : Постанова Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 року № 830. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/830-2019-%D0%BF#n14> (дата звернення: 03.12.2021).
6. Lange S., Pohl J., Santarius T. Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics*. 2020. Vol. 176. 106760. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>.
7. Півняк Г.Г. та ін. Тлумачний словник з інформатики. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2010. 600 с. URL: tлумachniy-slovník-z-informatiki.pdf (дата звернення: 03.12.2021).
8. Полянська А.С., Савчук С.В. Цифровізація в сфері енергетики: тренди та проблеми. *Управління*

розвитком соціально-економічних систем : матеріали Четвертої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 8 жовтня 2020 року. Харків : ХНТУСГ, 2020. С. 22–25.

9. Meuer J., Lamaro F., Vetterli N. Embedding energy optimization in organizations: A case study of a Swiss decentralized renewable energy system. *Energy & Building*. 2021. Vol. 235. 110710. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110710>.

10. Madlener R. Sustainable energy transition and increasing complexity: Trade-offs, the economics perspective and policy implications. *Inequality and Energy*. 2020. P. 251–286. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817674-0.00011-4>.

11. Pudjianto D., Ramsay C., Strbac G. Microgrids and virtual power plants: concepts to support the integration of distributed energy resources. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power Energy*. 2008. Vol. 222. Issue 7. P. 731–741.

12. Kienzle F., Ahčin P., Andersson G. Valuing Investments in Multi-Energy Conversion, Storage, and Demand-Side Management Systems Under Uncertainty. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. 2011. Vol. 2. No. 2. P. 194–202. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSTE.2011.2106228>.

13. IEA, 2019. World Energy Outlook 2018. Paris : OECD/IEA.

REFERENCES:

1. Silvestre M.L., Favuzza S., Sanseverino R., Zizzo G. (2018). How Decarbonization, Digitalization and Decentralization are changing key power infrastructures. *Renewable and Sustainable Reviews*. No. 93. P. 483–498.

2. Wu Y., Wu Y., Guerrero J.M., Vasquez J.C. (2021) Digitalization and decentralization driving transactive energy Internet: Key technologies and infrastructure. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. No. 126. 106593. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106593>

3. IPCC, 2018. Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. IPCC, Geneva, Switzerland. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15> (accessed 03 December 2021).

4. Crippa M., Guizzardi D., Muntean M., Schaaf E., Solazzo E., Monforti-Ferrario F., Olivier J.G.J., Vignati E. (2020). Fossil CO2 emissions of all world countries – 2020. Report. EUR 30358 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020. 10.2760/143674, JRC121460.

5. Cabinet of Ministers of Ukraine (2019.). On approval of Rules of providing services of heat supply and typical agreements on providing service of heat supply. Decree. 21 August 2019. No. 830. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/830-2019-%D0%BF#n14> (accessed 03 December 2021).

6. Lange S., Pohl J., Santarius T. (2020). Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics*. Vol. 176. 106760. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760>.

7. Pivniak H.H. et al. (2010). Explanatory dictionary in Informatics [Тлумачний словник з інформатики]. Dnipropetrovsk: Nats. hirn. un-t. URL: tlumachniy-slovník-z-informatiki.pdf (accessed 03 December 2021).

8. Polianska A.S., Savchuk S.V. (2020). Tsyfrovizatsiia v sferi enerhetyky: trendy ta problemy [Digitalization in energy area: trends and problems]. *Proceedings of the Upravlinnia rozvytkom sotsialno-ekonomichnykh system*. Harkiv: HNTUSH, pp. 22–25.

9. Meuer J., Lamaro F., Vetterli N. (2021) Embedding energy optimization in organizations: A case study of a Swiss decentralized renewable energy system. *Energy & Building*. Vol. 235. 110710. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110710>.

10. Madlener R. (2020) Sustainable energy transition and increasing complexity: Trade-offs, the economics perspective and policy implications. *Inequality and Energy*. P. 251–286. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817674-0.00011-4>.

11. Pudjianto D., Ramsay C., Strbac G. (2008) Microgrids and virtual power plants: concepts to support the integration of distributed energy resources. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power Energy*. Vol. 222. Issue 7. P. 731–741.

12. Kienzle F., Ahčin P., Andersson G. (2011) Valuing Investments in Multi-Energy Conversion, Storage, and Demand-Side Management Systems under Uncertainty. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. Vol. 2. No. 2. P. 194–202. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2011.2106228>.

13. IEA (2019) World Energy Outlook 2018. OECD/IEA, Paris.