УДК 620.9 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.3.1.22

О. Є. МАЛЯРЕНКО
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник відділу прогнозування енергетичної ефективності
та перспективних паливно-енергетичних балансів
Інститут загальної енергетики Національної академії наук України
ORCID: 0000-0001-5882-916X

ТЕНДЕНЦІЇ ЗАМІЩЕННЯ ВИКОПНОГО ПАЛИВА АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ВИДАМИ ТА ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

Представлена стаття є систематичним оглядом публікацій українських вчених з найбільш відомих наукових академічних установ, що працюють у сфері енергоефективності, енергетичного аналізу, впровадження відновлюваних джерел енергії в енергетичному секторі економіки країни та промисловій енергетиці. Основною проблемою, що розглянута у публікації, є виділення напрямів скорочення споживання викопного палива для забезпечення взятих Україною міжнародних зобов'язань щодо зниження викидів в атмосферу парникових газів: використання універсального водовугільного палива, зрідженого вуглеводневого газу, біомаси (брикетів, пелетів, гранул, лушпиння зернових культур), зеленого водню, очищеного біогазу з полігонів твердих побутових відходів, палива,отр маного з відходів після їхнього сортування, синтетичного відновлюваного метану, біометану водня. Значного розвитку в Україні із врахуванням європейського досвіду набуває впровадження відновлюваних джерел енергії: сонця, вітру, термальної енергії, їхня комбінація між собою та з традиційними видами палива (генераторами на дизельному пальному або газопорневими установками, накопичувачами енергії). Також важливим фактором, що сприятиме скороченню споживання викопного палива є його обмежені ресурсні обсяги, що склались внаслідок військової агресії проти нашої країни. Це, зокрема стосується вугілля та природного і сланцевого газів. Шлях України до Європейського союзу також неможливий без дотримання європейських вимог щодо рівня енергетичної ефективності: впровадження когенераційних установок, термомодернізації будівель, зниження втрат енергоносіїв при їх транспортуванні. Всі ці проблеми можуть бути вирішені на основі українських або спільних міжнародних наукових розробок.

Ключові слова: *викопне паливо, альтернативне паливо, відновлювані джерела енергії, енергоефективність, викиди парикових газів.*

O. YE. MALIARENKO
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Leading Researcher at the Department for Energy Efficiency
and Energy Balances Forecasting
General Energy Institute of National Academy of Scieces of Ukraine
ORCID: 0000-0001-5882-916X

TRENDS IN REPLACEMENT OF FOSSIL FUEL WITH ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES IN UKRAINE

The presented article is a systematic review of publications by Ukrainian scientists from the most famous scientific academic institutions working in the field of energy efficiency, energy analysis, implementation of renewable energy sources in the energy sector of the country's economy and industrial energy. The main problem considered in the publication is the identification of areas for reducing fossil fuel consumption to ensure Ukraine's international commitments to reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere: the use of universal hydrocoal fuel, liquefied hydrocarbon gas, biomass (briquettes, pellets, granules, grain husks), green hydrogen, purified biogas from solid waste landfills, fuel obtained from waste after its sorting, synthetic renewable methane, biomethane hydrogen. Significant development in Ukraine, taking into account European experience, is the introduction of renewable energy sources: solar, wind, thermal energy, their combination with each other and with traditional fuels (diesel generators or gas-fired plants, energy storage devices). Also an important factor that will contribute to reducing fossil fuel consumption is its limited resource volumes, which have formed as a result of military aggression against our country. This applies in particular to coal and natural and shale gases. Ukraine's path to the European Union is also impossible without compliance with European requirements for the level of energy efficiency: the introduction of cogeneration plants, thermal modernization of buildings, reducing energy losses during their transportation. All these problems can be solved on the basis of Ukrainian or joint international scientific developments.

Key words: *fossil fuels, alternative fuels, renewable energy sources, energy efficiency, greenhouse gas emissions.*

© Маляренко О. Є., 2025
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Постановка проблеми

Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року [1] визначає ключові цілі для України до 2030 р., а саме скорочення викидів парникових газів на 65 % порівняно із 1990 р., досягнення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у структурі валового кінцевого енергоспоживання не менше ніж на 27 %, обсяг споживання первинного палива не більше 72,2 млн т н.е., кінцевого споживання – 42,2 млн т н.е. Згідно з Директивою Європейського парламенту і ради ЄС 2018/2001 від 11.12.2018 про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел (нова редакція) [2] держави-члени ЄС повинні забезпечити певну частку енергії з відновлюваних джерел у валовому кінцевому споживанні енергії до 2020 р. згідно з Додатком 1. Ця частка для різних країн-членів ЄС коливається від 10 % (Мальта) до 49 % (Швеція) [2]. Відповідно до цілей ЄС, до 2030 року 42 % всієї енергії має надходити з відновлюваних джерел, а 14 % енергії у транспорті повинно походити з них, зокрема 3,5 % – з біопалива та біогазу. Крім того, ЄС планує щорічно виробляти 35 млрд кубометрів біометану, що зможе замінити до 20 % імпортованого раніше природного газу та сприятиме енергетичній незалежності [3, 4. Для виконання поставлених задач необхідно розглянути існуючі в Україні технології заміщення викопного палива для подальшої оцінки обсягів його прогнозного споживання по країні для забезпечення ключових секторів економіки: енергетики, промисловості, сільського господарства, надання комунальних послуг населенню та ін.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є систематичний огляд літературних джерел щодо впроваджених в Україні технологічних напрямів, що забезпечать скорочення споживання, у першу чергу, вугілля та іншого викопного палива.

Ця стаття охоплює аналіз публікацій українських наукових видань, що індексуються у міжнародній наукометричній базі Скопус: «Енерготехнології та ресурсозбереження», «Відновлювана енергетика» та фахових видань: «Теплофізика та теплоенергетика», «Енергетика: економіка, технології, екологія», «Системні дослідження в енергетиці» за останні 5 років. Із проаналізованих статей виділено ті, що описують технології, які сприяють скороченню споживання вуглецеємних видів палива.

Викладення основного матеріалу дослідження

Перспективне альтернативне паливо

Пошук та освоєння альтернативних джерел енергії як замінника дефіцитних вугілля і природного газу є надзвичайно важливою для економіки України задачею.

В Україні, в Інституті технічної теплофізики НАН України сумісно із Національним університетом харчових технологій розроблено технологію та теплообмінне обладнання для виготовлення універсального водовугільного палива (УВВП), що може бути застосовано в усіх типах теплоенергетичних установок. Застосування УВВП як енергетичного палива було випробувано для котла КВТС-20 та показало такі позитивні результати: збільшення теплової потужності котла з 13,2 до 21,1 МВт при заміні 70 % вугілля водовугільним паливом, підвищення ККД котла з 78,8 до 84,0 %, зниження виходу шлаку в 1,7–2,0 рази та зменшення горючих у шлаку з 35–38 до 13–15 % [5, 6].

Для зменшення споживання вугілля на ТЕЦ Інститутом теплоенергетичних технологій НАН України запропоновано використання зрідженого вуглеводневого газу як резервного та альтернативного палива на вугільних ТЕЦ у випадку пошкодження підвідних газових мереж, які забезпечують надійне та економічне живлення вугільного котлоагрегату синтетичним природним газом у різних режимах: підсвічування та розпал або аварійна робота на навантаженні 25 % з можливістю переходу з природного газу на зріджений вуглеводневий газ та навпаки [7].

Досвід використання біомаси у газомазутних котлах ТЕЦ цукрових заводів розглянуто у статті Чернявського М. В. і співавторів [8]. Реконструкція котлів за розробленими технічними рішеннями можлива для виконання в проміжок між виробничими сезонами. Її реалізація на котлах БКЗ-75 ГМА Радехівського та Чортківського цукрових заводів дала можливість досягти прийнятних техніко-економічних та екологічних показників, забезпечила окупність за рахунок різниці комерційних цін газу та пелет з агробіомаси. Цей досвід є важливим при створенні децентралізованих регулюючих потужностей теплової генерації України.

У роботі Кудрі С. О. та співавторів [9] представлено результати теоретичних і прикладних досліджень та практичного доробку вітчизняних вчених у галузі зеленої водневої енергетики. Завдяки екологічним перевагам водневих технологій їх широке застосування є одним із перспективних сучасних напрямів декарбонізації світової енергетики. Досліджувались різні форми зберігання і транспортування водню та визначались найприйнятніші методи акумулювання з урахуванням подальшого його використання в енергосистемах на основі ВДЕ: спалювання з отриманням теплової енергії, перетворення в електричну енергію в мотор-генераторах і паливних елементах, використання паливних сумішей з бензином в автотранспорті. У результаті спільної роботи творчих колективів данських і українських вчених за договором між Фолькецентром (Данія) та Інститутом електродинаміки НАН України від 1990 року на основі науково-технічних рішень з отримання водню від ВДЕ, його зберігання і подальшого перетворення в електричну і теплову енергію та використання як палива в автотранспортних засобах, створено першу в Європі вітроводневу станцію. Результати її подальших випробувань стали реальною основою для розвитку сучасної екологічно чистої галузі водневої енергетики.

У публікації Іванова Ю. А. та співавторів [10] запропоновано комплексну технологію утилізації біогазу полігонів твердих побутових відходів для виробництва енергоносіїв. Наявність у складі біогазу полігону твердих побутових відходів діоксиду вуглецю як негорючої домішки та підсмоктування навколишнього повітря в товщу відходів полігону, а отже й потрапляння його в звалищний газ, суттєво знижує в ньому концентрацію метану, що впливає на забезпечення ефективної роботи газопоршневого двигуна електростанції та на зниження обсягів генерації електроенергії. Видалення діоксиду вуглецю з біогазу дає можливість одночасно підвищити в ньому концентрацію метану на вході в тепловий двигун, що сприяє стабільній та ефективній роботі газопоршневого двигуна електростанції та збільшенню обсягів генерування електроенергії в результаті енергетичної утилізації звалищного газу. Застосування комплексної технології утилізації біогазу в режимі когенерації дає можливість одержати не тільки електроенергію, а також тепло, яке можна використати в абсорбційних амінових технологіях вилучення CO_2 з біогазу, таким чином знижуючи викиди діоксиду вуглецю в атмосферу.

Метанування, тобто реакція перетворення вуглекислого газу та водню з одержанням синтетичного відновлюваного метану, є одним із напрямків вирішення задачі заміщення дефіцитного викопного палива, що розглянута у публікації Клименка В.М. та співавтора [11]. У цій статті досліджено напрями та особливості технологій метанування, які реалізуються сьогодні у світі, описано структурну схему та одержання компонентів технології біологічного метанування, розглянуто дві концепції біометанування: in-situ та ex-situ. Перша у порівнянні з другою є значно дешевшою та простішою у виконанні, але поки що складнішою у реалізації процесу метанування. Актуальність впровадження технологій метанування в Україні обумовлена активним розвитком та впровадженням біоенергетичних технологій з використанням існуючих в країні великих біоресурсів. Налагодження виробництва біометану та синтетичного відновлюваного метану сприятиме вирішенню таких актуальних задач, як акумулювання нестабільної електроенергії від сонячних та вітрових електростанцій, захист навколишнього середовище від викидів CO_2, перетворюючи його з парникового газу на паливо.

У публікації Домбровського О. Г. та співавторів [3] розглянуто перспективні технології біометанування водню in-situ для біологічного очищення біогазу від вуглекислого газу. Дослідження показують, що пряме введення водню в анаеробні реактори дозволяє підвищити вміст метану в біогазі на 10–20 %, що покращує його енергетичну цінність. Крім того, цей процес сприяє зниженню викидів CO_2 на 20–30 %, що робить технологію екологічно безпечнішою. Окрім екологічної вигоди, зниження експлуатаційних витрат на 15–25 % порівняно з фізико-хімічними методами робить біометанування in-situ економічно ефективним рішенням [12]. Технології біометанування водню in-situ становлять значний потенціал для досягнення цілей сталого розвитку, зменшення вуглецевого сліду та забезпечення стабільного біометанового потоку в секторі відновлюваної енергетики. Цей процес не лише допомагає зменшити кількість відходів, але й забезпечує екологічно чисте джерело енергії, що відповідає сучасним вимогам до сталого розвитку [3, 13].

У публікації Мікульонка І. О. [14] розглянуто основні види пресованого твердого біопалива: брикети і пелети. Виконано критичний аналіз інноваційних методів одержання біопаливних брикетів та пелет, а також показано можливість утилізувати різні види побутових та промислових відходів, використовуючи їх як альтернативне паливо.

Важливим напрямом економії викопного палива є безумовно підвищення енергетичної ефективності його використання із впровадженням когенераційних установок, що є давно відомим, але мало впровадженим в Україні заходом. Прийнятий Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 р. як раз виділяє європейський принцип “Energy efficiency fist” [15]. Цей державний документ визначає напрями підвищення енергетичної ефективності: виробництво біогазу з твердих побутових відходів, енергоефективні будівлі, у т.ч. шляхом проведення термоодернізації, ефективне опалення будівель шляхом встановлення сонячних нагрівачів, теплонасосних установок, збільшення частки когенерації, запровадження ефективного зовнішнього освітлення у населених пунктах, скорочення втрат в мережах передачі електроенергії, заходи з енергоефективності у промисловості: чорна металургія, харчова, гірничодобувна, виробництво неметалевих виробів, збільшення частки електротранспорту (електрика з ВДЕ), сортування та перероблення відходів.

Використання відновлюваних джерел енергії

Аналіз часток відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії європейських країн досліджено у статті Мисака С. Й. та співавторів [16]. Дослідження охоплює такі види відновлюваних джерел енергії, як сонячна енергія загалом, сонячна теплова енергія, сонячна електроенергія, біомаса, біопаливо, відходи, вітрова енергія, геотермальна енергія, гідроенергія та енергія теплових насосів. Аналіз виконано для Нідерландів, Німеччини, Франції, Польщі та України. Досліджено фактичні дані щодо використання відновлюваних джерел енергії в країнах та проаналізовано плани цих країн щодо подальшого збільшення їх використання. Зібрані графічні дані відображають реальні досягнення країн щодо використання відновлюваних джерел енергії, а також наміри та плани на майбутнє. Результати аналізу важливі для розуміння тенденцій розвитку відновлюваної енергетики в Європі та можуть бути прикладом для інших країн, зокрема України.

У статті Бондаренко Д. [17] досліджено процеси перетворення енергії сонячного випромінювання на електричну і теплову енергії. В роботі показано, що не весь спектр електромагнітного випромінювання Сонця

перетворюється в напівпровідниковому перетворювачі на електричну енергію. Значна частина сонячного випромінювання перетворюється на теплову енергію.

У публікації Ференц В. І. [18] розглянуто нову технологію у сільському господарстві - агровольтаїку, що поєднує виробництво сонячної енергії з вирощуванням агрокультур. У статті йдеться про перспективи для сучасного сільського господарства, яке стикається з викликами кліматичних змін та зростаючих змін в енергоефективності. Технологія Agri-PV (агрофотовольтаїка) передбачає покращення показника ефективності використання площі земної поверхні агропромислового сектору за рахунок синергетичного поєднання установок відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та сільськогосподарського виробництва. Мається на увазі встановлення фотоелектричних панелей на певній висоті, залежно від виду вирощуваної культури, над полями сільськогосподарських угідь. У Європі ця технологія використовується від ферм до яблуневих садів, збільшується ефективність використання земельних ресурсів, зменшуються водні витрати та підвищується загальну продуктивність. Крім того, стаття розглядає цілі Спільної сільськогосподарської політики ЄС, які спрямовані на підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва, збереження довкілля та запобігання змінам клімату.

У публікації Кузнєцова М. П. та співавтора [19] досліджено можливості забезпечення локального споживача електроенергією з відновлюваних джерел для зменшення залежності від централізованого постачання. Особливістю задачі є вплив випадкової природи відновлюваної енергетики та споживання на можливості забезпечення енергетичного балансу в локальній енергосистемі, що потребує вибору складу та потужностей відновлюваної генерації й допоміжного обладнання. Як допоміжне балансувальне обладнання розглядаються акумуляторна батарея та генератор на традиційному паливі. Комбінування джерел вітрової та сонячної енергії дозволяє зменшити залежність від загальної електромережі. Такий самий результат забезпечує застосування проміжних акумуляторів енергії та допоміжного джерела типу дизельгенератора.

Перспективним напрямом розвитку ВДЕ є комбінування вітрової енергії із воднем. Цьому присвячена стаття Кудрі С. О. та співавторів [20]. Проблематика розвитку вітроводневої енергетики України полягає в необхідності створення ефективної водневої інфраструктури – систем виробництва, акумулювання, зберігання, транспортування та перетворення водню на енергію необхідної якості. Застосування водневих технологій дає змогу оптимізувати вітроенергетичну систему та досягти більшої економічної ефективності за рахунок використання надлишкової енергії, зниження втрат від вимушених зупинок вітроелектричного обладнання, оскільки забезпечується неперервність роботи генерувальної системи. Особливо привабливим є масштабне виробництво електролітичного водню за допомогою офшорної вітрової енергії. Повоєнний розвиток вітроводневої енергетики забезпечить зміну структури паливно-енергетичного комплексу України шляхом збільшення в ньому вітрової енергії, підвищення стабільності роботи вітроелектричного обладнання, ефективності та надійності електропостачання, а також матиме позитивний вплив на довкілля.

Перспективним напрямом розвитку безвуглецевого теплозабезпечення є застосування теплових насосів в системах теплопостачання [21, 22]. Ці технології розповсюджено в Європі, зокрема в Німеччині та Польщі [21], є дуже перспективними, сприяють економії викопного палива (газу, вугілля) та мазуту. Регіональний потенціал застосування теплонасосних технологій для 24 областей України наведено у публікації Дерія В. О. та співавторів [22]. Застосування теплонасосних технологій у тваринницькому комплексі було розглянуто у публікації Дзюбана Ю. І. та співавторів [23]. Крайня публікація описує досвід впровадження ТНУ, який сприяв суттєвій економії електроенергії порівняно із використанням на молочній фермі електрокотла.

До актуальних питань комплексного використання ВДЕ можна віднести наступні: законодавче поле, організаційні заходи; досягнення енергетичної ефективності, енергетичний менеджмент; потреби в балансуванні енергетичних систем з високою часткою відновлюваної генерації; математичне забезпечення задач з оцінки можливостей відновлюваної енергетики; врахування особливостей споживання енергії; технічні особливості роботи комбінованих енергосистем; взаємодія науки та промисловості під час впровадження інноваційних розробок [24]. Розвиток законодавства ЄС у сфері відновлюваної енергетики [25] передбачає нові цілі щодо використання ВДЕ: у кінцевому споживанні енергії до 2030 року ВДЕ мають досягти частки в 32 %. Ця ціль вища на 20 % за попередню ціль, встановлену початковою директивою RED. Передбачено збільшення використання біопалива в транспортній сфері: його частка має становити принаймні 14 %. Директива RED II запроваджує суворіші критерії сталості для біопалива та інших джерел біоенергії. RED II містить такі положення, як вимога до держав-членів проводити енергоаудит на великих підприємствах, висуваються нові вимоги до звітності для держав-членів і Комісії для моніторингу прогресу в досягненні цілей, встановлених у директиві. Очікується, що ці зміни допоможуть ЄС досягти кліматичних та енергетичних цілей, а також сприятимуть сталому економічному зростанню та створенню робочих місць у секторі відновлюваної енергетики. Звичайно, сучасні вітчизняні реалії потребують особливого підходу [26], оскільки регулювання цієї сфери в умовах війни потребує особливої уваги, а виробники мають отримувати підтримку з боки держави задля розвитку ринку «зеленої» енергетики. Серед організаційних заходів підкреслено роль нормативного врегулювання відновлюваної енергетики. Стосовно трендів європейської енергетичної політики зазначено [27], що відповідно до звіту Європейської Комісії за 2022 рік з травня по серпень 2022 року ЄС забезпечив рекордні 12 % своєї електроенергії від сонячної енергетики та 13 % з вітроенергетики. В опублікованій

робочій програмі на 2023−2024 роки простежуються декілька основних трендів у галузі відновлюваної енергетики. Однією з тенденцій є приділення значної уваги так званим проривним технологіям, які дозволять перейти на якісно новий рівень використання ВДЕ. У вітчизняній енергетичній політиці набуває ваги впровадження систем енергетичного менеджменту [28], зокрема з урахуванням вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2018. Попередня оцінка наявного потенціалу енергозбереження малих та середніх підприємств дозволила виявити наявність 20−30 % можливих заощаджень у разі проведення регулярної системної роботи у сфері енергоефективності за вимогами стандарту. Звичайно, якісний менеджмент потребує новітнього технічного забезпечення [29]. В основу пропонованого програмно-технічного забезпечення систем управління електроспоживанням покладені принципи енергетичного менеджменту в реальному часі з використанням сучасних інформаційних технологій. Такий підхід характеризується узгодженням попиту і пропозиції в мікромережі з декількома джерелами, коли баланс між власною генерацією і споживанням формується на основі забезпечення максимальної частки відновлюваних джерел в енергобалансі. Поряд з технічними заходами має бути нормативне забезпечення надійності електропостачання з ВДЕ [30]. Важливим кроком до забезпечення стабільності енергопостачання, крім зазначених, є комплексний підхід до балансування генерації та споживання. Це, зокрема, і керований попит на електроенергію, тобто адаптація потреб до можливостей ВДЕ [31, 32]. Як фактори, що впливають на споживання, зазвичай вказують погодні умови, зокрема середню помісячну температуру, тривалість світлового дня. Для закладів освіти важливою є кількість осіб у закладі. Вибрані фактори, які можуть впливати на енергоспоживання, є найдоступнішими. Врахування цих факторів дозволяє оптимізувати комплекс засобів постачання енергії, особливо ВДЕ. Істотну роль відіграє й розумне керування електричною мережею [33, 34] з використанням систем автоматики (АСКОЕ, АСУТП тощо). Зазначено існування специфічних потреб споживача до якості енергозабезпечення [35]. Підвищені вимоги до надійності додають певні обмеження, які змушують або завжди використовувати загальну енергомережу та відмовитись від автономності, або використовувати власні джерела енергії, розраховані на постійну роботу, як основне джерело (якщо потрібно створити автономну систему на базі ВДЕ з акумуляторами або резервними генераторами). Серед напрямів, що стосуються безпосередньо комплексного використання ВДЕ, можна зазначити наступні [24]:

– раціональне розташування енергетичних потужностей з урахуванням можливостей розосередженої генерації, стійких комбінованих локальних енергосистем з відновлюваними джерелами різної природи;

– узгодження темпів впровадження відновлюваної енергетики та регулювальних можливостей енергосистеми, зокрема впровадження систем накопичення енергії, прогнозування та керованого навантаження;

– використання енергоефективних технологій в енергетиці, комунальному господарстві й на транспорті, стійких до негативних зовнішніх впливів;

– вдосконалення нормативно-правової, сертифікаційної та метрологічної бази.

У публікації Кармазіна О. О. та співавтора [36] розглянуто законодавчі пропозиції ЄС щодо досягнення цілей Паризької угоди щодо зміни клімату та скорочення викидів парникових газів (ПГ) на 55 % до 2030 р. відносно 1990 р. Запропоновано перегляд Директиви RED II та прийняття в подальшому нової директиви RED III, яка має визначати міжгалузеві цілі та заходи, спрямовані на ефективне використання потенціалу економічно ефективних відновлюваних джерел енергії в усіх секторах енергетичної системи. Передбачено вищі цільові показники у секторах електроенергетики, будівництва й транспорту, а також у промисловості та для високоефективного централізованого опалення й охолодження. Європейська Комісія (ЄК) представила стратегію REPowerEU як відповідь на проблеми та виклики, що виникли на світовому енергетичному ринку через повномасштабне вторгнення росії в Україну. ЄК пропонує збільшити цільовий показник енергоефективності від 9 до 13 % в межах пакета європейського законодавства «Fit for 55». Комісія висуває пропозицію збільшити цільовий показник відновлюваних джерел енергії до 45 % (попередній показник 32 %) від загального обсягу до 2030 року в межах пакета. Встановлення цієї загальної та амбітної цілі є основою для реалізації інших ініціатив [37, 38], зокрема запровадження правового зобов'язання встановлювати сонячні панелі на нових громадських та комерційних будівлях і на нових житлових будинках, подвоєння швидкості запровадження теплових насосів і заходів з інтеграції геотермальної та сонячної теплової енергії в модернізовані системи централізованого і комунального опалення, державами-членами мають бути запроваджені спеціальні зони для відновлюваних джерел енергії зі скороченням та спрощенням дозвільних процесів. Встановлення цілі в 10 млн тонн виробництва відновлюваного водню всередині ЄС і 10 млн тонн імпорту до 2030 року.

Висновки

В результаті проведеного аналізу літературних джерел можна сформувати такі напрями скорочення споживання викопного палива:

– заміщення у першу чергу вугілля альтернативними видами палива та відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ): універсальним водовугільним паливом, зрідженим синтетичним газом, звалищним газом, біометаном, зеленим воднем, твердим біопаливом: пелетами з різних видів залишків природного походження;

– впровадження відновлювані джерела енергії (ВДЕ): сонячної, вітрової, та їх комбінації між собою та з традиційними паливами (дизель).

Всі описані технології мають апробацію на промислових об'єктах.

Для кількісної оцінки обсягів заміщення викопного палива необхідно в подальшому розглядати перспективні продуктові баланси (вугілля, природного газу, нафтопродуктів), оцінити потребу у паливі на енергетичні та технологічні потреби. Невід'ємною частиною кількісної оцінки також є визначення економічної доцільності такого заміщення.

Список використаної літератури

1. Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 червня 2024 р. №587-р. URL: https://me.gov.ua/view/bb0b9ef5-ea96-4b8a-8f2f-471faf32c9df
2. Директива Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2018/2001 від 11 грудня 2018 року про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел (нова редакція). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_039-18#Text
3. Домбровський О. Г., Тракслер І. С., Потапова М. В. Біометанування водню in-situ: оптимізація виробництва біометану та очищення біогазу від CO_2. *Відновлювана енергетика*. 2024. №3. С. 140-144. URL: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4(79)140-144
4. Palù, M., Peprah, M., Tsapekos, P., Kougias, P., Campa-naro, S., Angelidaki, I., & Treu, L. (2022). In-situ biogas upgrading assisted by bioaugmentation with hydrogen-otrophic methanogens during mesophilic and thermo-philic co-digestion. *Bioresource Technology*, *348*, 126754. URL: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126754
5. Алексєєнко В. В., Гончар В. П., Гончар А. О., Назаренко О. В., Проценко І. О., Сезоненко О. Б., Ялтишев А. В. Потенціал використання золошлаків вугільних теплових електростанцій для виробництва альтернативних видів палива (наприклад із золошлаку Ладижинської ТЕС). *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. № 4. С. 31–42. DOI: https://doi.org/10.33070/etars.4.2023.03
6. Ободович О. М., Целень Б. Я., Степанова О. Є., Недбайло А. Є., Булій Ю. В. Технологія та обладнання для одержання універсального водовугільного палива. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2024. № 1. DOI: https://doi.org/10.33070/etars.1.2024.02
7. Чернявський М. В., Мірошниченко Є. С., Провалов О. Ю. Особливості використання зрідженого вуглеводневого газу як резервного та альтернативного палива на вугільних ТЕЦ. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2022. №4. DOI: https://doi.org/10.33070/etars.4.2022.01
8. Чернявський М. В., Мірошниченко Є. С., Провалов О. Ю., Косячков О. В. Особливості та досвід переведення газомазутних котлів промислових ТЕЦ на спалювання біомаси та газового вугілля. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2024. №3. DOI: https://doi.org/10.33070/etars.3.2024.03
9. Кудря С. О., Рєпкін О. О., Рубаненко О. О., Яценко Л. В., Шинкаренко Л. Я. Етапи розвитку зеленої водневої енергетики України. *Відновлювана енергетика*. 2022. №1(168). С. 5–16. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.1(68).5-16
10. Іванов Ю. А., Крушневич С. П., Жук Г. В., Онопа Л. Р., Вербовський О. В., Комісаренко Д. А. Комплексна технологія утилізації біогазу полігонів твердих побутових відходів з виробленням електроенергії, тепла та вуглекислоти. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2024. № 3. С. 57–66. DOI: https://doi.org/10.33070/etars.3.2024.04
11. Клименко В. М., Супрун Т. Т. Перспективи впровадження технологій біологічного метанування в Україні. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2024. №2. С. 88-94. DOI: https://doi.org/10.33070/etars.2.2024.06
12. Zhu, X., Chen, L., Chen, Y., Cao, Q., Liu, X., & Li, D. (2020). Effect of H2 addition on the microbial community structure of a mesophilic anaerobic digestion system. *Energy*, vol. 198, 117368. https://doi.org/10.1016/j.en-ergy.2020.117368
13. Voelklein, M., Rusmanis, D., & Murphy, J. (2018). Bio-logical methanation: Strategies for in-situ and ex-situ upgrading in anaerobic digestion. *Applied Energy*, vol. 235, 1061–1071.DOI: https://doi.org/10.1016/j.apen-ergy.2018.11.006
14. Мікульонок І. О. Стан та перспективи одержання пресованого твердого біопалива. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2022. № 4. С. 15–30. DOI: https://doi.org/10.33070/etars.4.2022.02
15. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року. Розпорядження КМ України від 29.12.2021 №1803-р зі змінами згідно з розпорядженням КМ України від 06.10.2023 № 899-р. DOI: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80#Text
16. Mysak S. Y., Shapoval S. P., Hyvliud A. M. Analysis of the Share of Renewable Energy Sources in the Gross Final Energy Consumption of European Countries. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2024. № 1. С. 59–73. DOI: https://doi.org/10.33070/etars.4.2022.02
17. Bondarenko D. Developing electrical models to simulate the conversion of solar radiation into electrical and thermal energy. *Відновлювана енергетика*. 2024. №4. С. 59-63. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4(79)59-63
18. Ференц В. І. Ефективність використання агровольтаїки. *Відновлювана енергетика*. 2023. № 4. С. 55–63. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.4(75)55-63
19. Кузнєцов М. П., Лисенко О. Забезпечення балансу енергії в локальній системі з відновлюваною генерацією. *Відновлювана енергетика*. 2023. № 1. С. 6–18. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1(72)6-18
20. Кудря С. О., Яценко Л. В., Шинкаренко Л. Я., Ткаленко М. Д. Електролітичне виробництво водню для вітроводневих станцій. *Відновлювана енергетика*. 2023. №3. С. 92-100. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74)92-100

21. Басок Б. І., Дубовський С. В., Пастушенко Е. П., Нікітін Є. Є., Базєєв Є. Т. Теплові насоси як тренд низьковуглецевого розвитку енергетики. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. №2. С. 23-41. DOI: https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.02

22. DeriiV. O., Teslenko O. I., Sokolovska I. S. Methodical approach to estimating the potential of thermal energy production by heat pump plants in case of their implementation in regional district heating systems. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. № 2. С. 44–56. DOI: https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.03

23. Дзюбан Ю. І., Маляренко О. Є., Горський В. В., Євтухова Т. О. Підвищення ефективності теплозабезпечення тваринницьких комплексів із залученням теплонасосних установок. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2025. Т. 48. № 2. С. 80–91. DOI: https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2025.8

24. Кузнєцов М. П. Комплексне використання відновлюваних джерел енергії – підсумки науково-практичної конференції 2023 р. *Відновлювана енергетика*.2023. №2. С. 6-10. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2(73)6-10

25. Кобець М. І. Аналіз подальшого розвитку законодавства ЄС у сфері відновлюваної енергетики. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 61–62. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

26. Корольова А. А. Правові аспекти «зеленої» енергетики у воєнний період. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 46–47. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

27. Сулема О. К., Шукаєв С. М. Європейські тренди у відновлюваній енергетиці. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 65–66. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

28. Чернявський А. В., Бориченко О. В., Пертко П. П. Впровадження систем енергетичного менеджменту на малих та середніх підприємствах України. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 167–168. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

29. Каплун В. В., Макаревич С. С., Кулибаба Є., Самчук В. О. Програмно-технічне забезпечення систем динамічного енергоменеджменту Мікрогрід з полігенерацією. Матеріали XXIV Міжнародної науково- практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 158–159. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

30. Ковальчук О. А., Лежнюк П. Д., Повстянко К. О. Технічні та нормативні заходи забезпечення надійності систем електропостачання з відновлюваними джерелами енергії. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 110–111. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

31. Підбережна Н. О. Регулювання енергетичних потреб, як один із аспектів ефективного використання енергії в навчальних закладах. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 134. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

32. Прокопенко В. В., Чорний А. О., Закладний О. О., Гребенюк Т. В. Визначення базового рівня енергоспоживання дошкільного навчального закладу. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 136. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

33. Шевель А. П. Використання розумних сіток, для зберігання та розподілу енергії відповідно до потреб споживачів. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 94–95. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

34. Пильтій С. С., Болотний М. П. Забезпечення протидії віяловим відключенням в інтелектуальних електричних мережах. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 81–82. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

35. Хомутов С. В. Можливості використання ВДЕ в комбінованих системах електропостачання центрів обробки даних. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року. С. 88–89. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023

36. Кармазін О. О., Іванченко І. В. Проблеми та перспективи комплексних енергетичних систем на основі використання відновлюваних джерел енергії – підсумки XXV науково-практичної конференції 2024 р. *Відновлювана енергетика*. 2024. № 3. С. 29–35. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4(79)29-35

37. Гавриленко Я. В., Дерій В. О. Державне стимулювання відновлюваної енергетики. Матеріали XXV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 22–24 травня 2024 року. С. 76–77. DOI: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.22-24.05.2024

38. Остапчук О.В., Шевченко І.В. Використання гібридних систем на основі відновлюваних джерел в мікромережі: огляд. *Відновлювана енергетика*. 2022. № 4. С. 9–23. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4(71)9-25

References

1. Kabinet Ministriv Ukrainy (2024) *Natsionalnyi plan z enerhetyky ta klimatu na period do 2030 roku* [National Energy and Climate Plan for the period until 2030. Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 25, 2024 No. 587-r.], Retrieved from: https://me.gov.ua/view/bb0b9ef5-ea96-4b8a-8f2f-471faf32c9df (accessed 18 September 2025).

2. Yevropeiskii Parlament i Rada YeS (2018) *Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady (YeS) 2018/2001 pro stymuliuvannia vykorystannia enerhii z vidnovliuvanykh dzherel (nova redaktsiia)* [Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)], Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_039-18#Text (accessed 18 September 2025).

3. Dombrovskyi O. H., Traksler I. S., Potapova M. V. (2024) Biometanuvannia vodniu in-situ: optymizatsiia vyrobnytstva biometanu ta ochyshchennia biohazu vid SO_2 [In-situ hydrogen biomethanation: optimization of biomethane production and biogas purification from CO_2]. *Vidnovliuvana enerhetyka* [*Renewable Energy*] (electronic journal), no. 3. pp. 140–144. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4(79)140-144 (accessed 18 September 2025).

4. Palù, M., Peprah, M., Tsapekos, P., Kougias, P., Campa-naro, S., Angelidaki, I., & Treu, L. (2022). In-situ biogas upgrading assisted by bioaugmentation with hydrogen-otrophic methanogens during mesophilic and thermo-philic co-digestion. *Bioresource Technology (electronic journal)*, vol. 348, 126754. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126754 (accessed 18 September 2025).

5. Aleksieienko V. V., Honchar V. P., Honchar A. O., Nazarenko O. V., Protsenko I. O., Sezonenko O. B., Yaltyshev A. V. (2023) Potentsial vykorystannia zoloshlakiv vuhilnykh teplovykh elektrostantsii dlia vyrobnytstva alternatyvnykh vydiv palyva (napryklad iz zoloshlaku Ladyzhynskoi TES) [The potential of using ash and slag from coal-fired thermal power plants for the production of alternative fuels (for example, from ash and slag from Ladyzhynska TPP)]. *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia* [*Energy Technologies and Resource Conservation*] (electronic journal), vol. 77. no. 4. pp. 31–42. Retrieved from: https://doi.org/10.33070/etars.4.2023.03 (accessed 18 September 2025).

6. Obodovych O. M., Tselen B. Ya., Stepanova O. Ye., Nedbailo A. Ye., Bulii Yu. V. (2024) Tekhnolohiia ta obladnannia dlia oderzhannia universalnoho vodovuhilnoho palyva [Technology and equipment for obtaining universal water-coal fuel]. *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia* [*Energy technologies and resource conservation*] (electronic journal), vol. 78. no. 1. pp. 24–33. Retrieved from: https://doi.org/10.33070/etars.1.2024.02 (accessed 18 September 2025).

7. Cherniavskyi M. V., Miroshnychenko Ye. S., Provalov O. Yu. (2022) Osoblyvosti vykorystannia zridzhenoho vuhlevodnevoho hazu yak rezervnoho ta alternatyvnoho palyva na vuhilnykh TETs [Features of the use of liquefied hydrocarbon gas as a backup and alternative fuel at coal-fired CHP plants]. *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia* [*Energy technologies and resource conservation*] (electronic journal), no. 4. pp. 3–14. Retrieved from: https://doi.org/10.33070/etars.4.2022.01 (accessed 18 September 2025).

8. Cherniavskyi M. V., Miroshnychenko Ye. S., Provalov O. Yu., Kosiachkov O. V. (2024) Osoblyvosti ta dosvid perevedennia hazomazutnykh kotliv promyslovykh TETs na spaliuvannia biomasy ta hazovoho vuhillia [Features and experience of converting gas-oil boilers of industrial CHPs to burning biomass and gas coal]. *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia* [*Energy technologies and resource conservation*] (electronic journal), vol. 80. no. 3. pp. 44–57. Retrieved from: https://doi.org/10.33070/etars.3.2024.03 (accessed 18 September 2025).

9. Kudria S. O., Riepkin O. O., Rubanenko O. O., Yatsenko L. V., Shynkarenko L. Ya. (2022) Etapy rozvytku zelenoi vodnevoi enerhetyky Ukrainy [Stages of development of green hydrogen energy in Ukraine]. *Vidnovliuvana enerhetyka* [*Renewable Energy*] (electronic journal), vol. 168. no. 1. pp. 5–16. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.1(68).5-16 (accessed 18 September 2025).

10. Ivanov Yu. A., Krushnevych S. P., Zhuk H. V., Onopa L. R., Verbovskyi O. V., Komisarenko D. A. (2024) Kompleksna tekhnolohiia utylizatsii biohazu polihoniv tverdykh pobutovykh vidkhodiv z vyroblenniam elektroenerhii, tepla ta vuhlekysloty [Integrated technology of biogas utilization of solid household waste landfills with the production of electrocity, heat and carbon dioxide] *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia* [*Energy Technologies & Resource Saving*] (electronic journal), vol. 80. no. 3. pp. 57–68. Retrieved from: https://doi.org/10.33070/etars.3.2024.04 (accessed 18 September 2025).

11. Klymenko V. M., Suprun T. T. (2024) Perspektyvy vprovadzhennia tekhnolohii biolohichnoho metanuvannia v Ukraini [Integrated technology for biogas utilization from solid waste landfills with the generation of electricity, heat and carbon dioxide]. *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia* [*Energy technologies and resource conservation*] (electronic journal), vol. 79. no. 2. pp. 88–95. Retrieved from: https://doi.org/10.33070/etars.2.2024.06 (accessed 18 September 2025).

12. Zhu, X., Chen, L., Chen, Y., Cao, Q., Liu, X., & Li, D. (2020). Effect of H_2 addition on the microbial community struc-ture of a mesophilic anaerobic digestion system. *Energy*, vol. 198, 117368. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117368. (accessed 18 September 2025).

13. Voelklein, M., Rusmanis, D., & Murphy, J. (2018). Bio-logical methanation: Strategies for in-situ and ex-situ upgrading in anaerobic digestion. *Applied Energy*, vol. 235, pp. 1061–1071. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.006 (accessed 19 September 2025).

14. Mikulonok I. O. Stan ta perspektyvy oderzhannia presovanoho tverdoho biopalyva (2022) [State and prospects for obtaining pressed solid biofuel]. *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia* [*Energy technologies and resource conservation*] (electronic journal), no. 4. pp. 15–30. Retrieved from: https://doi.org/10.33070/etars.4.2022.02 (accessed 19 September 2025).

15. Kabinetu Ministriv Ukrainy (2023) *Pro Natsionalnyi plan dii z enerhoefektyvnosti na period do 2030 roku* [On the National Energy Efficiency Action Plan for the period until 2030. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 12/29/2021 no. 1803-r as amended by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 10/06/2023 no. 899-r.]. Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80#Text (accessed 19 September 2025).

16. Mysak S. Y., Shapoval S. P., Hyvliud A. M. (2024) Analysis of the Share of Renewable Energy Sources in the Gross Final Energy Consumption of European Countries. *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia* [*Energy technologies and resource conservation*] (electronic journal), no. 1. pp. 59–75. Retrieved from: https://doi.org/10.33070/etars.1.2024.05 (accessed 19 September 2025).

17. Bondarenko D. (2024) Developing electrical models to simulate the conversion of solar radiation into electrical and thermal energy. *Vidnovliuvana enerhetyka* [*Renewable Energy*] (electronic journal), no. 4. pp. 59–63. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4(79)59-63 (accessed 19 September 2025).

18. Ferents V. I. (2023) Efektyvnist vykorystannia ahrovoltaiky [Efficiency of using agrovoltaics]. *Vidnovliuvana enerhetyka* [*Renewable Energy*] (electronic journal), no. 4. pp. 55–63. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.4(75)55-63 (accessed 19 September 2025).

19. Kuznietsov M. P., Lysenko O. (2023) Zabezpechennia balansu enerhii v lokalnii systemi z vidnovliuvanoiu heneratsiieiu [Ensuring energy balance in a local system with renewable generation]. *Vidnovliuvana enerhetyka* [*Renewable Energy*] (electronic journal), no. 1. pp. 6-18. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1(72)6-18 (accessed 19 September 2025).

20. Kudria S. O., Yatsenko L. V., Shynkarenko L. Ya., Tkalenko M. D. (2023) Elektrolitychne vyrobnytstvo vodniu dlia vitrovodnevykh stantsii [Electrolytic production of hydrogen for wind-hydrogen stations]. *Vidnovliuvana enerhetyka* [*Renewable Energy*] (electronic journal), no. 3. pp. 92-100. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74)92-100 (accessed 19 September 2025).

21. Basok B. I., Dubovskyi S. V., Pastushenko E. P., Nikitin Ye. Ye., Bazieiev Ye. T. (2023) Teplovi nasosy yak trend nyzkovuhletsevoho rozvytku enerhetyky [Heat pumps as a trend of low-carbon development of the energy sector]. *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia* [*Energy technologies and resource conservation*] (electronic journal), vol. 75. no. 2. pp. 23–44. Retrieved from: https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.02 (accessed 19 September 2025).

22. DeriiV. O., Teslenko O. I., Sokolovska I.S. (2023) Methodical approach to estimating the potential of thermal energy production by heat pump plants in case of their implementation in regional district heating systems. *Enerhotekhnolohii ta resursozberezhennia* [*Energy technologies and resource conservation*] (electronic journal), no. 2. pp. 44–56. Retrieved from: https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.03 (accessed 19 September 2025).

23. Dziuban Yu. I., Maliarenko O. Ye., Horskyi V. V., Yevtukhova T. O. (2025) Pidvyshchennia efektyvnosti teplozabezpechennia tvarynnytskykh kompleksiv iz zaluchenniam teplonasosnykh ustanovok [Increasing the efficiency of heat supply of livestock complexes with the use of heat pump units]. *Teplofizyka ta teploenerhetyka* [*Thermal physics and heat power engineering*] (electronic journal), vol. 48. no. 2. pp. 80-91. Retrieved from: https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2025.8 (accessed 19 September 2025).

24. Kuznietsov M. P. (2023) Kompleksne vykorystannia vidnovliuvanykh dzherel enerhii – pidsumky naukovo-praktychnoi konferentsii 2023 r. [Integrated use of renewable energy sources – results of the scientific and practical conference 2023]. *Vidnovliuvana enerhetyka* [*Renewable energy*] (electronic journal), no. 2. pp. 6–10. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2(73)6-10 (accessed 19 September 2025).

25. Kobets M. I. (2023) Analiz podalshoho rozvytku zakonodavstva YeS u sferi vidnovliuvanoi enerhetyky [Analysis of the further development of EU legislation in the field of renewable energy]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. Pp. 61–62. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

26. Korolova A. A. (2023) Pravovi aspekty «zelenoi» enerhetyky u voiennyi period [Legal aspects of "green" energy during the war period]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. pp. 46–47. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

27. Sulema O. K., Shukaiev S. M. Yevropeiski trendy u vidnovliuvanii enerhetytsi [European trends in renewable energy]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. pp. 65–66. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

28. Cherniavskyi A. V., Borychenko O. V., Pertko P. P. (2023) Vprovadzhennia system enerhetychnoho menedzhmentu na malykh ta serednikh pidpryiemstvakh Ukrainy [Implementation of energy management systems in small and medium-sized enterprises of Ukraine]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. pp. 167–168. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

29. Kaplun V. V., Makarevych S. S., Kulybaba Ye., Samchuk V. O. (2023) Prohramno-tekhnichne zabezpechennia system dynamichnoho enerhomenedzhmentu Mikrohrid z poliheneratsiieiu [Software and hardware support for dynamic energy management systems Microgrid with polygeneration]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. pp. 158–159. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

30. Kovalchuk O. A., Lezhniuk P. D., Povstianko K. O. (2023) Tekhnichni ta normatyvni zakhody zabezpechennia nadiinosti system elektropostachannia z vidnovliuvanymy dzherelamy enerhii [Technical and regulatory measures to ensure the reliability of power supply systems with renewable energy sources]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. pp. 110–111. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

31. Pidberezhna N. O. Rehuliuvannia enerhetychnykh potreb, yak odyn iz aspektiv efektyvnoho vykorystannia enerhii v navchalnykh zakladakh (2023) [Regulation of energy needs as one of the aspects of efficient energy use in educational institutions]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. pp. 134. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

32. Prokopenko V. V., Chornyi A. O., Zakladnyi O. O., Hrebeniuk T. V. (2023) Vyznachennia bazovoho rivnia enerhospozhyvannia doshkilnoho navchalnoho zakladu [Determining the basic level of energy consumption of a preschool educational institution]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. P. 136. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

33. Shevel A. P. (2023) Vykorystannia rozumnykh sitok, dlia zberihannia ta rozpodilu enerhii vidpovidno do potreb spozhyvachiv [Using smart grids to store and distribute energy according to consumer needs]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. pp. 94–95. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

34. Pyltii S. S., Bolotnyi M. P. (2023) Zabezpechennia protydii viialovym vidkliuchenniam v intelektualnykh elektrychnykh merezhakh [Ensuring counteraction to fan outages in intelligent electrical networks]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. pp. 81–82. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

35. Khomutov S. V. (2023) Mozhlyvosti vykorystannia VDE v kombinovanykh systemakh elektropostachannia tsentriv obrobky danykh [Possibilities of using renewable energy in combined power supply systems of data processing centers]. Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century". Ukraine. Kyiv. May 18–19, 2023. pp. 88–89. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023 (accessed 19 September 2025).

36. Karmazin O. O., Ivanchenko I. V. (2024) Problemy ta perspektyvy kompleksnykh enerhetychnykh system na osnovi vykorystannia vidnovliuvanykh dzherel enerhii – pidsumky XXV naukovo-praktychnoi konferentsii 2024 r. [Problems and prospects of complex energy systems based on the use of renewable energy sources – results of the XXV scientific and practical conference of 2024] *Vidnovliuvana enerhetyka* [*Renewable energy*], no. 3. pp. 29–35. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.4(79)29-35 (accessed 19 September 2025).

37. Havrylenko Ya. V., Derii V. O. (2024) Derzhavne stymuliuvannia vidnovliuvanoi enerhetyky [State stimulation of renewable energy]. Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI Century". Ukraine. Kyiv. May 22–24, 2024. pp. 76–77. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/renewable.conf.22-24.05.2024 (accessed 19 September 2025).

38. Ostapchuk O. V., Shevchenko I. V. (2022) Vykorystannia hibrydnykh system na osnovi vidnovliuvanykh dzherel v mikromerezhi: ohliad [The use of hybrid systems based on renewable sources in a microgrid: a review]. *Vidnovliuvana enerhetyka* [*Renewable Energy*], no. 4. pp. 9–23. Retrieved from: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4(71)9-25 (accessed 19 September 2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.09.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 20.10.2025
Дата публікації: 28.11.2025