

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

САБІЩЕНКО ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 005:502.171:620.92:332.1

ДИСЕРТАЦІЯ

«УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ СТАЛОГО РЕГІОНАЛЬНОГО
РОЗВИТКУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ
АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ»

(назва дисертації)

051 «Економіка»

(шифр і назва спеціальності)

05 «Соціальні та поведінкові науки»

(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 О.В. Сабіщенко

Наукові керівники:

Грищенко Іван Михайлович, д.е.н., професор,
Ректор Київського національного університету технологій та дизайну

Єрохін Сергій Аркадійович, д.е.н., професор,
Ректор ПрАТ «ВНЗ «Національна академія управління»

КИЇВ – 2023

АНОТАЦІЯ

Сабіщенко О.В. Управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 «Економіка» (галузь знань 05 «Соціальні та поведінкові науки»). – Київський національний університет технологій та дизайну. – м. Київ, 2023.

Дисертаційну роботу присвячено дослідженню управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії та розвинено науково-методичні підходи, теоретичні основи й практичні рекомендації за тематикою дослідження.

В дисертації представлено розроблений проект автономної й локальної гібридної електростанції «Одеська гібридна система альтернативних джерел енергії» в Білгород-Дністровському районі Одеської області України та змодельовано три бізнес-кейси електростанцій для впровадження у регіоні: у порівнянні зі споживанням електроенергії від мережі, отримано ефект економії коштів у розмірі 41,11% при споживанні енергії від гібридної електростанції за прогнозований період у 25 років, а також можливість отримання на 61,28% більше електроенергії, ніж від мережі; комбінована електростанція має термін окупності 10,3 років й при комбінуванні відновлюваних джерел має синергічний ефект збільшуючи коефіцієнт використання встановленої потужності електростанції до 44,45% (наприклад, одна змодельована вітрова електростанція має коефіцієнт використання встановленої потужності – 27,80%, а сонячна електростанція – 23,10%).

Проведено регресійний аналіз темпів зростання частки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії в Україні, у відповідності до

якого наявні повільні темпи зростання частки виробництва електроенергії з альтернативних джерел, що унеможливує досягнення проміжних цілей у сфері відновлюваної енергетики у визначені строки, які затверджені в офіційних документах нашої держави.

Проаналізовано позиції вітчизняних і зарубіжних фахівців, концепції, підходи до розуміння сутності поняття «гібридна система альтернативних джерел енергії» за науковими джерелами, що дало змогу удосконалити визначення цього поняття (гібридна система альтернативних джерел енергії – це комбінація двох або більше відновлюваних джерел енергії із системою накопичення електроенергії, яка забезпечує стале виробництво електричної енергії та синергічний ефект від об'єднання різних елементів системи). Інновації та розширення використання відновлюваних джерел енергії – це ключ до підтримки розвитку сталої енергетики та захисту нашої планети від зміни клімату.

Основними технологіями виробництва енергії з відновлюваних джерел є: сонячна, вітрова, гідро- та геотермальна енергетики, енергетика припливів і біоенергетика. В майбутньому очікується поява нових технологій виробництва енергії на основі відновлюваних джерел, кількість яких буде зростати, оскільки відбувається збільшення потреб та попиту на електроенергію у світі, а також у зв'язку з неминучим закінченням викопного палива.

Виконано аналіз особливостей впровадження об'єктів на основі альтернативних джерел з урахуванням потенціалу регіонів України, у відповідності до чого зведений потенціал встановленої потужності сектору відновлюваної енергетики становить 874 033 МВт та має річний потенціал виробництва електроенергії у 2 717 019 млн кВт·год/рік при використанні сучасних технологій (зокрема, у 2021 р. в Україні було вироблено 156 576 млн кВт·год).

Обґрунтовано необхідність переходу від традиційних (невідновлюваних) джерел енергії до альтернативних (відновлюваних) джерел енергії, адже природний потенціал відновлюваної енергії ніколи не вичерпається;

відновлювана енергетика захищає навколишнє середовище від негативних кліматичних змін; у 2021 р. майже 69% світових інвестицій було вкладено у впровадження нових відновлюваних джерел енергії та лише 31% припадає на газіві, вугільні та атомні електростанції; наявна можливість продажу електроенергії державі та отримання за це прибутку; виробництво енергії з альтернативних джерел є дешевшим у світі за технології на викопному паливі.

Описано необхідність впровадження саме гібридних систем альтернативних джерел енергії, оскільки при дослідженні одного об'єкту на основі відновлюваних джерел енергії наявні природні, технічні та економічні обмеження, які можливо подолати при введені в експлуатацію саме комбінованих систем (наприклад, вітрова електростанція + сонячна електростанція + система накопичення електроенергії). У дисертації зазначено, що при наявному темпі розвитку сектору відновлюваної енергетики без впровадження інноваційних технологій затвердені цілі у енергетичній сфері не будуть досягнуті у визначені строки.

Проаналізовано соціально-еколого-економічні чинники, які значною мірою обумовлюють позитивний ефекту впливу від використання альтернативної енергетики на соціальні, екологічні та економічні сфери суспільства. Одночасно з декарбонізацією та реалізацією кліматичних цілей щодо захисту навколишнього середовища, країнам необхідно створювати та впроваджувати нові робочі місця з високим рівнем підготовки працівників задля стимулювання економічного розвитку. Це є особливо актуальним в сучасному кризовому стані економіки України та світу, спричиненому пандемією COVID-19 та повномасштабним російським вторгненням на територію нашої держави. Для відбудови та відновлення зруйнованої енергетичної інфраструктури необхідно впроваджувати інноваційні технології виробництва електроенергії на основі відновлювальних джерел енергії.

Здійснено порівняльний аналіз показників інвестиційної привабливості галузі альтернативних джерел енергії. Проекти у сфері альтернативної енергетики мають найбільшу інвестиційну привабливість у секторі енергетики (у 2021 р. у

відновлювану енергетику було інвестовано 366 млрд дол. США у світі), найменші ризики реалізації у зв'язку зі збільшенням попиту на електроенергію, високу економічну ефективність (швидкий термін окупності), державні механізми підтримки («зелений» тариф, система аукціонів тощо), успішність європейського досвіду реалізації подібних проектів (впровадження інноваційних проектів на основі гібридних систем альтернативних джерел енергії, які мають стати драйвером розвитку енергетичного сектору України та стимулювати розвиток економіки держави). Мінімізація витрат на енергетичні потреби за рахунок інноваційних технологій, відновлюваної енергетики та енергозбереження є стрімко зростаючим глобальним трендом.

Запропоновано удосконалити механізми управління розвитком альтернативної енергетики, а саме механізми регулювання цін, механізми регулювання державно-приватного партнерства та механізми фінансово-бюджетного (економічного) регулювання, для впровадження на законодавчому рівні в Україні, що стимулюватиме розвиток сектору відновлюваної енергетики.

Розвиток сектору альтернативної енергетики сприятиме пришвидшенню економічного зростання нашої держави, сталому управлінню енергозабезпечення регіонів, залученню нових інвестицій, створенню нових робочих місць, забезпеченню регіональної децентралізації енергопостачання, а також захисту від негативних кліматичних змін та збереженню навколишнього середовища, на шляху до вуглецево-нейтрального майбутнього України.

Дисертаційна робота складається з переліку умовних позначень, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано дванадцять наукових праць, з яких: сім публікацій в зарубіжних виданнях (дві статті реферуються у Scopus) та п'ять публікацій в українських виданнях (три статті у фахових виданнях України).

Ключові слова: економіка, управління, альтернативні джерела енергії, відновлювана енергетика, гібридні системи альтернативних джерел енергії,

регіональний розвиток, енергія, енергетика, управління енергозабезпеченням, енергоефективність.

SUMMARY

Sabishchenko O.V. Managing energy supply for sustainable regional development using hybrid systems of alternative energy sources. – Qualification scientific work on the rights of manuscript.

The dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 051 «Economics» (knowledge branch is 05 «Social and behavioral sciences»). – Kyiv National University of Technology and Design. – Kyiv, 2023.

The dissertation work is devoted to the study of energy supply management for sustainable regional development using hybrid renewable energy systems, and scientific and methodological approaches, theoretical foundations and practical recommendations on the subject of the study are developed.

The thesis presents the developed project of an autonomous and local hybrid power plant «Odeska hybrid renewable energy systems» was developed in the Bilhorod-Dnistrovskii district of the Odessa region of Ukraine and three business cases of power plants were modeled for implementation in the region: compared to electricity consumption from the grid, a cost savings effect of 41,11% was obtained when energy was consumed from a hybrid power plant over a forecast period of 25 years, as well as the possibility of obtaining 61,28% more electricity than from the grid; the combined power plant has a payback period of 10.3 years and, when combining renewable sources, has a synergistic effect, increasing the installed capacity utilization factor of the power plant to 44.45% (for example, one simulated wind farm has an installed capacity utilization factor of 27,80%, and a solar power plant – 23,10%).

A regression analysis of the growth rate of the share of electricity production from renewable energy sources in Ukraine was carried out, according to which there is a slow growth rate of the share of electricity production from alternative energy sources, which makes it impossible to achieve intermediate goals in the field of renewable energy within certain deadlines approved in the official documents of our state.

The positions of domestic and foreign experts, concepts, approaches to understanding the essence of the concept of «hybrid renewable energy systems» according to scientific sources are analyzed, which made it possible to improve the definition of this concept (a hybrid renewable energy systems is a combination of two or more renewable energy sources with an electricity storage system), which ensures the sustainable production of electrical energy and the synergistic effect of combining different elements of the system). Innovation and expansion of the use of renewable energy sources is the key to supporting the development of sustainable energy and protecting our planet from climate change.

The main technologies for energy production from renewable sources are solar, wind, hydro and geothermal energy, tidal energy and bioenergy. In the future, new energy generation technologies based on renewable sources are expected to emerge, and the number of which will increase as the world's demand for and demand for electricity increases, as well as due to the imminent end of fossil fuels.

The analysis of the features of the implementation of objects based on alternative energy sources was carried out, taking into account the potential of the regions of Ukraine, in accordance with which the total installed capacity potential of the renewable energy sector of Ukraine is 874 033 MW and has an annual potential for electricity generation in 2 717 019 million kWh/year, using modern technologies (for example, in 2021 Ukraine produced 156 576 million kWh of electricity).

The necessity of transition from traditional (non-renewable) energy sources to alternative (renewable) energy sources is substantiated, because the natural potential of renewable energy will never run out; renewable energy protects the environment from climate change; in 2021, almost 69% of global investments were invested in the introduction of new renewable energy sources and only 31% are in gas, coal and nuclear power plants; there is the possibility of selling electricity to the state and receiving profit for this; energy production from altered energy sources is cheaper than technology on fossil fuel in the world.

The necessity of introducing hybrid renewable energy systems is described, since when studying one object based on renewable energy sources, there are natural,

technical and economic limitations that can be overcome by putting into operation combined systems (for example, a wind power plant + solar power plant + electricity storage system). The dissertation noted that at the current pace of development of the renewable energy sector without the introduction of innovative technologies, the approved goals in the energy sector will not be achieved within a certain time frame.

The socio-ecological and economic factors that largely determine the positive effect of the impact of the use of alternative energy on the social, environmental and economic spheres of society are analyzed. Simultaneously with decarbonization and the implementation of climate protection goals, countries need to create and implement new jobs with a high level of worker skills to stimulate economic development. This is especially true in the current crisis state of the economy of Ukraine and the world, caused by the COVID-19 pandemic and the full-scale Russian invasion of the territory of our state. To restore the destroyed energy infrastructure, it is necessary to introduce innovative technologies for the production of electricity based on renewable energy sources. To restore the destroyed energy infrastructure, it is necessary to introduce innovative technologies for the production of electricity based on renewable energy sources.

A comparative analysis of indicators of investment attractiveness of the industry of alternative energy sources has been carried out. Projects in the field of alternative energy have the highest investment attractiveness in the energy sector (in 2021, 366 billion US dollars were invested in renewable energy worldwide), the lowest implementation risks due to increased demand for electricity, high economic efficiency (quick payback period), state support mechanisms («green» tariff, auction system, etc.), the success of the European experience in implementing such projects (implementation of innovative projects based on hybrid renewable energy systems, which should become a driver for the development of the energy sector of Ukraine and stimulate the development of the state economy).

It is proposed to improve the mechanisms of state regulation of the development of alternative energy, namely, price regulation mechanisms, mechanisms for regulating public-private partnerships and mechanisms for financial and budgetary (economic)

regulation for implementation at the legislative level in Ukraine, which will stimulate the development of the renewable energy sector.

The development of the alternative energy sector will help accelerate the economic growth of our state, constantly manage the energy supply of the regions, attract new investments, create new jobs, ensure regional decentralization of energy supply, as well as protect against negative climate change and preserve the environment on the way to a carbon-neutral future.

The dissertation work consists of a list of symbols, an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references and applications. Based on the results of the dissertation research, twelve scientific papers were published, of which seven publications were in foreign publications (two articles are abstracted in Scopus) and five publications in Ukrainian publications (three articles in professional publications in Ukraine).

Key words: economics, management, alternative energy sources, renewable energy, hybrid renewable energy systems, regional development, energy, energetics, energy supply, energy efficiency.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Публікації у зарубіжних та наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз:

1. Сабіщенко, О. В., Скрипник, А. В., & Корецький, С. Л. (2014). Вітроенергетичні установки як альтернатива енергозощаджуючих технологій та енергозабезпечення. *Науковий журнал «Енергетика та автоматика»*, (3), 134-140. (0,29 д.а.). (*Google Scholar, AGRIS, MIAR, BASE, Research Bible, DRJI, Ulrichsweb Global Serials Directory*). *Особистий внесок автора: проаналізовано розвиток та освоєння альтернативних джерел енергії на прикладі вітроенергетики.* (0,17 д.а.).

2. Сабіщенко, О. В., Скрипник, А. В., & Нам'ясенко, Ю. О. (2018). Енергетичний Сектор України: Крах чи Виживання. *Науковий журнал «Проблеми економіки»*, (1 (35)), 122-134. (0,54 д.а.). (*ProQuest, Research Bible, Google Scholar, J-Gate, Library Hub Discover, WorldCat, OpenAIRE, BASE, GetInfo, Open Academic Journals Index, Advanced Science Index, Academic Journals Database, EBSCOhost, Index Copernicus, Directory of Open Access Journals, Research Papers in Economics, Ulrichsweb Global Serials Directory*). *Особистий внесок автора: запропоновано варіант розвитку енергетичного сектору України в частині стимуляції сектору відновлюваної енергетики шляхом усунення обмеження максимальної потужності для користувачів «зеленого» тарифу й обґрунтування зростання тарифів за енергетику в найближчій перспективі* (0,25 д.а.).

3. Sabishchenko, O., Rebilas, R., Sczygiol, N., & Urbański, M. (2020). Ukraine Energy Sector Management Using Hybrid Renewable Energy Systems. *Energies*, 13(7), 1776. (0,83 д.а.). (*Scopus, PMC, PubMed, MEDLINE, Google Scholar, Crossref, OASPA, SPARC Europe, COPE, DOAJ*). *Особистий внесок автора: надано пропозиції з удосконалення механізмів державного регулювання розвитку*

альтернативної енергетики та проведено регресійний аналіз темпів зростання частки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел в Україні (0,49 д.а.).

4. Sabishchenko, O. (2022). Regional and technical and economic features of electricity generation by renewable energy sources. *Науковий журнал «Економіка та суспільство»*, № 43. (0,25 д.а.). (Vernadsky National Library, Google Scholar, Index Copernicus, CiteFactor, Eurasian Scientific Journal Index, Directory of Open Access Journals).

5. Sabishchenko, O., Skrypnyk, A., Klymenko, N., Voloshyn, S. & Holiachuk, O. (2023). Global and Regional Externalities of the Ukrainian Energy Sector. *International Journal of Energy Sector Management*, Vol. 17, No. 1, pp. 145-166. (0,92 д.а.). (Scopus, Google Scholar, Directory of Open Access Journals, British Library, Crossref). *Особистий внесок автора: виконано аналіз діючих тарифів на електроенергію на енергетичному ринку України та розроблена оптимізаційна модель виробництва електроенергії.* (0,27 д.а.).

2. Опубліковані наукові праці апробаційного характеру:

6. Сабіщенко, О.В. (2022). Актуальність розвитку альтернативної енергетики в Україні для забезпечення сталого освітнього процесу в умовах воєнного стану. *Матеріали Всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації «Освітній процес в умовах воєнного стану в Україні»* (м. Одеса, Україна, 3 травня - 13 червня 2022 р.), 386-388. (0,14 д.а.).

7. Сабіщенко, О. В. (2020). Сталий розвиток енергетичного сектору за рахунок використання гібридних систем відновлюваних джерел енергії. *Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті»* (м. Київ, Україна, 14-15 травня 2020 р.), 77-80. (0,14 д.а.).

8. Сабіщенко, О. В., & Скрипник, А. В. (2018). Моделювання карти ризиків бізнес-проекту у вітроенергетиці. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Міжнародна безпека у світлі сучасних глобальних викликів»* (м. Вільнюс, Литва, 11 червня 2018 р.), 373-380. (0,35 д.а.). *Особистий*

внесок автора: побудовано карту ризиків щодо реалізації бізнес-проекту у вітроенергетиці на території України. (0,20 д.а.).

9. Sabishchenko, O. (2020). Business Model Canvas for a Renewable Electricity Developer in Ukraine. *Public communication in science: philosophical, cultural, political, economic and IT context: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (May 15, 2020; Houston, USA), Vol. 1, 7-10. (0,14 д.а.).

10. Sabishchenko, O. (2020). Opportunities for Synergy Management Between Renewable Energy Sources. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica* (24 de abril de 2020; Barcelona, España), Vol. 1, 22-24. (0,14 д.а.).

11. Sabishchenko, O., Skrypnyk, A. & Namiasenko, Y. (2018). Renewable Energy as an Alternative of the Decentralization Energy Supply in Ukraine. *International Journal of Innovative Technologies in Economy* (1 (13)), 120-127. (0,33 д.а.). *Особистий внесок автора: виконано аналіз необхідності переходу на відновлювані джерела енергії.* (0,15 д.а.).

12. Sabishchenko, O., & Yerohin, S. (2021). Managing the Economic Benefits of Hybrid Renewable Energy Systems in Ukraine. *Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference* (March 19, 2021; Cambridge, United Kingdom), Vol. 1, 61-65. (0,25 д.а.). *Особистий внесок автора: обґрунтовано економічні переваги впровадження гібридних систем альтернативних джерел енергії.* (0,14 д.а.).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	16
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	30
1.1. Історичний аналіз розвитку світової енергетики та причинно-наслідкові зв'язки переходу на альтернативні джерела енергії.....	30
1.2. Принципи роботи альтернативних джерел енергії.....	47
1.3. Зарубіжний та вітчизняний досвід управління використанням альтернативних джерел енергії і об'єктивна необхідність формування гібридних систем	62
Висновки до Розділу 1	78
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗУВАННЯ СТАНУ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГІОНІВ ЗА РАХУНОК ГІБРИДНИХ СИСТЕМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	80
2.1. Синергічний ефект у гібридних системах альтернативних джерел енергії.....	80
2.2. Економічні характеристики виробництва електроенергії гібридними установками	90
2.3. Вплив соціально-еколого-економічних чинників на визначення потужностей гібридних установок у регіонах та управління інвестиційною привабливістю галузі альтернативної енергетики.....	99
Висновки до Розділу 2	116
РОЗДІЛ 3 ВПРОВАДЖЕННЯ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СТАЛОГО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ	119
3.1. Формування механізмів державного регулювання та стимулювання розвитку альтернативної енергетики.....	119
3.2. Оцінювання потенціалу та особливостей впровадження об'єктів на основі альтернативних джерел енергії у регіонах України	127

3.3. Ефективність впровадження гібридних систем в регіоні (на прикладі авторського проекту «Одеська гібридна система альтернативних джерел енергії» в Одеській області України).....	136
Висновки до Розділу 3	147
ВИСНОВКИ.....	150
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	158
ДОДАТКИ.....	183

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АР Крим – Автономна Республіка Крим
- АЕС – атомна електростанція
- БГЕС – біогазова електростанція
- БМЕС – електростанція на біомасі
- ВВП – валовий внутрішній продукт
- ВДЕ – відновлювані джерела енергії
- Велика Британія – Сполучене Королівство Великої Британії та Північної Ірландії
- ВЕС – вітрова електростанція
- ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я
- ГПЕЕ – Гарантований покупець електричної енергії
- ГВт – гігават
- ГЕС – гідроелектростанція
- ГТЕС – геотермальна електростанція
- ГСАДЕ – гібридна система альтернативних джерел енергії
- ГСУ – геліоконцентраторна сонячна установка
- Держенергоефективності – Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України
- ЕДж – ексаджоулі
- Е/е – електроенергія
- ЄС – Європейський Союз
- ІВЕ НАНУ – Інститут відновлюваної енергетики НАН України
- КВВП – коефіцієнт використання встановленої потужності
- кВт – кіловат
- кВт·год – кіловат-година
- Кг – кілограм
- кДж – кілоджоуль
- Ккал – кілокалорія
- МВт – мегават
- МГЕС – мала гідроелектростанція

Млн – мільйон
Млрд – мільярд
ОЕС – об'єднана енергосистема
ООН – Організація Об'єднаних Націй
ОТГ – об'єднані територіальні громади
ПЕУ – припливні електроенергетичні установки
РФ – Російська Федерація
СБ – Світовий банк
СЕС – сонячна електростанція
СНЕ – система накопичення електроенергії
СРСР – Союз Радянських Соціалістичних Республік
СФУ – сонячна фотогальванічна установка
ТВЕ – технології виробництва електроенергії
ТЕС – вугільна електростанція
ТЕЦ – теплова електростанція
Тис – тисяч
Т.н.е. – тонн енергії в нафтовому еквіваленті
У.п. – умовне паливо
АС – змінний струм
CO₂ – викиди парникового газу (двоокису вуглецю)
COVID-19 – коронавірус
DC – постійний струм
IRENA – Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики
LCOE – нормована собівартість електроенергії

ВСТУП

Актуальність дослідження. У ХХІ столітті енергетична галузь України переживає загарбницько-військову агресію зі сторони Російської Федерації (далі – РФ), широкомасштабне вторгнення від лютого 2022 р., систематичне винищення української економіки, зокрема, руйнації енергетичного сектору, захоплення об'єктів енергетичної інфраструктури та втрати серед спеціалістів енергетичної сфери. Ця жахлива трагедія загострює нагальну потребу в повній відмові від російських енергоресурсів, досягненні Україною енергетичної незалежності за допомогою розвитку й впровадження новітніх технологій в енергетичній сфері.

Основним джерелом електропостачання у найближчому майбутньому мають стати альтернативні (відновлювані) джерела енергії замість імпортованих викопних енергоресурсів, що призведе до зниження антропогенного впливу енергетики на навколишнє природне середовище, а також поліпшить соціально-політичний та економічний стан у світі. Однією з важливих умов сталого розвитку економіки є перехід держав до енергозберігаючих та енерговідновлюваних технологій. Основними напрямками використання відновлюваних джерел енергії є: сонячна, вітрова, гідро- та геотермальна енергетики, енергетика припливів і біоенергетика.

При подальшому зростанні світового населення (у 2050 р. до 10 мільярдів (далі – млрд) осіб) й збільшенні попиту на електроенергію (до 2050 р. на 30% і більше, ніж зараз), а також використанні викопних енергоресурсів (нафти, вугілля, газу), світові запаси традиційних (невідновлюваних) джерел енергії закінчаться вже у найближчі 130 років: вугілля через 128 років, нафта – 42 роки, газ – 57 років [83; 201; 212].

Розвиток відновлюваної енергетики є важливим для української економіки та бізнесу, зокрема, як з точки зору енергетичної безпеки, так і введення в експлуатацію нових генеруючих потужностей, а також забезпечення екологічності. Підписавши у 2015 р. Паризьку кліматичну угоду, Україна

зобов'язалась до 2050 р. скоротити викиди парникового газу (двоокису вуглецю; далі – CO₂) в державі на 60% у порівнянні з рівнем 1990 року [209]. Одним з шляхів для досягнення цієї мети є перехід на виробництво електроенергії з альтернативних джерел.

Українська енергетика знаходиться у важкому стані внаслідок практично повної амортизації обладнання основних джерел електропостачання (станом 01.01.2022 р. без урахування тимчасово окупованих Автономної Республіки Крим (далі – АР Крим), Донецької та Луганської областей): ядерної енергетики – 55% енергопостачання від загального енергозабезпечення, теплової енергетики (30,3%) і гідроенергетики (6,7%) [57]. В Україні діє надзвичайно низький рівень екологічного оподаткування, що дозволяє власникам атомних, газових і теплових електростанцій отримувати надприбутки за рахунок погіршення природного середовища. Так, станом на 01.01.2022 р. ставка за викиди одної тонни CO₂ складає лише 30 грн, тоді як в країнах Європейського Союзу (далі – ЄС) вважається, що викид 1 тонни CO₂ завдає шкоди в середньому 45,75 євро [132]. Тому, потрібно змінювати законодавчу базу України та підвищувати екологічний податок до Європейського рівня, як і здійснювати реоновлення обладнання традиційних джерел енергії (атомних, газових і теплових електростанцій).

За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (далі – Держенергоефективності) [22], один громадянин нашої держави в середньому залишає майже 350 кілограмів (далі – кг) побутового сміття на рік, тобто по 1 кг в день, й дана цифра з кожним роком зростає на 4-6% на рік, що випереджає приріст населення. Проте, з 10 мільйонів (далі – млн) тонн сміття, що потрапляє на сміттєзвалища, можна виробляти 3,5 млн гікалорій теплової енергії та 1,2 млрд кіловат-годин (далі – кВт·год) електроенергії на рік. В результаті потенціал заміщення, наприклад, газу, буде становити до 1 млрд м³ щорічно. Зокрема, на прикладі галузі сонячної енергетики можна відзначити, що у 2021 р. встановлені нові потужності сонячних

електростанцій у ЄС дозволили уникнути імпортування газу на суму в 6 млрд євро [175].

Станом на 01.01.2022 р. частка виробництва електроенергії з відновлюваних джерел у загальному виробництві в Україні складала лише 8% [57]. В той час, наприклад, частка відновлюваних джерел енергії у забезпеченні електричної енергією в Данії складала 57%, в Литві – 45%, в Німеччині – 32%, в Італії 18%, в Польщі – 13% тощо.

Природно-ресурсний потенціал для роботи деяких відновлюваних джерел енергії є періодичним, щоденним, або сезонним. Наприклад, для досягнення безперебійного енергозабезпечення домогосподарства використання потенціалу лише сонячної фотоелектричної установки є недостатнім, адже максимальне значення сонячної інсоляції досягається лише в окремий період денної доби, а також потрібно враховувати, що в нічний час виробництво електроенергії взагалі спадає до нульового значення. Аналогічно й одна вітроенергетична установка не може гарантувати стабільне й необхідне електрозабезпечення через мінливі пориви вітру.

Отже, використання відновлюваних джерел енергії в якості одного джерела живлення не є оптимальним рішенням. Однак об'єднання двох і більше відновлюваних джерел енергії із системою накопичення електроенергії дозволяє частково подолати обмеження, властиві будь-якому з альтернативних джерел, створивши гібридну систему альтернативних джерел енергії задля управління забезпеченням підвищеної ефективності виробництва електроенергії гібридною системою, а також створенням додаткових маневрених потужностей зі сталим енергозабезпеченням.

В сучасних умовах найефективнішою інноваційною технологією в енергетичній сфері є використання саме гібридних систем альтернативних джерел енергії. Це стає можливим за рахунок доступності, надійності, низької витратності, екологічної чистоти та швидкої окупності гібридних (комбінованих) систем (установок).

Науково-теоретичну основу тематики дослідження становлять комплексні наукові роботи таких вітчизняних і іноземних вчених, як Ажаман І. [1], Артемчук В. [5], Барановська І. [7], Васько П. [8], Блінов І. [9], Вамболь С. та Вамболь В. [10], Ганущак-Єфіменко Л. [14], Готра В. [15], Грищенко І. [18], Воронкова Т. [19], Дзяди́кевич Ю. та Гевко Р. [29], Дячук О. та Чепелєв М. [30], Єрохін С. [34], Кудря С. [49], Ляшенко В. та Вишне́вський О. [50], Нараєвський С. [55], Олешко А. [59], Павлов К. [62], Рудаченко О. [67]. Сотник І. [73], Якимчук А. [75], Біла С. [89], Шкода М. [91], Badran A. [92], Astaraci F. та Yousefi H. [97], Bayar Y. та Gavriletea M. [98], Baxter J., Ellis G. та Devine-Wright P. [99], Britchenko I. [100], Longo M. [103], Collins C. [106], Doherty R. та O'malley M. [109], Foss N. [119], Fox D. [120], Shcherbak V. [122], Tarasenko I. [123], Haupt S. та Alessandrini S. [125], Hernández-Callejo L. [126], Kaldellis J. [142], Keane A. та O'Malley M. [143], Kumar N. [145], Biswas A. [149], Maslow A. [150], Mintzberg H. [154], Gipe P. [159], Odenberger M. [163], Porter M. [169], Subudhi B. та Putrus G. [173], Salem M. [172], Ramos H. [189], Tan Q. [193], Taylor F. [194], Van Mierlo J. [210], Yang G. [214] та інших.

Управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку – це комплекс дій з впливу на процес використання інноваційних технологій, спрямованих на забезпечення енергетичних потреб регіону з урахуванням сталого розвитку. Дані дії включають в себе планування, організацію, координацію, мотивацію та контроль заходів, спрямованих на раціональне використання енергоресурсів, впровадження енергоефективних технологій, розвиток альтернативних (відновлюваних) джерел енергії задля збереження стійкості соціально-економічної системи енергії або переведення її з одного стану в інший у відповідності з визначеною метою (потребою).

Метою управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку є створення стійкого, економічно ефективного та екологічного безпечного енергетичного забезпечення регіону, для збереження природних ресурсів, зниження впливу на зміну клімату, енергетичної незалежності регіонів (невичерпного джерела природної енергії), забезпечення незалежності від

імпорту енергії та стабільного регіонального енергозабезпечення, за рахунок використання гібридних систем альтернативних джерел енергії. Тому, проблема управління енергозабезпеченням за рахунок використання гібридних систем альтернативних джерел енергії для сталого регіонального розвитку є актуальною, як в державному, так і в приватному секторах економіки, для забезпечення децентралізації енергопостачання та європейської інтеграції України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертацію виконано відповідно до тематики науково-дослідних робіт:

- ПрАТ «ВНЗ «Національна академія управління» за темою «Інноваційно-інвестиційні чинники сталого соціально-економічного розвитку» (державний реєстраційний номер 0116U003934), у межах якої автором проаналізовано соціально-еколого-економічні чинники та їх вплив на визначення потужностей гібридних установок у регіонах, а також здійснено порівняльний аналіз показників інвестиційної привабливості галузі альтернативних джерел енергії;

- Київського національного університету технологій та дизайну за темою «Управління інноваційним розвитком підприємництва на засадах кластеризації» (державний реєстраційний номер 0120U103264), у контексті якої автором оцінено потенціал та особливості впровадження альтернативних джерел енергії в регіонах України, з використанням інноваційних технологій у сфері енергетики для сталого регіонального енергозабезпечення.

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у науковому обґрунтуванні теоретико-методичних засад та практичних рекомендацій щодо управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії.

Реалізація визначеної мети дослідження передбачає вирішення наступних завдань:

- обґрунтувати необхідність переходу від традиційних (невідновлюваних) джерел енергії до альтернативних (відновлюваних) джерел енергії відповідно до історичного аналізу розвитку енергетики ;

- дослідити та сформуванати принципи управління альтернативними джерелами енергії;

- проаналізувати зарубіжний та вітчизняний досвід управління використанням альтернативних джерел енергії і об'єктивна необхідність формування гібридних систем;

- розрахувати синергічний ефект у гібридних системах альтернативних джерел енергії;

- сформуванати економічні характеристики виробництва електроенергії гібридними установками;

- проаналізувати соціально-еколого-економічні чинники та їх вплив на визначення потужностей гібридних установок у регіонах;

- здійснити порівняльний аналіз показників управління інвестиційною привабливістю галузі альтернативних джерел енергії;

- надати пропозиції з удосконалення механізмів державного регулювання розвитку альтернативної енергетики;

- оцінити потенціал та особливості впровадження альтернативних джерел енергії в регіонах України;

- оцінити ефективність впровадження гібридних систем в регіоні (на прикладі авторського проекту «Одеська гібридна система альтернативних джерел енергії» в Одеській області України).

Об'єктом дослідження є процес управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії.

Предметом дослідження є сукупність теоретичних, методичних та практичних засад управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії, що сприяє ефективному й надійному енергозабезпеченню.

Методи дослідження. Методологічну основу дисертаційної роботи складають сукупність прийомів, принципів, загальнотеоретичних, спеціальних, міждисциплінарних методів наукового дослідження. Для досягнення

встановленої мети та розв'язання визначених завдань дослідження використано наступні методи:

- теоретичні методи: *аналіз, синтез, систематизація* (огляд літератури за тематикою дослідження; обґрунтування до використання в енергетичній сфері інноваційних гібридних систем – об'єднання двох і більше відновлюваних джерел енергії з системами накопичення електроенергії в єдину комбіновану установку); *формалізація* (формування аналітичних даних, пов'язаних із сектором енергетики); *узагальнення* (надання пропозицій щодо розвитку альтернативної енергетики в Україні у довгостроковій перспективі);

- емпіричні методи управління: *порівняння* (вивчення зарубіжного досвіду для зменшення енергоємності вітчизняної економіки, визначення можливостей адаптації міжнародного досвіду використання гібридних систем альтернативних джерел енергії, перспектив їх розвитку та впровадження, як енергозощаджуючих технологій, в Україні); *спостереження* (опрацювання змін енергетичного сектору у світі та Україні за період 2012-2022 рр.);

- комплексні методи: *моделювання* (моделювання оптимізаційних параметрів роботи елементів гібридної системи альтернативних джерел енергії та вибір впровадження найоптимальнішої комбінованої системи в регіоні України за допомогою програмного забезпечення, таких як «HOMER PRO» [127] та «Microsoft Excel» [151]); *прогнозування* (проведення регресійного аналізу темпів зростання частки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії в Україні); *кластеризація* (при аналізі потенціалу регіонів України для реалізації інвестиційних проектів виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії).

Інформаційною базою дослідження є законодавчі та нормативні акти України, статистичні та аналітичні дані Світового банку, Міністерства енергетики України, Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, міжнародних і національних організацій, наукові праці провідних зарубіжних і вітчизняних вчених, інтернет-ресурси.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в поглибленні науково-методичних підходів, теоретичних основ і практичних рекомендацій щодо управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії. Найбільш вагомі результати дослідження, що характеризують особистий внесок здобувача та наукову новизну, полягають у наступному:

- вперше:

- змодельовано три бізнес-кейси управління гібридними електростанціями, на основі яких розроблено авторський проект гібридної електростанції «Одеська гібридна система альтернативних джерел енергії» з використанням програмного забезпечення «HOMER PRO» й «Microsoft Excel», визначено та економічно обґрунтовано варіант застосування гібридної системи альтернативних джерел енергії електростанцію на основі вітроустановки, сонячної установки та системи накопичення електроенергії для впровадження у регіоні (у порівнянні зі споживанням електроенергії від мережі отримано ефект економії коштів у розмірі 41,11% при споживанні енергії від гібридної електростанції за прогнозований період у 25 років, а також наявна можливість отримання на 61,28% більше електроенергії, ніж від мережі; доведено наявність синергічного ефекту від комбінації декількох елементів відновлюваних джерел у одній гібридній системі, збільшивши коефіцієнт використання встановленої потужності електростанції до 44,45);

- удосконалено:

- методичний підхід управління щодо визначення темпів зростання частки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії в Україні, який на відміну від наявного, враховує темпи зростання частки виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії та унеможливорює виконання проміжних цілей у сфері відновлюваної енергетики у затверджені строки на державному рівні у відповідності до чинного законодавства;

- механізми державного регулювання розвитку альтернативної енергетики, які, на відміну від існуючих, враховують механізми регулювання цін, механізми регулювання державно-приватного партнерства та механізми фінансово-бюджетного (економічного) регулювання для впровадження на законодавчому рівні в Україні, що стимулює розвиток сектору відновлюваної енергетики.

- систему моніторингу управління, яка на відміну від наявних, враховує перехід від традиційних (невідновлюваних) джерел енергії до альтернативних (відновлюваних) джерел енергії, і базується на принципах відновлюваної енергетики, принципах захисту навколишнього середовища від негативних кліматичних змін;

- систематизацію порядку вимірювання та оцінювання управління впровадженням гібридних систем альтернативних джерел енергії, що на відміну від наявної, враховує природні, технічні та економічні обмеження, які можливо подолати при введенні в експлуатацію саме гібридних систем (наприклад, вітрова електростанція + сонячна електростанція + система накопичення електроенергії).

- дістали подальшого розвитку:

- сутність категорії «гібридна система альтернативних джерел енергії» – як комбінація двох або більше відновлюваних джерел енергії із системою накопичення електроенергії, яка забезпечує стале виробництво електричної енергії та синергійний ефект від об'єднання різних елементів системи.

Практичне значення отриманих результатів. Основні положення та результати дослідження доведено до рівня практичних рекомендацій і використано:

- В практичній діяльності: Спілки підприємців малих, середніх і приватизованих підприємств України при розробці та реалізації Програми дій Ради та виконавчої дирекції компанії в частині необхідності розвитку сталого енергозабезпечення регіонів України зі використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії (довідка №146/1 від 07.12.2022 р.); ГО «Асоціація фермерів та

приватних землевласників Дніпропетровської області» в частині вдосконалення механізмів державного регулювання розвитку альтернативної енергетики та впровадження інноваційних енергетичних систем на основі гібридних систем альтернативних джерел енергії (довідка №7 від 25.01.2023 р.); ТОВ «РА.ДА» в частині використання сформованих регіональних й техніко-економічних переваг та обмежень виробництва енергії альтернативними джерелами для розбудови та післявоєнного відновлення енергосектору України (довідка №13/06/23 від 13.06.2023 року).

- В освітньому процесі ПрАТ «ВНЗ «Національна академія управління» при викладанні дисциплін «Регіональна економіка», та «Інноваційний розвиток підприємств» та «Стратегічне управління» (акт б/н від 14.09.2022 року).

Особистий внесок здобувача. Основні положення і висновки дисертації розроблено автором особисто та самостійно викладено в одноосібних наукових працях.

З наукових праць, які видані у співавторстві, в дисертації використано ті ідеї та розробки, що є результатом особистої роботи здобувача.

Апробація матеріалів дисертації. Основні теоретичні та практичні результати дисертаційного дослідження доповідались й отримали схвалення на 12 національних і 5 міжнародних наукових заходах: XV Міжнародна конференція «Енергія з біомаси» (24-25 вересня 2019 р., м. Київ, Україна), круглий стіл «Нові виклики для української відновлюваної енергетики у разі зміни умов державної підтримки» (15 жовтня 2019 р., м. Київ, Україна), VIII Міжнародна науково-практична конференція «Енергоефективний університет» (24 жовтня 2019 р., м. Київ, Україна), 10-й Європейсько-Український Енергетичний День «Нова ера сталого розвитку ВДЕ та ЕЕ в Україні – Горизонт 2025» (14 листопада 2019 р., м. Київ, Україна), вебінар «Енергетика та COVID-2019» (17 квітня 2020 р., м. Київ, Україна), Міжнародна науково-практична конференція «Інтеграція фундаментальних і прикладних

наук у парадигмі постіндустріального суспільства» (24 квітня 2020 р., м. Барселона, Іспанія), XXI Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті» (14-15 травня 2020 р., м. Київ, Україна), Міжнародна науково-практична конференція «Публічна комунікація в науці: філософський, культурний, політичний, економічний і IT-контекст» (15 травня 2020 р., м. Х'юстон, США), онлайн-форум «Глобальний форум з відновлюваної енергетики» (24 вересня 2020 р., м. Бонн, Німеччина), IX Міжнародна науково-практична конференція «Енергоефективний університет» (29 жовтня 2020 р., м. Київ, Україна), VII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень» (11-12 листопада 2020 р., м. Київ, Україна), онлайн-семінар «Огляд кліматичних дій та переходу до сталої енергетики в Україні» (18 листопада 2020 р., м. Київ, Україна), I Міжнародна науково-практична конференція «Освіта і наука сьогодні: міжгалузеві проблеми і розвиток наук» (19 березня 2021 р., м. Кембридж, Велика Британія), конференція «Прозорість та підзвітність видобувного сектору в умовах пандемії та енергетичного переходу» (30 березня 2021 р., м. Київ, Україна), онлайн-семінар «Відновлювані джерела енергії та сталий розвиток для українських громад» (24 червня 2021 р., м. Київ, Україна), онлайн-тренінг «Школа молодих вчених на тему сталої енергетики» (21-22 вересня 2021 р., м. Гамбург, Німеччина), онлайн-захід «Зелене відновлення України: місія (не)можлива» (14 вересня 2022 р., м. Київ, Україна).

Публікації. Основні результати за тематикою дисертаційного дослідження опубліковано в 12 наукових працях, з яких: 7 публікацій в зарубіжних виданнях (2 статті реферуються у Scopus) та 5 публікацій в українських виданнях (3 статті у фахових виданнях України).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з переліку умовних позначень, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 191 сторінок:

основний текст викладено на 138 сторінках, робота містить 63 рисунки, 22 таблиці, 2 додатки та список використаних джерел, що налічує 215 найменувань.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1. Історичний аналіз розвитку світової енергетики та причинно-наслідкові зв'язки переходу на альтернативні джерела енергії

У XXI столітті в світовій енергетиці відбуваються істотні зрушення, які обумовлено зміною суспільної думки щодо основних життєвих пріоритетів постіндустріального суспільства. По-перше, це зростання рівня суспільних вимог стосовно стану довкілля, внаслідок чого відбувається суттєва перебудова світової енергетики на користь генерацій, що не погіршують стан навколишнього середовища. По-друге, у будь-якій державі світу розвиток енергетичного сектору є чинником, який значною мірою визначає вектор економічного розвитку. Тому, пошук і освоєння нових технологій виробництва енергії та управління регіональним енергозабезпеченням є актуальною проблемою.

Також на рубежі XIX – XX ст. була сформована школа «наукового управління», для дослідження наукових підходів у сфері управління (менеджменту), серед представників якої можна відмітити наступних талановитих науковців: Тейлор Ф., Форд Г., Гілберт Л., Гант Г., Емерсон Г. та інші [2]. Праці представників школи «наукового управління» мають наукову значущість в частині розроблення принципів організації праці, обґрунтування задач управління (менеджменту), формування основи раціонального управління, а також доведення, що загальні інтереси співробітників і їх керівників збігаються тощо.

Згідно з одним із визначень, енергія – це скалярна фізична величина, загальна кількісна міра руху та взаємодії всіх видів матерії [22]. Існує два типи енергії: накопичена (потенційна) енергія та робоча (кінетична) енергія. В свою чергу, джерела енергії можуть бути поділені на наступні дві категорії [181]:

- Невідновлювана (традиційна) енергія – це енергія з викопних видів палива, наприклад, нафти або вугілля, яка виробляється при їх спаленні

(виробництво енергії супроводжується викидами CO₂), а також від використання природного газу. Однак, їх запаси обмежені, тому вони не поповнюються природним чином, щоб людство могло їх використовувати необмежено, а це, у свою чергу, спонукає до пошуку нових, альтернативних джерел енергії.

- Відновлювана (нетрадиційна) енергія. Відповідно до Закону України №555-IV від 19.08.2022 «Про альтернативні джерела енергії», поняття «альтернативні джерела енергії» має наступне визначення – це відновлювані джерела енергії (далі – ВДЕ), до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, що включають доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів; альтернативна енергетика – сфера енергетики, яка забезпечує виробництво електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії, що також не завдають шкоди навколишньому середовищу (виробництво енергії не супроводжується викидами CO₂) [37].

Протягом тривалого часу (декілька сотень та навіть тисячі років тому) люди вже використовувало деякі види альтернативних (відновлюваних) джерел енергії, наприклад, вітер, сонце, біопаливо (спалювання біомаси) та воду. Однак, ще до нашої ери люди вперше почали використовувати вітрову енергію на судах, які були оснащені вітрильними системами. Як вважали давні греки, вітрильна система була винайдена за тих часів, коли було приручено перших тварин (домашніх) та з оволодінням використання вогню. Понад 4 000 р. тому древні фінікійці застосовували вітрило у господарських цілях. В Єгипті були знайдені релікти вітряних систем (млинів), яким більше 3 000 років. Також, у Вавилоні вітряні млини застосовувались для осушування боліт. В Азії та на Близькому Сході будували вітряки з водопідйомними механізмами (перші гібридні системи).

На Європейських землях найбільше вітряки використовувались в Нідерландах, а вже з XIV ст. вони стали основними енергетичні системами даної держави і наприкінці XIX ст. кількість вітряків становила близько 10 000, виконуючи функції відкачування води та охоронних систем від затоплення. У XVIII-XIX ст. вітрові установки набули динамічного розвитку у Данії, де вже наприкінці XIX ст. працювало більше 30 000 вітроустановок для господарських цілей, а також близько 3 000 вітродвигунів були задіяні у промисловості країни. Принагідно на початку XX ст. загальна потужність вітроустановок на території України вже становила 1 400 мегават (далі – МВт) [99; 142; 159].

З давніх давен людство у своїх потребах використовує й енергію води. Найстаршою греблею у світі є «Кошиш» у Єгипті висотою 15 метрів, яка працювала 3 000 р. до нашої ери, та дамба «Сад-ель-Кафар», збудована 4 600 р. тому. Вперше водяні колеса використовувались більш ніж за 3 000 р. до нашої ери на Близькому Сході, в Єгипті, Індії та інших державах, а також водяні колеса застосовувались для обробки зерна у Стародавньому Римі та Греції. Вже в XX ст. разом з настанням епохи електроенергетики водяні колеса використовувались як гідравлічні турбіни. У Німеччині в м. Лауфені була побудована перша в світі гідроелектростанція (далі – ГЕС) на 220 кіловат (далі – кВт). На початку XX ст. була побудована перша ГЕС в США на Ніагарському водоспаді, потужність якої на сьогодні складає 4,4 гігават (далі – ГВт) [146; 161].

Вперше сонячну енергію людство використовувало для нагрівання їжі, сушіння шкір, а також посуду. При застосуванні концентрованих сонячних променів розпалювали вогонь у храмах. В роки існування Стародавнього Риму почалось будівництво перших теплиць. На початку XVII ст. у Франції збудовано перший сонячний двигун з використанням нагрітого повітря. У XVIII ст. створено сонячну піч з температурою до 1 780 °С, яку використовували в господарських і промислових цілях, а вже наприкінці того ж століття винайдено сонячний колектор. У 1822 р. у США науковцем Д. Еріксоном побудовано перший сонячний повітряний двигун, а у 1866 р. інший науковець А. Мушо побудував декілька великих на той час сонячних геліоконцентраторів в Алжирі

[95; 157]. Наприкінці XIX – початку XX ст. завдяки широкому використанню викопного палива (вугілля, нафти та з другої половини XX ст. газу), його дешевизні, економічна доцільність використання альтернативних джерел енергії зменшується.

Нового поштовху в розвитку енергетичного сектору з використанням альтернативних джерел енергії надала нафтова криза (або «нафтовий шок»). Вона почалася у жовтні 1973 р., коли на світовому ринку менше ніж за 2 місяці ціна на нафту збільшилась в чотири рази з 3 до 12 дол. США за барель. Цей перший «нафтовий шок» призвів до суттєвих структурних реформ у світовому енергетичному секторі та економіці в цілому. Кардинально зросли інвестиції в пошуки та розробку нових альтернативних технологій, здатних зменшити енергоспоживання та зупинити імпорту залежність від нафти [168; 192].

У середині XX ст. почалось освоєння енергії нового виду, заснованої на ядрах атомів, і це стало століттям ядерної фізики. Ця енергія багаторазово перевищує енергію палива, що застосовувалася людством до сьогоднішніх днів. Із введенням в експлуатацію у 1954 р. першої в світі промислової атомної електростанції (далі – АЕС) потужністю 5 МВт у м. Обнінськ в колишньому Союзі Радянських Соціалістичних Республік (далі – СРСР) почалася ера атомної енергетики [31]. Швидкі темпи розвитку атомної енергетики протягом століття не відповідали рівню її безпеки: радіаційні аварії на АЕС «Три Майл Айленд» у США (1979 р.), на АЕС «Чорнобильська АЕС» в Україні (1986 р.), на АЕС «Фукусіма І» у Японії (2011 р.) завдали величезної моральної та матеріальної шкоди у всьому світі. За різними оцінками, Чорнобильська катастрофа забрала життя від 4 000 до 1 000 000 осіб, а за час незалежності України більше 20 млрд дол. США було витрачено на ліквідацію наслідків аварії [20]. Отже, існує нагальна потреба у впровадженні інноваційних альтернативних джерел енергії для зниження ризиків можливих ядерних аварій, уникнення накопичення великої кількості радіоактивних відходів АЕС і відпрацьованого ядерного палива, а тому й ризиків і витрат, пов'язаних з їх утилізацією [96; 107; 152].

На сьогоднішній день у сфері енергетики продовжуються пошуки новітніх технологій, здатних відновлювати свої ресурси (бути невичерпними), представляти повну заміну традиційним джерелам енергії (безперебійність надання електроенергії), бути економічно вигідними та інвестиційно привабливими, не шкодити навколишньому середовищу (екології). Пошук альтернативних джерел енергії пов'язаний із збільшенням попиту населення на електроенергію через науково-технічний світовий розвиток. Поява нових пристроїв, які використовуються у повсякденному житті (смартфони, ноутбуки, зарядні пристрої, побутова техніка тощо), нових технологій виробництва товарів, електрифікація транспорту та діджиталізація у світі потребують з кожним роком все більшого виробництва електроенергії. В свою чергу при визначенні енергетичного потенціалу виробництва електроенергії використовують основні одиниці енергії, якими є кілоджоуль (далі – кДж), кілокалорія (далі – ккал), кВт·год, кг умовного палива (далі – кг.у.п.), кг нафтового еквіваленту (далі – кг.н.е.) або тонна нафтового еквіваленту у відповідності до табл. 1.1 [49].

Таблиця 1.1

Співвідношення основних одиниць енергії

	кДж	ккал	кВт·год	кг.у.п.	кг.н.е.
1 кДж	=	0,2388	0,000278	0,000034	0,000024
1 ккал	4,1868	=	0,001163	0,000143	0,0001
1 кВт·год	3600	860	=	0,123	0,086
1 кг.у.п.	29308	7000	8,14	=	0,7
1 кг.н.е.	41868	10000	11,63	1,428	=

Примітка: сформовано автором на основі [49]

З 2000 р. світове споживання енергії збільшилось на третину та продовжує зростати. У 2022 р. споживання енергії в світі оцінювалось в 580 млн тераджоулів або близько 13 865 млн тонн нафтового еквіваленту. Також світовий попит на енергію зріс на 2,9% у порівнянні з 2021 р., а в подальшому до 2040 р. глобальне споживання енергії може сягнути 740 млн тераджоулів, що еквівалентно додатковому 30% зростанню [195; 201].

Паралельно зі зростанням використання електроенергії через науково-технічний прогрес у світі та збільшенням чисельності населення Землі потреба

електрозабезпечення стає нагальною необхідністю людства. Близько 1804 р. населення світу сягало 1 млрд, у 1927 р. пройдено відмітку в 2 млрд, після чого чисельність населення почала швидко зростати й у 2011 р. досягла вже 7 млрд., а в 2022 р. – 8 млрд осіб. За прогнозами науковців, до 2050 р. населення світу сягне 10 млрд [201].

Протягом усієї історії людства зростання чисельності населення супроводжувалось економічним зростанням. Коли населення світу збільшилося вдвічі за 46 років з 1971 по 2017 р., світова економіка зросла більш ніж в чотири рази: з 19,9 до 80,1 трильйонів дол. США [201]. Приблизно за той же період потроїлось споживання людиною природних ресурсів Землі, відповідно до чого збільшилась частка споживання викопних ресурсів і світові запаси викопного палива швидко закінчуються.

Станом на 2022 р. при подальшому використанні традиційних джерел енергії у світі дані запаси закінчатся вже у найближчі 130 років (табл. 1.2). В Україні наявні великі запаси викопних ресурсів, яких може вистачити на десятки років. Проте це не гарантує, що в державі будуть видобувати ці копалини, адже видобувати дані ресурси економічно не вигідно: через велику глибину залягання та застріле обладнання при використанні, а імпортувати газ або інші копалини дешевше, у відповідності до даних АТ «НАК «Нафтогаз України» [6], Міністерства енергетики України [51] та ПАТ «НЕК «Укренерго» [63].

Таблиця 1.2

Запаси викопних ресурсів (станом на I півріччя 2022 року)

Викопні ресурси	Світові запаси*		Запаси в Україні**	
	Скільки лишилось	Скільки років до виснаження запасів	Скільки лишилось	Скільки років до виснаження запасів
Нафта	1 446 812 778 283 барелів	42	395 000 000 барелів	4
Газ	1 083 643 857 478 б.н.е.***	57	7 242 857 б.н.е.	32
Вугілля	1 139 471 030 000 тонн	128	37 891 206 250 тонн	633

Примітки: *при підтримці сучасного темпу споживання; **при поточному рівні видобутку; ***б.н.е. – барель у нафтовому еквіваленті; сформовано автором на основі [83; 201; 212]

При подальшому збільшенні частки населення світу й, відповідно, потреби забезпеченості електроенергією людства, з'являється нагальна потреба у заміщенні традиційних джерел енергії, пошуку альтернативних джерел, а також нових механізмів державного регулювання та стимулювання розвитку ВДЕ.

У світі на початку 2022 р. частка електроенергії з ВДЕ склала майже 28,3% або 174 ексаджоулів (далі – ЕДж) ($1 \text{ ЕДж} = 10^{18} \text{ Дж}$) світового енергобалансу та продовжує збільшуватися активними темпами [102; 117]. У разі збереження поточної динаміки до 2050 р. ВДЕ зможуть виробляти 50% енергії на планеті [175].

Відновлювані та невідновлювані джерела енергії використовуються як основні джерела енергії для виробництва електроенергії, яка в свою чергу важлива для існування людства. Нами було досліджено та обґрунтовано наступні причинно-наслідкові зв'язки, які показують необхідність повного переходу на ВДЕ:

1.1.1. Кліматичні зміни.

Традиційні викопні види палива, такі як вугілля, газ і нафта, суттєво впливають на зміну клімату та погіршення стану навколишнього середовища, а CO_2 – газ, який виділяється при спалюванні викопного палива, найбільшою мірою спричиняє глобальне потепління (рис. 1.1). Крім того, викопне паливо, природний газ і нафта є кінцевими ресурсами та не відновлюються.

На початок 2022 р. близько 71,7% або 426 ЕДж світової енергії надходило з викопного палива [130; 139]. Зміна клімату – це, насамперед, проблема надлишку вуглекислого газу в атмосфері. Вуглецеве перевантаження спричинене, головним чином, спаленням викопного палива, такого як вугілля, нафта та газ, вирубуванням та спаленням лісів тощо.

На візуалізації супутникових спостережень (рис. 1.2) з колірним кодуванням показано прогресію зміни температур поверхні Землі з 1884 р. до 2022 року:

- темно-синій колір вказує на області, більш холодні, ніж в середньому вони бувають;

- темно-червоний колір вказує на області тепліші за середній рівень температур.

Мт CO₂-екв на рік

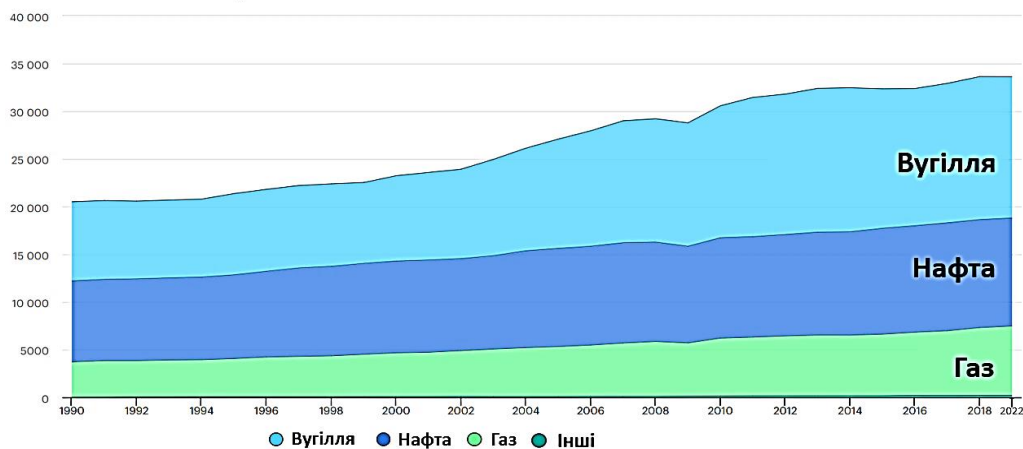


Рис. 1.1. Світові викиди CO₂ за традиційними джерелами енергії (1990-2022 рр.)

Примітка: побудовано автором на основі [130]

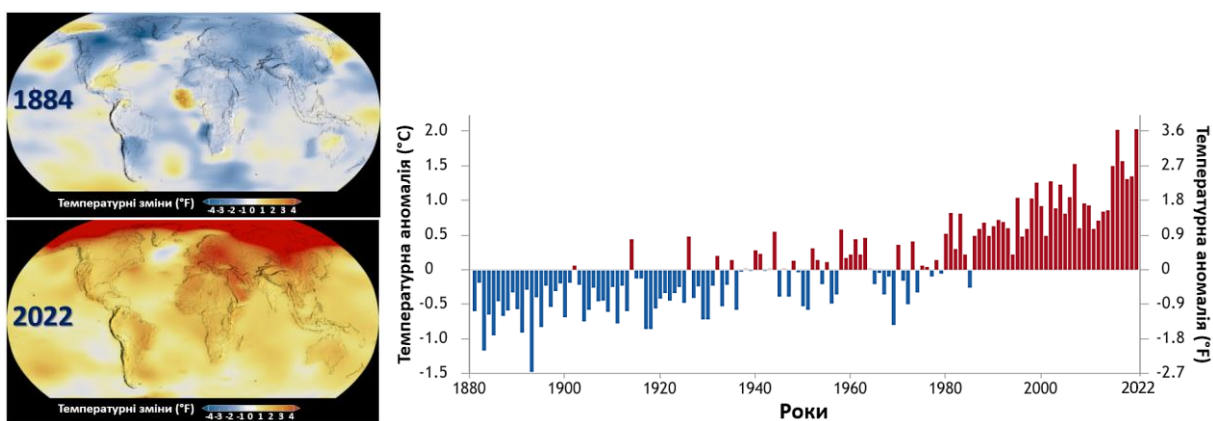


Рис. 1.2. Супутникові спостереження зміни температури в світі

Примітка: сформовано автором на основі [162; 165]

Візуалізації супутникових спостережень на рис. 1.3 показують річний мінімум Арктичного морського льоду з 1979 р. до 2022 року. В кінці кожного літа морський крижаний покрив досягає свого мінімального значення, залишаючи те, що називається «багаторічним крижаним покривом». Площа багаторічного льоду неухильно скорочується з моменту початку супутникової зйомки. На початок 2022 р. наявність Арктичного морського льоду зменшується зі швидкістю 12,85% за десятиліття в порівнянні з середнім показником за 1979-2010 рр. [164]: часткове танення цього крижаного покриву вже сприяє підвищенню рівня моря на 1 метр. Якщо крижаний покрив Гренландії повністю розтане, то рівень моря підніметься на 5-7 метрів [164].

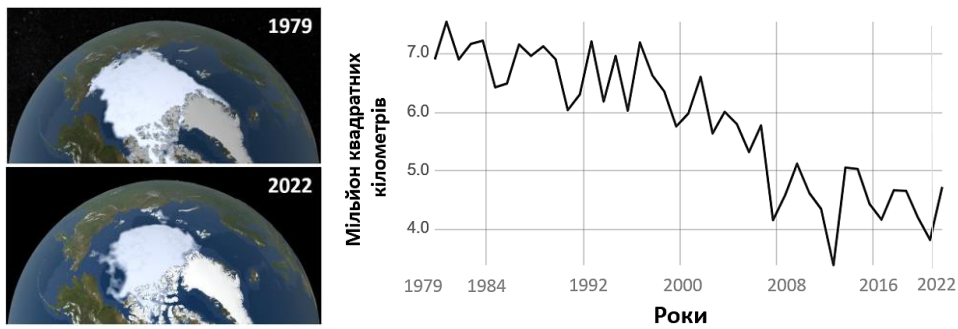


Рис. 1.3. Супутникові спостереження за Арктичним морським льодом
Примітка: сформовано автором на основі [164; 165]

Підвищення рівня моря обумовлено глобальним потеплінням, додаванням води з танучих льодовикових покривів і льодовиків, а також розширенням морської води в міру її нагрівання. Швидкість зміни рівня моря становить 3,3 міліметри на рік. Вчені з «National Geographic Society» встановили [167], що якщо глобальна температура Землі зросте на 4 °С (рис. 1.4), то рівень води у Світовому океані підвищиться майже на 9 метрів, а великі прибережні міста можуть опинитися під водою вже в найближчі 100 років. Такими містами можуть стати Гамбург, Амстердам, Нью-Йорк, Венеція, Лондон, Буенос-Айрес тощо. Якщо температура зросте на 4 °С, постраждає і Україна [110]: її південну частину буде затоплено.



Рис. 1.4. Фотографічні моделі деяких міст після кліматичних змін у найближчі 100 років*

*Примітки: 1 – м. Лондон, Велика Британія; 2 – м. Дурбан, Південно-Африканська Республіка; 3 – м. Ріо-де-Жанейро, Бразилія; 4 – вул. Волл-стріт у м. Нью-Йорк, США; 5 – м. Маямі, США; 6 – м. Одеса, Україна; сформовано автором на основі [110; 167]

Візуалізації на рис. 1.5 показують глобальні зміни концентрації та розподілу вуглекислого газу з 2002 р. до 2022 р. на висоті 1,9-8,0 миль. Жовто-

червоні області вказують на більш високі концентрації вуглекислого газу в середній тропосфері Землі, в той час як синьо-зелені області вказують на більш низькі концентрації, виміряні в частинах на мільйон (мд; англ. – ppm). Загальний колір карти зміщується в бік червоного через щорічне збільшення CO₂.

Описані вище кліматичні зміни відбуваються в результаті діяльності людей, таких як вирубка лісів і спалювання викопного палива, а також в результаті природних процесів, наприклад, виверження вулканів.

Відповідно до результатів XXI Конференції Організації Об'єднаних Націй (далі – ООН) з питань клімату, що відбулася у грудні 2015 р. в Парижі, 197 країн світу підписали Паризьку кліматичну угоду та визначили відновлювану енергетику головним інструментом зі скорочення викидів парникових газів в атмосферу з метою мінімізації наслідків зміни клімату на планеті (2/3 електроенергії у світі має вироблятися із ВДЕ до 2050 року) [209]. На відміну від Кіотського протоколу [207], який діяв 1999-2020 рр. щодо збереження навколишнього середовища та боротьби з кліматичними змінами, Паризька угода передбачає, що зобов'язання зі скорочення шкідливих викидів в атмосферу беруть на себе всі держави, незалежно від ступеня їхнього економічного розвитку.

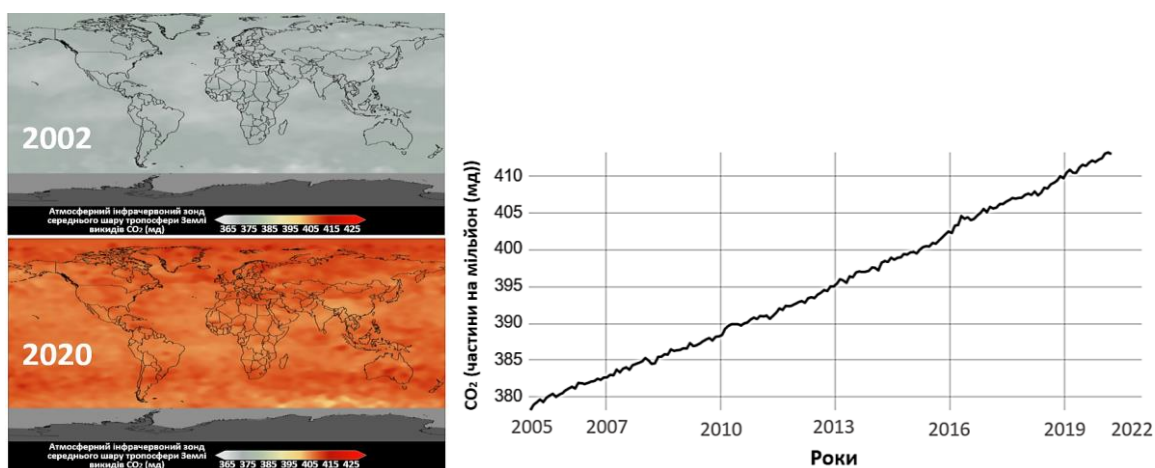


Рис. 1.5. Супутникові спостереження за рівнем вуглекислого газу в світі
Примітка: мд (ppm) – одиниця виміру концентрації та інших умовних величин, яка є однією мільйонною часткою (1 ppm = 0,0001 %); сформовано автором на основі [164; 165]

Відповідно до звіту [138] Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (далі – IRENA), відновлювана енергетика може скоротити викиди

CO₂, пов'язані з енергетичним сектором, приблизно на 70% (рис. 1.6). ВДЕ, електрифікація та енергоефективність можуть забезпечити скорочення викидів на 90%, що необхідно для досягнення цілей Паризької угоди, декарбонізації, а також підвищити світовий валовий внутрішній продукт (далі – ВВП) на 2,5-5% за рахунок збільшення заходів щодо зниження викидів (наприклад, у країнах ЄС до 2050 р. планують повністю відмовитися від викопного палива) [135]. Одним з елементів для досягнення цієї мети є перехід на виробництво електроенергії з ВДЕ, які забезпечать енергетичну безпеку, конкуренцію бізнесу, суспільний добробут і чисте довкілля.

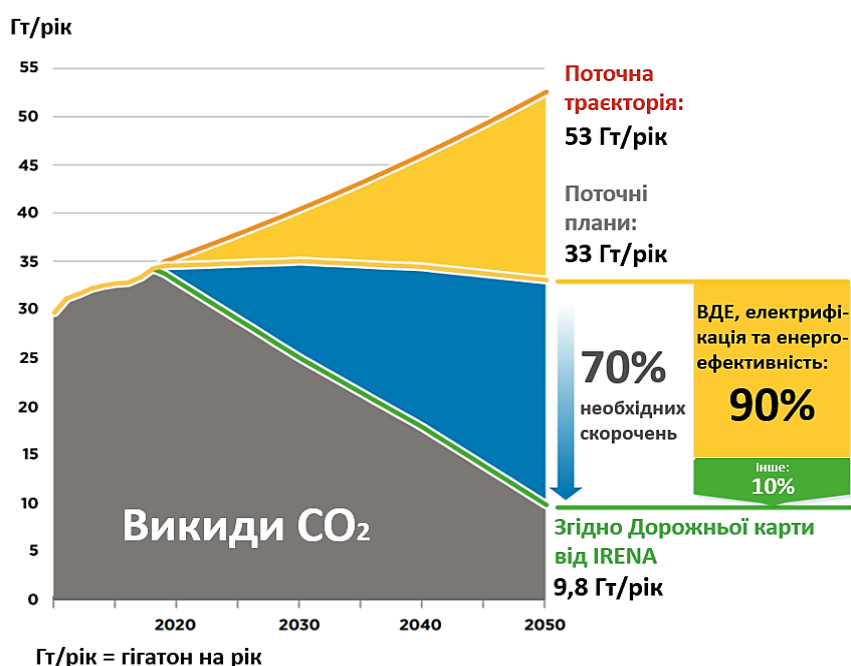


Рис. 1.6. Зниження викидів CO₂ у світі за рахунок альтернативної енергетики
Примітка: систематизовано автором на основі [132; 135]

Україна, підписавши Паризьку кліматичну угоду, взяла на себе зобов'язання до 2050 р. скоротити викиди CO₂ на 60% порівняно з рівнем 1990 роком. Однак станом на початок 2022 р. викиди вже й так знизилися на 64% [88] через економічний колапс внаслідок розпаду СРСР, закриття промисловості в Україні та за рахунок тимчасово окупованих військами РФ територій України.

Однією з Цілей Сталого Розвитку [64] є відновлювана енергетика, зокрема доступ до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії (ціль №7) та вживання заходів щодо зменшення кліматичних змін (ціль №13). ВДЕ є найбільш практичним інструментом дій для подолання (ліквідації) проблеми

зміни клімату. Отже, для боротьби з світовими викидами CO₂ та збереження навколишнього середовища необхідно розвивати альтернативну енергетику.

1.1.2. Соціально-економічні фактори.

За даними Світового банку (далі – СБ), природні катаклізми (цунамі, землетруси, повені тощо) щорічно на 26 млн осіб збільшують кількість бідного населення у світі. Внаслідок глобального потепління вже у 2030 р. щонайменше 100 млн осіб можуть опинитися за межею бідності (рис. 1.7). При цьому стихійні лиха, у зв'язку з кліматичними змінами, завдають глобальній економіці збитків розміром у понад 0,5 трильйонів доларів США [199].

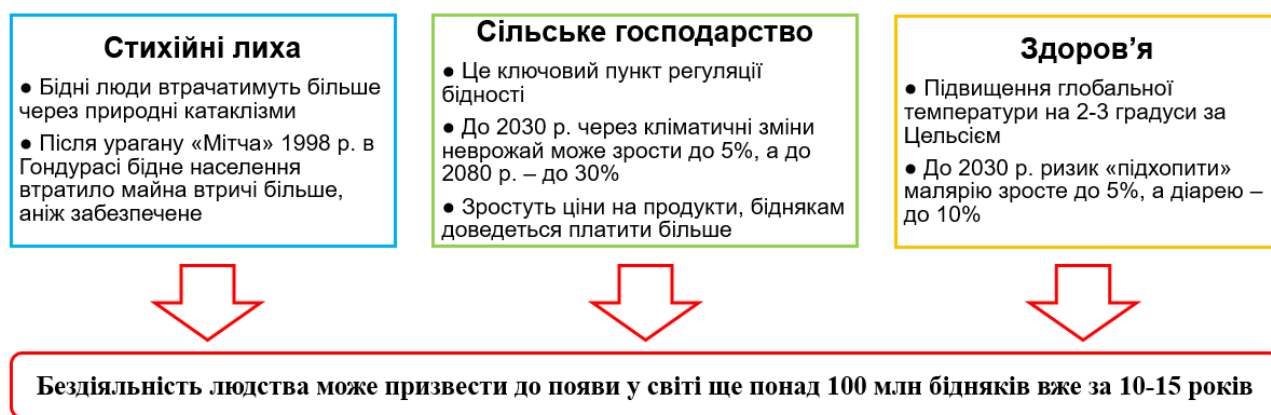


Рис. 1.7. Основні показники бідності населення у світі
Примітка: побудовано автором на основі [199]

Наукове дослідження СБ «Ending Poverty, Investing in Opportunity» [200] на основі аналізу 117 країн світу показує, що кліматичні зміни коштували людству близько 520 млрд дол. США у 2018 р., що на 60% більше, ніж було зазначено у звіті СБ за 2017 рік. Згідно з підрахунками СБ кожного року ця сума зростає. Кліматичні зміни у формі глобального потепління також призводять до поширення хвороб і шкодять врожаю. Нажаль, населення вже потерпає від його наслідків, а саме від засух та повеней, адже саме найбідніші верстви населення є залежними від сільського господарства.

Для вирішення зазначених вище проблем, спричинених кліматичними змінами, міжнародні організації мають підвищити рівень соціального захисту, створюючи додаткові робочі місця шляхом впровадження та управлінням використанням ВДЕ, що надасть можливості для працевлаштування у секторі

«зеленої» енергетики в різних сферах, включаючи виробництво, розробку проектів, будівництво і установку ВДЕ, їх експлуатацію та обслуговування, транспортування і логістику, а також фінансові, юридичні та консультаційні послуги при реалізації проектів.

На кінець 2020 р. в секторі ВДЕ працевлаштовано 12 млн осіб [132; 175], причому все більше країн щорічно виробляють, продають і встановлюють технології використання альтернативної енергії. Сектор відновлюваної енергетики забезпечує всі основні складові сталого розвитку: екологічні, економічні та соціальні. Поряд зі зниженням витрат і вдосконаленням технологій виробництва електроенергії, перехід на ВДЕ створює численні можливості для працевлаштування у світі та є ключовим чинником при плануванні економічного зростання з низьким рівнем викидів вуглецю.

1.1.3. Вартість виробництва електроенергії.

ВДЕ стали найдешевшим джерелом виробництва електроенергії для регіонів і ринків у світі [134; 198]. Зниження вартості технологій основі відновлюваних джерел зробило їх конкурентоспроможною складовою для декарбонізації енергії. На сьогоднішній день проекти в галузях ВДЕ диверсифікують виробництво електроенергії на викопному паливі. Світові держави ставлять все більш амбітні цілі по використанню чистого, стійкого та конкурентоспроможного за вартістю енергетичного потенціалу (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Нормована вартість електроенергії від генерації різного типу (2021 р.)

Тип генерації (електростанції)	Нормована вартість електроенергії* (дол. США / МВт·год)
Сонячні	30 - 41
Вітрові	26 - 50
Атомні	131 - 204
Вугільні	65 - 152
Газові	45 - 74

**Примітки: LCOE (нормована вартість електроенергії) – середня розрахункова собівартість виробництва електроенергії протягом усього життєвого циклу електростанції (включаючи всі можливі інвестиції, витрати, доходи) (далі – LCOE); сформовано автором на основі [42]*

Сучасна енергетична система в значній мірі субсидується, проте неефективні субсидії на викопне паливо становлять більшу частину. Наприклад,

вугільні електростанції, які працюють в Україні, мають багатомільярдні державні субсидії і продовжують підтримуватись фінансуванням, хоча є застарілими та з продовженими понаднормовими термінами експлуатації. В Україні у 2021 р. 4 млрд грн склали субсидії на технології, які працюють на викопному паливі [27].

Більшість електростанцій, які працюють на вугіллі, та вугільні шахти, несучасні й надзвичайно неефективні. Наприклад, в Україні на початок 2022 р. були неприбутковими 29 державних шахт з 33 [51]. Згідно з даними спеціалістів компанії «Фонд імені Гайнріха Бьоля» [88], в Україні за період 2015-2018 рр. обсяг субсидій, які були виділені на державні вугільні шахти, становив 1 160 млн євро.

За період 2016-2021 рр. Україна витратила понад 35 млрд дол. США на імпорт енергоресурсів [44]: нафти, газу, нафтопродуктів (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Імпорт енергоресурсів за період 2016-2021 рр. в Україні

Примітка: сформовано автором на основі [44]

Виробництво електроенергії в Україні є залежним від роботи атомних та вугільних електростанцій. Загалом у 2020 р. на субсидування галузі викопного палива було витрачено близько 5,9 трильйонів дол. США, у тому числі через прямі субсидії, податкові пільги та шкоду здоров'ю і навколишньому середовищу, яка не враховується у вартості викопного палива. Для порівняння, у світі до 2030 р. у ВДЕ необхідно інвестувати близько 4 трильйонів дол. США на рік, включаючи інвестиції в технології та інфраструктуру, щоб було досягнуто нульового рівня чистих викидів до 2050 року [132]. ВДЕ, енергоефективність і більш гнучкі енергосистеми можуть скоротити загальні щорічні субсидії на

11 млрд євро [44]. Дані перетворення дозволять зменшити кліматичні зміни, зміцнити економіку та поліпшити суспільний добробут.

Головним важелем розвитку відновлюваної енергетики відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» є впровадження у 2008 р. «зеленого» тарифу [37; 39], за яким до 2030 р. закуповується електрична енергія, вироблена з ВДЕ. Місцеві органи влади можуть отримувати вигоду від використання альтернативної енергетики найчастіше у вигляді податків на майно і податку на прибуток, а також інших платежів від власників проектів в галузі ВДЕ. Фермери та сільськогосподарські землевласники можуть створювати нові джерела додаткового доходу, виробляючи сировину для енергетичних об'єктів, що працюють на біомасі, або продавати вироблену електроенергію з ВДЕ по «зеленому» тарифу для держави.

1.1.4. COVID-19.

Пандемія COVID-19 (далі – коронавірус) [48] створила безпрецедентну надзвичайну ситуацію у всьому світі, зосередивши уряди країн на захисті здоров'я, безпеки та благополуччя своїх громадян. Вплив коронавірусу на світову економіку та пов'язане з цим падіння цін на нафту на початку 2020 р. [129] слугують нагадуванням про те, яким чином непередбачені чинники можуть порушити як реальні тенденції, так і заплановані процеси. Ці події підтверджують важливість тісних взаємозв'язків між енергетичним сектором і економікою. Пандемія, безсумнівно, вплинула на передачу енергії, вводячи нові обмеження у логістичних сферах багатьох секторів економіки. У відповідності до проведеного дослідження вченими з декількох університетів (Гарвардський, США; Орхуський, Данія; Сієнський, Італія) [45], ризик смертності від коронавірусу підвищується з високим рівнем забруднення повітря. У місцях, де забруднене повітря (підвищений рівень діоксиду азоту), а повітрообіг є помірним (слабким), було зафіксовано набагато більше смертей від COVID-19.

В Україні найбільшого забруднення повітря створюють саме вугільні електростанції [181]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (далі – ВООЗ), у 2021 р. в Україні був вищий рівень смертності від забруднення повітря

на душу населення ніж в країнах ЄС. Від забруднення повітря в Україні щороку помирає 2 600 осіб [11; 21; 22]. В ЄС від викидів українських вугільних електростанцій (далі – ТЕС) та теплових електростанцій (далі – ТЕЦ) зазнають найбільшої шкоди Румунія та Польща, які у відповідності до даних ГО «Екодія» [21] у 2019 р. втратили 534 та 325 життів відповідно через забруднення повітря.

Економіка країн світу втрачає мільярди доларів США через захворювання та смертність, які пов'язані з забрудненням повітря. За даними ВООЗ, забруднення повітря вбиває близько 7 млн чоловік щорічно. Крім того, більше 90% населення світу проживає в місцях, де забруднення повітря перевищує норми (переважно в бідних країнах).

За даними дослідження компанії «Ember» [113], у 2020-2021 рр. почалось скорочення видобутку вугілля в ЄС (на 24%) і в США (на 16%). У зв'язку з коронавірусом з 2020 р. світовий видобуток викопного вугілля зменшився на 3%, а виробництво електроенергії за допомогою ВДЕ збільшилося на 15%, внаслідок чого на 2% скоротилася кількість викидів CO₂.

Додатковим стимулом для розвитку ВДЕ стане стрімке подорожчання традиційних (викопних) енергоресурсів, яке з великою імовірністю відбувається у 2023-2024 рр. через стрибок попиту на газ під час пандемії COVID-19 за одночасного падіння видобутку вуглеводнів у 2020-2022 рр. у зв'язку з глобальним скороченням інвестицій. Таким чином, рішення у сфері управління регіональним енергозабезпечення на основі відновлюваних джерел є сьогодні однією із найперспективніших ринкових ніш для країн світу.

1.1.5. Російське вторгнення в Україну.

Через географічні особливості більшість об'єктів відновлюваної енергетики в Україні зосереджені у південних і південно-східних областях України, тобто в регіонах, які тимчасово окуповані, або де ведуться активні бойові дії від лютого 2022 року. На тимчасово окупованих територіях України ВДЕ через пошкодження ліній електропередач і електросистем, а також небезпечні ситуації для персоналу та неможливість доступу до електростанцій, альтернативні джерела практично зупинили свою діяльність. Від початку

російського вторгнення зафіксовані руйнування генеруючих обладнань у зв'язку з обстрілами військових РФ: викрадено сонячні панелі та вивезено на територію РФ, знищено вітротурбіни внаслідок влучання в них снарядів, розібрано окупантами захоплені ВДЕ на металобрухт тощо.

Представниками Міністерства енергетики України зазначено, що оцінку нанесених збитків сектору ВДЕ можна буде виконати лише після повної деокупації територій України [51]. При цьому, в областях із активними бойовими діями розташовано майже 90% вітроелектростанцій, 37% наземних і 35% дахових/фасадних сонячних електростанцій та майже половина (48%) станцій на біомасі, які пошкоджені, знижені, або викрадені окупантами.

На початку 2022 р. у світі найбільшим експортером природного газу була РФ, яка також була другою країною за величиною постачання нафти та третьою по експорту вугілля. До початку війни в Україні практично половина російської нафти та три чверті газу постачалися до країн Європи. У 2020 р. російські газ, нафта та вугілля покривали чверть споживання енергії у цих країнах. Від початку російського вторгнення на територію України, інші країни масово відмовляються від отримання російських енергоресурсів (газу, нафти та вугілля), оголошуючи заміщення енергоресурсів іншими видами, наприклад, відновлюваними джерелами енергії, імпортом скрапленого природного газу з США.

У документі «REpowerEU» [117] ЄС від травня 2022 р. зафіксовані рішення про відмову від російських енергоносіїв у якомога коротший строк. Також у шостому пакеті санкцій, ухваленому ЄС на початку червня 2022 р., прийнято рішення про заборону імпорту російської нафти, окрім трубопроводної, з 5 грудня 2022 р., а також нафтопродуктів з 5 лютого 2023 року [57]. На нашу думку, у 2023 р. прогнозується дефіцит газу у країнах Європи та запровадження обмежень на його використання.

У післявоєнний період грамотне управління та розвиток сектору ВДЕ стануть ключовими факторами сталого відновлення енергетики в Україні. Окрім відбудови пошкоджених об'єктів ВДЕ, необхідно запровадити та збільшити

повноцінний експорт електроенергії до країн ЄС (на початку 2022 р. Україна приєдналася до об'єднаної енергосистеми континентальної Європи «ENTSO-E» на рік раніше запланованого [57]). Ринкові конкурентні відносини на прозорих засадах слугуватимуть додатковими стимулами для розвитку сектору ВДЕ та пришвидшать наближення України до вуглецевої нейтральності.

Перехід на ВДЕ та забезпечення енергоефективності підвищують енергетичну незалежність держав, знижують витрати на електроенергію, стимулюють економічний розвиток та сприяють створенню нових робочих місць, децентралізації та демонополізації за рахунок надання бізнес-можливостей компаніям, громадам і громадянам. Впровадження альтернативних джерел енергії сприятиме забезпеченню електроенергією людства, чисельність якого невпинно зростає, а також цей крок є необхідним у зв'язку з закінченням світових запасів викопних ресурсів.

1.2. Принципи роботи альтернативних джерел енергії

Електроенергія може генеруватися змінним струмом (далі – АС) або постійним струмом (далі – DC) [108]. Змінний струм коливається між позитивною і негативною напругою, при цьому електрони рухаються назад і вперед всередині ланцюга напруги. Постійний струм управляється в одному напрямку постійним рівнем напруги.

Різні технології виробництва електроенергії (далі – ТВЕ) використовують обертові турбіни для виробництва електроенергії, що призводить до змінного струму. Проте, деякі технології, такі як вітрові та сонячні фотоелектричні станції, генерують постійний струм, який може бути перетворено в змінний струм за допомогою пристрою під назвою інвертор [153; 188]. На рис. 1.9 наведено сформовані нами три категорії ТВЕ.

Ключові характеристики ТВЕ включають інтенсивність їх викидів, капітальні та експлуатаційні витрати, можливість виробляти електроенергію в певний період часу у відповідності до кліматичних умов їх розміщення, коефіцієнт використання встановленої потужності, який може бути

максимальним протягом певного періоду часу, а також їх гнучкість, що дозволяє збільшувати і зменшувати вихідну потужність в різних часових масштабах (від секунд до годин). В табл. 1.4 наведено чинникові характеристики, які важливі при розгляді управління та функціонування ТВЕ.

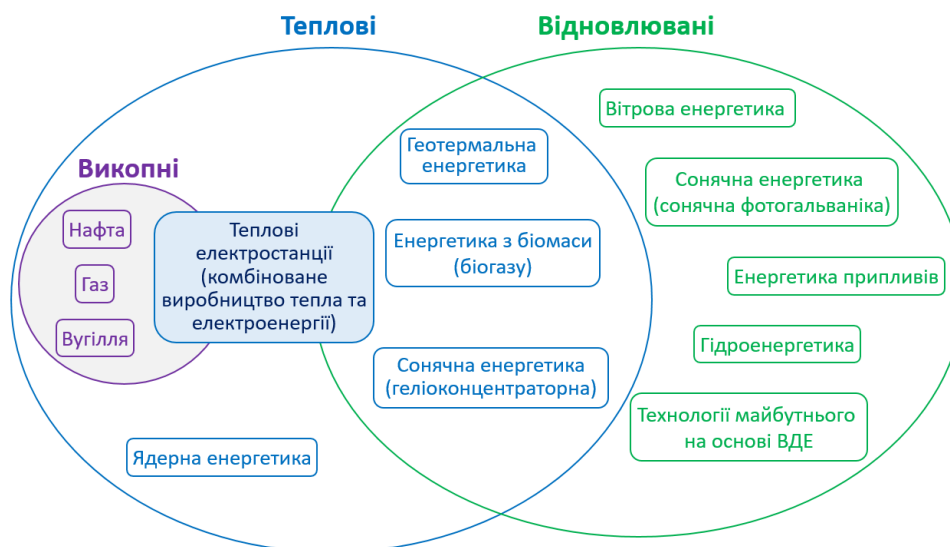


Рис. 1.9. Категорії ТВЕ

Примітка: розроблено автором на основі [125; 148; 163; 187]

Таблиця 1.4

Чинникові характеристики функціонування ТВЕ

Чинникові характеристики	Пояснення
Інтенсивність викидів	Міра CO ₂ (та інших викидів забруднюючих речовин), що викидаються в атмосферу для кожної одиниці виробленої електроенергії, зазвичай вимірюється в гCO ₂ /кВт·год стосовно викидів CO ₂ (гCO ₂ /кВт·год – це інтенсивність викидів CO ₂ нової встановленої потужності виробництва електроенергії)
Капітальні витрати	Вартість будівництва і підготовка установки до експлуатації
Експлуатаційні витрати	Витрати на виробництво одиниці електроенергії, які враховують будь-які витрати на паливо, витрати на робочу силу, воду та інші комунальні послуги, а також інші ресурси, необхідні для підтримки роботи станції
Нормована вартість електроенергії	Міра середньої вартості електроенергії, виробленої станцією протягом терміну її служби, з урахуванням як капітальних, так і експлуатаційних витрат
Коефіцієнт надійності	Період часу, протягом якого станція може виробляти електроенергію, враховуючи такі чинники, як надійність, час простою для технічного обслуговування. Більшість станцій мають коефіцієнти надійності понад 80%, а багато ВДЕ, які не потребують технічного обслуговування, такі як вітрові та сонячні електростанції, мають показники близькі до 100%
Коефіцієнт використання встановленої потужності (далі – КВВП)	Відношення фактичного річного виробництва генеруючого пристрою до максимально можливого (в одному році 8760 годин). Незважаючи на наявність високих коефіцієнтів готовності у ВДЕ, вони залежні від погодних умов та мають відносно низькі КВВП через мінливу швидкість вітру, сонячну інсоляцію тощо
Стартова швидкість	Швидкість, з якою об'єкт може бути приведений до дії (роботи), виробництва енергії. Може варіюватися від декількох секунд до годин в залежності від технології установки

Примітка: узагальнено автором на основі [73; 101; 102; 105; 153]

Нами було проаналізовано та розвинено принципи роботи альтернативних джерел енергії:

1.2.1. Гідроенергетика (гідроелектростанції).

Гідроелектростанції використовують кінетичну енергію проточної води (річок, озер), щоб обертати турбіни, тим самим виробляючи електроенергію. Відповідно до міжнародних та національних класифікацій за використанням водних ресурсів і концентрації напорів існує декілька типів ГЕС [23; 131]: пригреблеві, гідроакумулюючі, руслові та дериваційні.

Пригреблеві ГЕС – високонапірні станції, в яких система ГЕС розміщена за греблею, в її нижній частині. Вода до турбін станції подається через спеціальні напірні лотки чи тунелі, а не безпосередньо, як в руслових. Висота греблі в даному випадку значно більша, ніж у руслових ГЕС, інколи це може бути й дві греблі. Обмежувальним чинником висоти греблі й водночас потужності таких ГЕС є площа затоплення та підтоплення навколишніх земель (рис. 1.10). Пригреблеві ГЕС можуть забезпечити безперервне виробництво електроенергії навіть під час невеликої кількості опадів. Однак під час сильної посухи рівень водосховища може знизитися до такого ступеня, коли електроенергію буде неможливо виробляти.

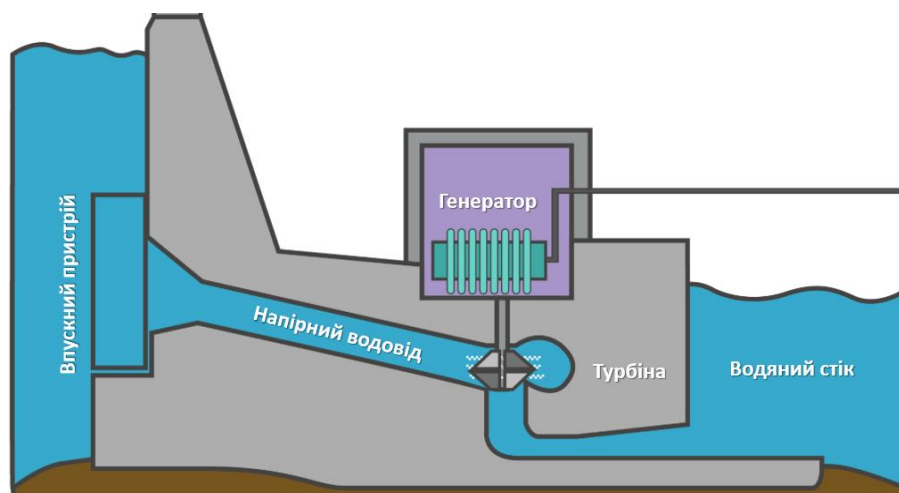


Рис. 1.10. Приклад пригреблевої ГЕС

Примітка: побудовано автором

Руслові ГЕС – це зазвичай низьконапірні станції, де напір води створюється побудованою греблею, яка повністю перегороджує річку і піднімає

рівень води на потрібну величину. Система такої ГЕС входить до складу греблі і безпосередньо приймає напір води. Інколи це єдина споруда, що здатна пропускати воду, оскільки в греблі не передбачено інші спеціальні водоспускні отвори чи шлюзи. Такі гідрооб'єкти будують на повноводних рівнинних і гірських річках, де є вузьке русло з високими берегами. Руслові ГЕС більш мінливі в роботі, ніж греблеві ГЕС, оскільки вони залежать від стоку річки, яке може варіюватися в залежності від рівня опадів (рис. 1.11).

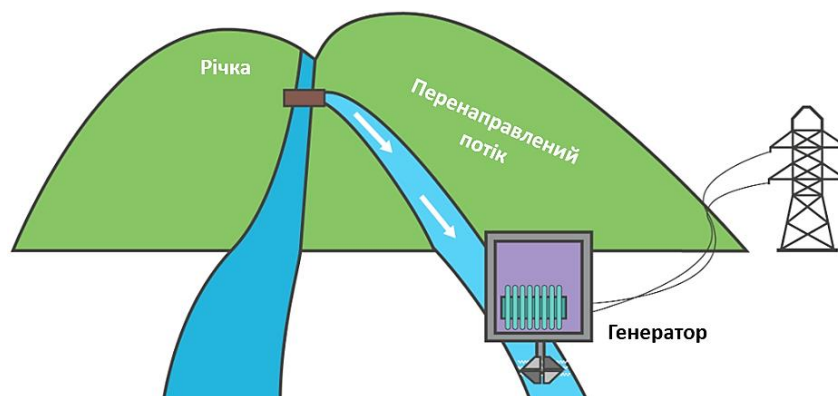


Рис. 1.11. Приклад руслової та дериваційної ГЕС
Примітка: побудовано автором

Дериваційна ГЕС – станції, напір води для яких створюється за рахунок напірної чи безнапірної деривації. Під деривацією у гідротехніці розуміють сукупність гідротехнічних споруд, що відводять воду з річки, водосховища або іншої водойми і підводять її до відповідних гідротехнічних споруд. Розрізняють такі типи дериваційних споруд – безнапірні (канал, тунель, лоток) і напірні (трубопровід, напірний тунель). Напірний тип застосовується в тому разі, якщо в наявності істотні (більше кількох метрів) сезонні або тимчасові коливання рівня води в місці її забору. Воду трубою, каналом чи лотком відводять з русла на певну відстань до споруди ГЕС, яка розміщена нижче за течією. Такі станції доцільно будувати у тих місцях, де великий похил річки. У випадку напірної деривації водовід прокладається під великим похилом або ж будується гребля, яка створює водосховище – змішана деривація, бо використовуються два способи створення необхідної концентрації води.

Проте, використання ГЕС має свої недоліки:

- призводить до зміни потоку води та дефіциту води в деяких місцях;

- завдає шкоди екології річок: призводить до зникнення унікальних видів риби та більшості водних організмів;

- викликає зміни гідроморфологічних режимів (витрата води в річках) та витрати родючих ґрунтів;

- призводить до переселення мільйонів людей з затоплених територій та сприяє зміні клімату через парникові гази.

ГЕС залежно від потужності поділяють на такі види: потужні – мають потужності від 25 МВт і вище; середні – від 10 МВт до 25 МВт; малі – до 10 МВт [22]. Комітетом ООН із промислового розвитку [208] розроблено категорію малих гідроелектростанцій (далі – МГЕС), до якої відносяться гідроелектростанції потужністю від 1 МВт до 10 МВт, міні-ГЕС – від 200 кВт до 1 000 кВт, а також мікро-ГЕС із потужністю не більше 200 кВт.

Сучасні турбіни МГЕС, виготовлені відповідно до стандартів захисту навколишнього середовища, насичують воду киснем, що сприяє збереженню фауни, запобігають утворенню паводків, не допускають забруднення водою завдяки фільтрам. МГЕС працюють в автоматичному режимі, дотримуючись санітарних мінімумів, та припиняють роботу при зниженні рівня води, не забираючи її у річок. Для риби на всіх МГЕС передбачені рибоходи, технологічно правильне та якісне спорудження, які є невід'ємними умовами функціонування нових МГЕС. Крім того, власник такої гідроелектростанції зобов'язується протягом п'яти років щорічно зарибнювати річку, що позитивно впливає на екосистему.

Гідроенергетика належить до відновлюваних джерел енергії, оскільки кругообіг води постійно оновлюється. Однак лише МГЕС не несуть шкоди довкіллю, стаючи додатковим джерелом електропостачання, стимулом для розвитку регіонів у межах встановлення генеруючих потужностей і надають додаткові можливості для ведення рибного господарства, зрошення, водопостачання.

1.2.2. Енергетика припливів.

Припливні електроенергетичні установки (далі – ПЕУ) використовують щоденний підйом і падіння океанської або морської води через припливи; такі джерела дуже передбачувані, і, якщо умови дозволяють будівництво водосховищ, вони можуть використовуватись для виробництва електроенергії в періоди високого попиту [140]. Окремо виділяють два основних способи використання енергії припливів: використання технологій приливних хвиль та технологій приливних течій або потоків.

Технології ПЕУ використовують загородження або греблю для отримання енергії від різниці в висоті, створюваної припливом в установленому місці. У міру зміни припливу вода буде затримуватися всередині греблі та може випускатися контрольованим чином для повороту турбін. Утворена кінетична енергія перетворюється в електроенергію змінного струму за допомогою генератора (рис. 1.12). Такі ВДЕ найбільш підходять для використання в місцях з великим приливним діапазоном. Турбіни ПЕУ розміщені в каналах з приливними потоками та обертаються з рухом припливу всередину і назовні. Рух турбіни водою обертає вісь, генеруючи потужність змінного струму. ПЕУ через регулярність приливних течій досить передбачувані при виробництві електроенергії з високим рівнем КВВП.

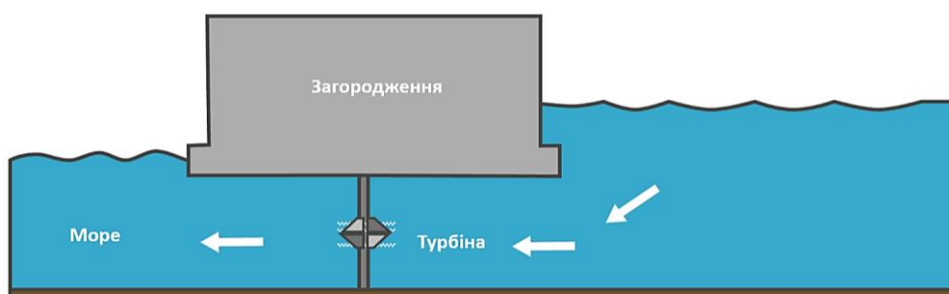


Рис. 1.12. Приклад ПЕУ
Примітка: побудовано автором

Світовий потенціал ПЕУ оцінюється в 80 ГВт, що еквівалентно 80 великим вугільним електростанціям [104; 129]. Для України промислове використання цієї ТВЕ є проблематичним через часткове замерзання Азовського і Чорного морів, що суттєво обмежує доцільність використання енергії хвиль та вкрай низький припливний потенціал (припливна хвиля у Чорному морі не перевищує

10 сантиметрів, у той час як економічно прийнятна висота становить декілька метрів).

1.2.3. Сонячна енергетика (сонячні електростанції; далі – СЕС).

Сонячні фотогальванічні установки (далі – СФУ) перетворюють енергію сонячного світла в електроенергію. Ключові особливості СФУ такі:

- сонячний фотоелектричний модуль являє собою сонячний елемент, укладений в герметичний матеріал;

- СФУ виготовлені з напівпровідникового матеріалу, такого як кремній. Фотони в сонячному світлі несуть енергію, яка поглинається атомами або молекулами в напівпровідниковому матеріалі, звільняючи електрони, які потім направляються в зовнішнє електричне коло як постійний струм;

- потужність постійного струму спрямовується на пристрої, які називаються інверторами. Вони перетворюють енергію постійного струму в змінний струм для використання в електромережі (як електроенергії). Конвертори ж навпаки – перетворюють змінний струм (AC) у постійний (DC).

Сонячна фотогальванічна енергія залежить від сонячного світла і тому матиме коефіцієнт потужності, який залежить від кількості сонячного світла / денного світла в даній місцевості (рис. 1.13). Залежно від місця розташування і фотоелектричної технології СФУ зазвичай мають КВВП від 15 до 25% [22].

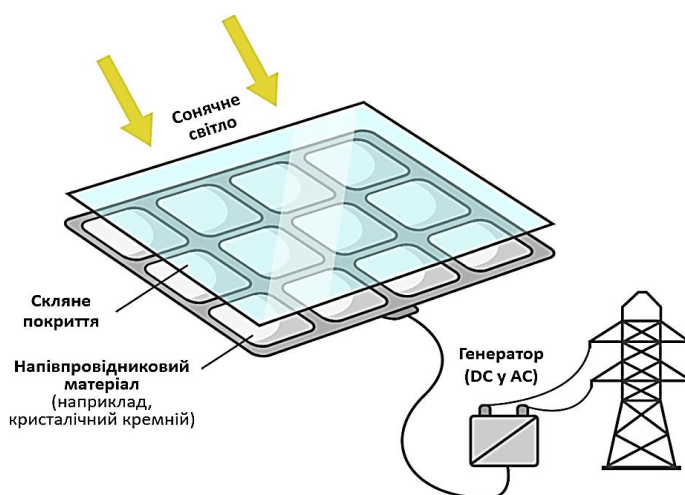


Рис. 1.13. Приклад СФУ

Примітка: побудовано автором

Геліоконцентраторні сонячні установки (далі – ГСУ) – це сонячні електростанції, які працюють за допомогою пристрою для концентрації

променевої енергії Сонця (геліоконцентратора), що підвищує у 100-10000 разів густину енергії сонячного випромінювання [133]. ГСУ працюють з використанням геліоконцентраторів, що являють собою одне або декілька дзеркал чи лінз, які збирають (фокусують) сонячні промені в одному місці для нагріву рідини, яка може бути використана для виробництва електроенергії (рис. 1.14). При отриманні сонячного випромінювання на вежу установки від геліоконцентратора (на вершині вежі в центрі установки) інтенсивне тепло від відображень з геліоконцентратора можна використовувати для нагріву води, яка перетворюється на пару та в подальшому – в циклі пари для виробництва електроенергії.

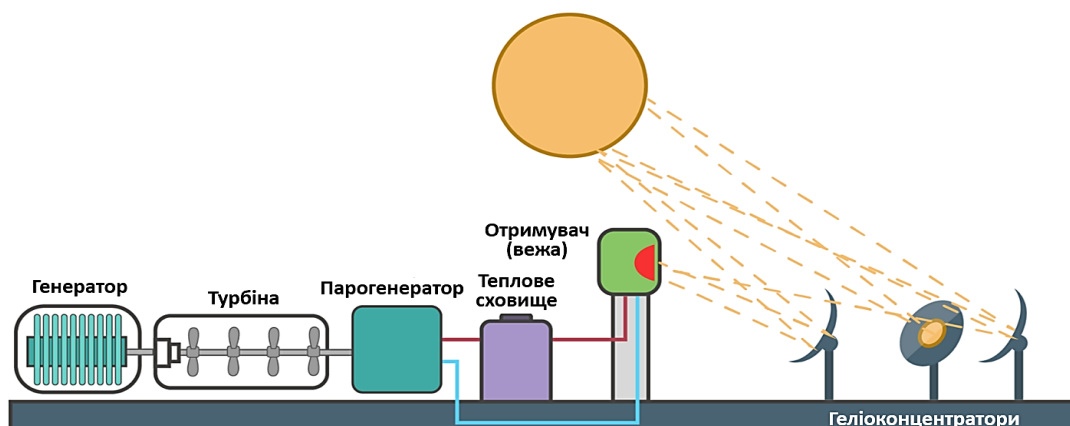


Рис. 1.14. Приклад ГСУ
Примітка: побудовано автором

ГСУ мають КВВП від 29 до 44% [133]. Якщо немає елемента накопичення тепла, коефіцієнт потужності буде залежати від кількості годин сонячного світла в даному місці. Зазвичай ГСУ розташовані в місцях з високою інсоляцією, наприклад, в пустелях.

1.2.4. Вітрова енергетика (вітроенергетичні установки; далі – ВЕС).

Вітрові турбіни бувають різних розмірів і конструкцій, а виробники установок кожного року впроваджують нові моделі більш потужні за попередні версії. Працюючи ВЕС перетворюють кінетичну енергію вітру в електричну енергію та мають такі ключові особливості [71]:

- ротор із лопатями турбіни використовує кінетичну енергію вітру для обертів;

- рух турбіни обертає вісь, яка з'єднується з редуктором;
- редуктор контролює швидкість турбін, щоб збільшувати її для виробництва електроенергії;
- редуктор підключається до генератора, який не відрізняється від того, що можна знайти на інших електростанціях: магніти обертаються навколо витків дроту, генеруючи змінний струм. Однак цей струм не має правильної частоти для подачі в електричну мережу, тому спочатку перетворюється в постійний струм, а потім подається в інвертор для генерації змінного струму правильної частоти для підключення до мережі;
- турбіна буде генерувати найбільшу потужність, якщо буде повернута до вітру;
- обмеження шумового впливу ВЕС досягається їх віддаленістю від населених пунктів (від 300 м) [132; 174];
- сучасні турбіни здатні обертатися у напрямку вітру, максимізуючи продуктивність. Також лопаті турбіни можуть бути нахилені для регулювання потужності.

На сучасному етапі найбільшого розповсюдження отримали трилопатеві ВЕС з горизонтальною віссю обертання, як більш стійкі до вібрацій (рис. 1.15). Разом з тим вони потребують встановлення складної системи відслідковування вітру, а потужність їх напряму залежить від діаметра ротора, збільшення якого безмежно неможливе за умов механічної міцності. Ротори з вертикальною віссю обертання мають значно простішу конструкцію і не потребують систем орієнтації на вітер (рис. 1.16) [71]. Швидкість вітру варіюється в залежності від різних чинників, таких як клімат, географія і місцева топографія. Як правило, швидкість вітру вище та більш стійка на великих висотах. Отже, чим вище встановлено редуктор із лопатями ВЕС, тим вище КВВП. Однак, як і в разі сонячної фотогальваніки, вітер залежить від погоди, через що потужність ВЕС може змінюватися в будь-який час.

Все частіше вітряні турбіни встановлюють у відкритому морі, океанах і прибережних зонах, де швидкість вітру є більшою. Такі ВЕС називаються

офшорними вітроенергетичними установками. Вони можуть бути більші за своїми розмірами та відповідно більших потужностей, оскільки знаходяться далеко від населених пунктів і можуть мати значно більш високі КВВП, ніж наземні ВЕС. Додаткова інфраструктура, яка необхідна для функціонування установки та підключення до мережі на великих відстанях, все ще робить офшорні ВЕС, з точки зору їхнього LCOE, більш дорогою технологією, ніж наземні вітряні турбіни.

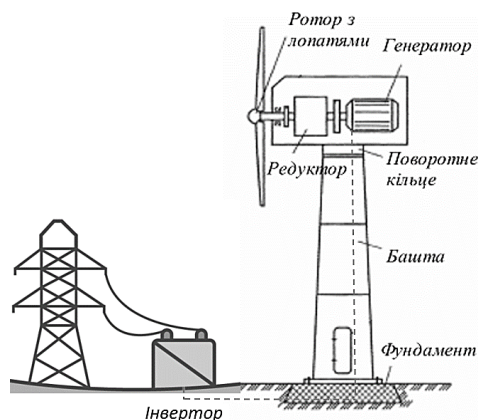


Рис. 1.15. ВЕС з горизонтальною віссю обертання

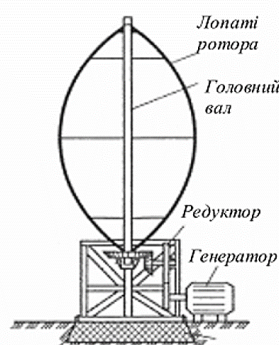


Рис. 1.16. ВЕС з вертикальною віссю обертання

Примітка: побудовано автором

Одним із «міфів» галузі вітроенергетики є те, що вітрові турбіни доволі шумні, а тому небезпечні для здоров'я людей. У Фінляндії на замовлення уряду було проведено масштабне дослідження впливу інфразвуку (звукових хвиль, що мають частоту нижче тієї, яка сприймається людським вухом) на здоров'я [174]. У відповідності до цього дослідження впливу інфразвуку вітрових турбін на здоров'я людини виявлено не було.

1.2.5. Геотермальна енергетика (геотермальні електростанції; далі – ГТЕС).

ГТЕС використовують тепло від ядра Землі, яке постійно виробляється в ньому і може використовуватися на різних глибинах. Оскільки це тепло є невичерпним, геотермальна енергія є відновлюваним ресурсом (рис. 1.17).

Існує чимало способів використання тепла для виробництва електроенергії: через подачу гарячої пари безпосередньо з підземних

свердловин, або використання тепла від гарячої води для випаровування іншої рідини тощо. Пара, що утворюється або рідина, яка випаровується, використовуються для обертання турбіни та виробництва електроенергії змінного струму. Геотермальна енергія може слугувати безперервним джерелом електроенергії, завдяки постійній присутності тепла в ГТЕС і використання його в міру необхідності.

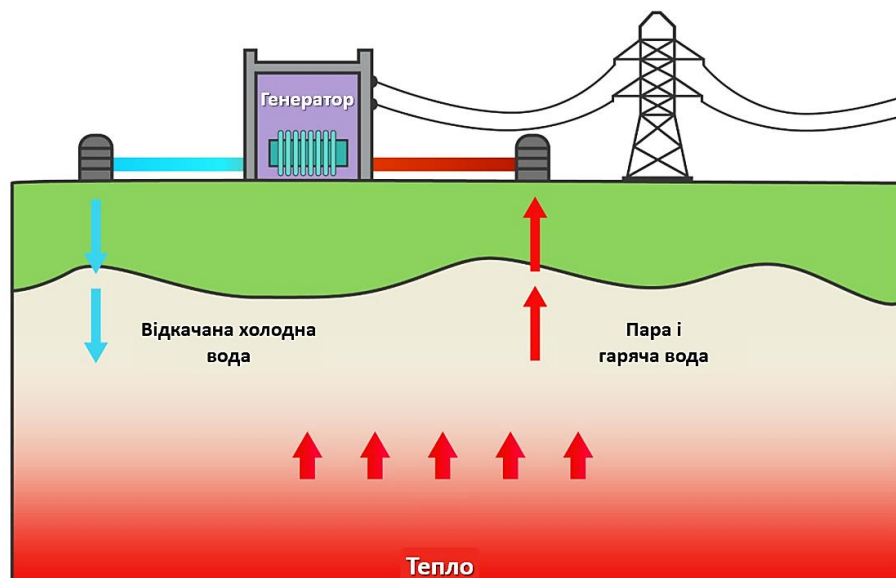


Рис. 1.17. Приклад ГТЕС
Примітка: побудовано автором

1.2.6. Біоенергетика.

Матеріали, включаючи деревину та сільськогосподарські відходи, відходи тваринного та людського походження, можуть використовуватися для виробництва електроенергії різними способами, наприклад, електростанціями на біомасі (далі – БМЕС). Найбільш простий і часто використовуваний метод полягає в спалюванні біомаси для створення тепла та обертання турбіни в паровому циклі (рис. 1.18).

У вигляді альтернативи біомаса може бути використана для створення газу. Газифікація за низького рівня кисню створює горючий газ, який можна спалювати, що дозволяє виділяти більше енергії з біомаси. Після охолодження і очищення газ можна використовувати в газовому двигуні. Також біомаса, така як сільськогосподарські і тваринні відходи, може створювати газ в процесі, який називається анаеробним зброджуванням (розкладання органічних речовин у

герметичних резервуарах) [79]. Бактерії розщеплюють відходи в середовищі з нульовим вмістом кисню, виділяючи газ, який можна спалювати для виробництва електроенергії.

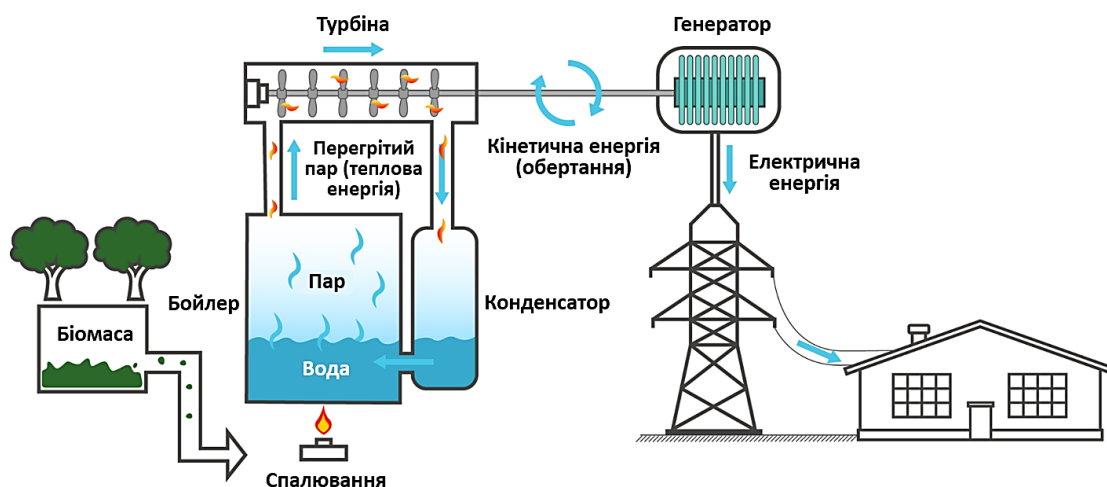


Рис. 1.18. Приклад електростанції на біомасі
Примітка: побудовано автором

Газ, отриманий з біомаси, що може використовуватись як паливо, називається біогазом. Установки, які використовують біогаз для виробництва електроенергії за принципом БМЕС називаються біогазовими електростанціями (далі – БГЕС). Крім того біомаса, така як суха деревина, може спалюватися з вугіллям. Цей процес, відомий як спільне спалювання, використовує звичайну теплову електростанцію та суміш палива, що призводить до більш низьких викидів комбінації вугільної станції та установки на біомасі, ніж якби спалювалось лише одне вугілля.

1.2.7. Технології майбутнього на основі ВДЕ.

На нашу думку до основних технології майбутнього на основі ВДЕ слід відносити такі інноваційні технології, як грозова енергетика, воднева енергетика, кріоенергетика, вулканічна енергетика та сонячна енергія з космосу.

Грозова енергетика, суть якої полягає в «захопленні» блискавки для подальшого перетворення в електроенергію. У цьому ж полягає і складність, оскільки не так вже й просто «захопити» та перенаправити розряд. Для цього необхідно використовувати потужне та дороге обладнання, до того ж тільки в «обраних» частинах світу грози трапляються часто. Одним із найбільш

«врожайних» місць планети за кількістю гроз вважається Венесуела: в деяких частинах країни небо спалахує яскравим світлом майже 300 разів на рік. Як правило, кожна блискавка несе близько 500 мегаджоулів енергії, що дорівнює 38 літрам бензину. Цього достатньо для забезпечення електроенергією середнього за розмірами будинку протягом тижня або щоб закип'ятити близько 1 500 чайників води [206].

Згідно з дослідженнями американських учених, один розряд блискавки може жити все місто Санта-Фе у США близько хвилини. Однак, щоб здійснити це, необхідно вирішити проблему з захопленням блискавки як джерела електроенергії, точніше, з її потраплянням у необхідні приймачі енергії. Навіть якби люди змогли спрямувати блискавку вдарити саме там, де необхідно, залишилась би проблема інтенсивності та тривалості удару. Блискавка наймовірно потужна та швидка: кожен її удар – це близько 50 000 ампер струму в батарею всього за мікросекунди. На сьогоднішній день не існує батареї, яка може витримати таку енергію.

Воднева енергетика – це енергетика, яка базується на використанні водню як засобу для акумулювання, транспортування та споживання енергії населенням, транспортом і різними виробничими об'єктами. Водень може бути використаний як паливо для будь-яких транспортних засобів (у тому числі легкових автомобілів і катерів) й задоволення енергетичних потреб будинків. Водню в чистому вигляді у природі майже немає, тож його потрібно виробляти в процесі електролізу води або іншим способом. Загальний обсяг інвестицій у водень (подальші дослідження та розвиток) в Європі до 2050 р. може скласти від 180 до 470 млрд євро для задоволення світових потреб в енергоресурсах [132].

Кріоенергетика використовується для накопичення надлишкової енергії шляхом зрідження повітря в холодильних установках. Кріогенна енергетична установка акумулює енергію від ВДЕ чи непікової генерації, скраплюючи повітря. Коли рідке повітря нагрівається, воно розширюється і може приводити в дію турбіну для виробництва електроенергії. Одна з найбільших у світі установок для зберігання «холодної» енергії була введена в експлуатацію у

2016 р. під Манчестером у Сполученому Королівстві Великої Британії та Північної Ірландії (далі – Велика Британія). Ця електростанція потужністю 5 МВт може обслуговувати до п'яти тисяч будинків протягом трьох годин. Компанія «Highview Power», яка розробила установку, вважає, що закладена в ній технологія має великий потенціал для довгострокового використання як відновлюване джерело енергії [206].

Серед технологій майбутнього на основі ВДЕ чинне місце посідає вулканічна енергетика, оскільки вулканічні ресурси Землі величезні та невичерпні, поки існує земне ядро. Навіть сплячий вулкан може забезпечити електроенергією десятки тисяч будинків – вода, яка закачується туди, перетворюється на пар, який пройшовши через турбіну є джерелом електроенергії. Геологічна служба США стверджує, що 50% необхідної країні електричної енергії, може бути видобуто з вулканів [206]. Також поруч з вулканами геологи виявляють джерела води максимально високих температур, яка може бути використана як джерело енергії.

На сьогодні здійснюються дослідження і розробки використання сонячної енергії з космосу. Так, до 2025 р. китайські вчені планують запуснути в стратосферу перші станції для збору сонячної енергії, а в 2030 р. – станцію з потужністю 1 МВт і до 2050 р. потужністю 1 ГВт [46]. Станції мають бути розміщені на висоті 36 000 км над Землею, де незалежно від часу доби, метеорологічних умов і атмосферного впливу планети вони зможуть ефективно та постійно проводити збір сонячної енергії для подальшої її передачі на наземні станції за допомогою мікрохвиль або лазерів.

У відповідності до принципів роботи основних технологій виробництва електроенергії нами було сформовано порівняння їх економічних і технічних характеристик (табл. 1.5). Розвиток і пошук нових, альтернативних джерел енергії – це спосіб не тільки заощадити на оплаті електроенергії, яка вироблена традиційним чином (за допомогою невідновлюваних джерел енергії), але й перший крок з охорони нашої планети від забруднення навколишнього середовища та виснаження ресурсів. Хоча ВДЕ мають менші КВВП (з розвитком

і впровадженням інноваційних технологій на основі ВДЕ КВВП в установках збільшується) у порівнянні з ТВЕ на викопному паливі, однак альтернативні джерела енергії не завдають шкоди навколишньому середовищу, мають менші капітальні витрати та вищі коефіцієнти надійності, а також інші техніко-економічні переваги.

Таблиця 1.5

Порівняння економічних і технічних характеристик основних ТВЕ

Тип ТВЕ	Коефіцієнт використання встановленої потужності (%)	Стартова швидкість (годин)	Нормована вартість електроенергії (дол. США/МВт·год)	Капітальні витрати (дол. США/кВт)	Інтенсивність викидів (гСО ₂ /кВт·год)	Коефіцієнт надійності (%)
Вугільні	53 - 85%	1,5 - 3	65 - 152	3 900 - 3 950	933 - 1 048	> 80
Газові	56 - 87%	0,1 - 0,2	45 - 74	3 050	411 - 487	> 80
Нафтові	~ 8%	3	69 - 122	~ 400	530 - 900	> 80
Дизельні	66%	< 0,01	200 - 280	500 - 800	800 - 1 056	89 - 91
Атомні	92%	24	131 - 204	6 070 - 6 200	07 - 25	80 - 90
БМЕС, БГЕС	56%	3	107 - 109	3 940 - 4 100	18 - 59	94 - 97
СЕС	15 - 27%	< 0,5	30 - 41	1 770 - 1 780	-----	97 - 99
ГСУ	44 - 60%	2,5	95 - 167	7 840	-----	95 - 99
ВЕС (наземні)	11 - 48%	< 0,5	26 - 60	1 520 - 1 750	-----	95 - 99
ВЕС (офшорні)	31 - 51%	< 0,5	95 - 268	3 780 - 8 200	-----	95 - 99
МГЕС	60 - 66%	< 0,1	35 - 70	3 960 - 7 410	-----	80 - 90
ПЕУ	~ 25%	< 0,1	230 - 250	3 300 - 3 600	-----	95 - 98
ГТЕС	80-90%	1,5	76 - 237	5 100 - 13 670	-----	92 - 99

Примітка: сформовано автором на основі [115; 130; 162]

Зі збільшенням чисельності населення Землі зростає й потреба грамотному управлінні та якісному постачанні електроенергії для забезпечення будинків, підприємств і регіонів. Інновації та розширення використання ВДЕ – це ключ до підтримки розвитку сталої енергетики та захисту нашої планети від зміни клімату. Основними ТВЕ з ВДЕ є: сонячна, вітрова, гідро- та геотермальна енергетики, енергетика припливів і біоенергетика. В майбутньому очікується поява нових ТВЕ на основі ВДЕ, кількість яких буде зростати, оскільки відбувається збільшення потреб та попиту на електроенергію у світі, а також у зв'язку з неминучим закінченням викопного палива.

1.3. Зарубіжний та вітчизняний досвід управління використанням альтернативних джерел енергії і об'єктивна необхідність формування гібридних систем

Станом на початок 2022 р. в ЄС на виробництво електроенергії з ВДЕ припадало 37% виробництва електроенергії, у порівнянні з 22% у 2012 р. [113]. За даний період частка виробництва електроенергії з викопного палива скоротилась з 49% до 37% (рис. 1.19), в результаті чого викиди вуглецю в енергетичному секторі ЄС зменшились майже на чверть [114; 130]. У той час як попит на електроенергію в ЄС впав на 7% через COVID-19, виробництво електроенергії з відновлюваних джерел зросло на 5% у 2022 р. у порівнянні з 2019 р. [113], в основному за рахунок нових вітрових і сонячних установок.

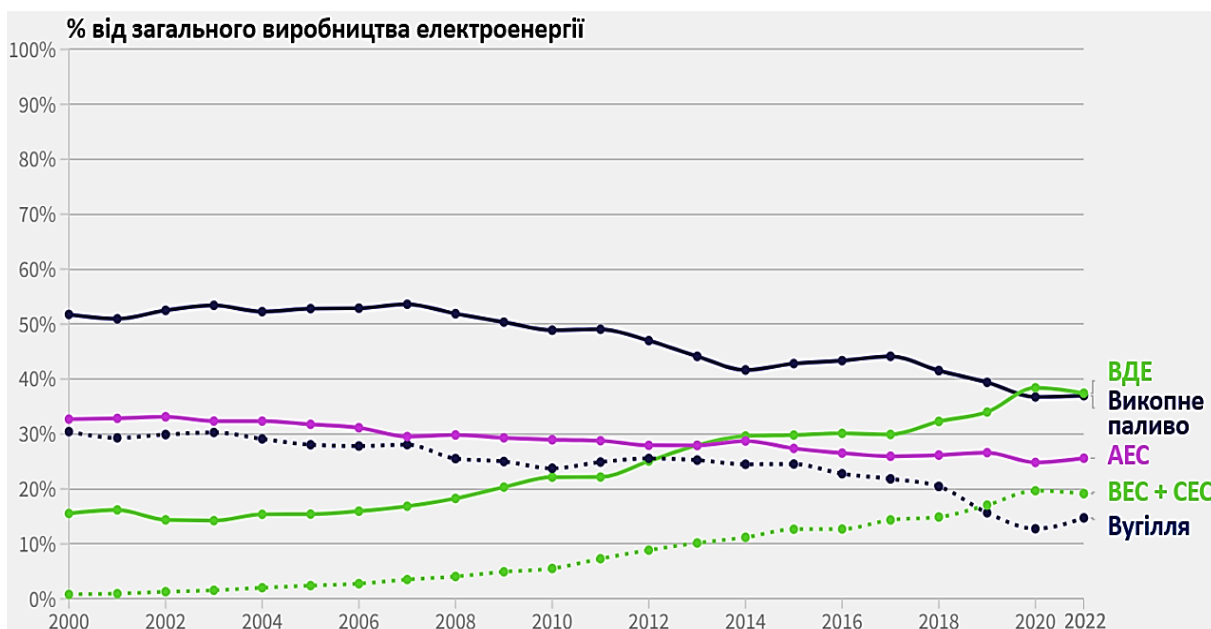


Рис. 1.19. Виробництво електроенергії в ЄС

Примітка: побудовано автором на основі [113]

Починаючи з 2016 р., прослідковується нова тенденція змагань у світі: хто з країн зможе забезпечувати електроенергію з ВДЕ своїх споживачів найдовше. Першою ще у 2016 р. відзначилася Шотландія, коли найвітряннішого серпневого дня ВЕС країни виробили 106% електроенергії, а саме на 6% більше, ніж потрібно було для споживання. У травні 2018 р. Німеччина забезпечувала всю енергосистему своїх територій «зеленою» електроенергією кілька годин [85]. У червні 2017 р. відзначився Китай, коли провінція Цинхай використовувала

виключно енергію води, сонця та вітру: найбільший обсяг у 72% було забезпечено МГЕС, а решту – СЕС і ВЕС. Робота ВДЕ дозволила не спалити близько 500 000 тонн вугілля [85]. На початок 2022 р. у Данії 57% електроенергії було вироблено з використанням вітру та сонця, як основних видів генерації «зеленої» енергії (Данія – країна-лідер у Європі за розвитком ВДЕ), а за період 2021-2022 рр. виробництво електроенергії з викопного палива впало на 5% [113].

На рис. 1.20 наведено аналітичну інформацію щодо частки виробництва електроенергії ВЕС та СЕС від загального виробництва електроенергії у деяких країнах Європи на початок 2022 року.

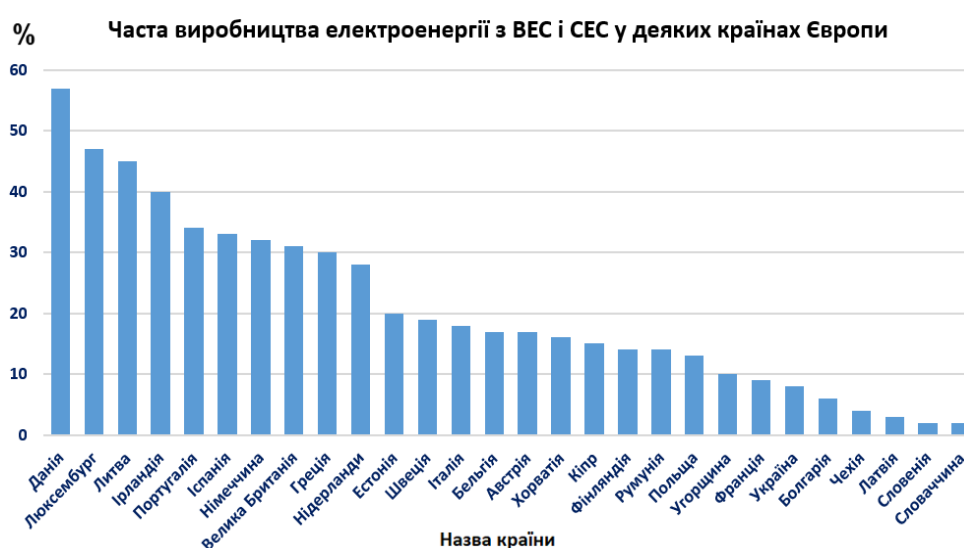


Рис. 1.20. Часта виробництва електроенергії з ВЕС і СЕС у деяких країнах Європи (на початок 2022 р.)

Примітка: побудовано автором на основі [52; 57; 113]

Вже сьогодні глобальне потепління змінює клімат нашої планети, а також в деяких регіонах починають з’являтися стихійні лиха, які раніше не відбувалися. Серед першочергових заходів експерти ООН пропонують до 2050 р. звести до нуля викиди CO₂, що створюють парниковий ефект в атмосфері [33]. Для цього потрібно відмовитися від енергетичних джерел, які працюють на викопному паливі.

На початок 2022 р. частка виробленої електроенергії з ВДЕ у світі склала майже 28,3% (рис. 1.21) [130; 135]. Фахівці у сфері енергетики [33] прогнозують збільшення частки відновлюваних джерел у загальній світовій потужності до 50% вже у 2050 році.

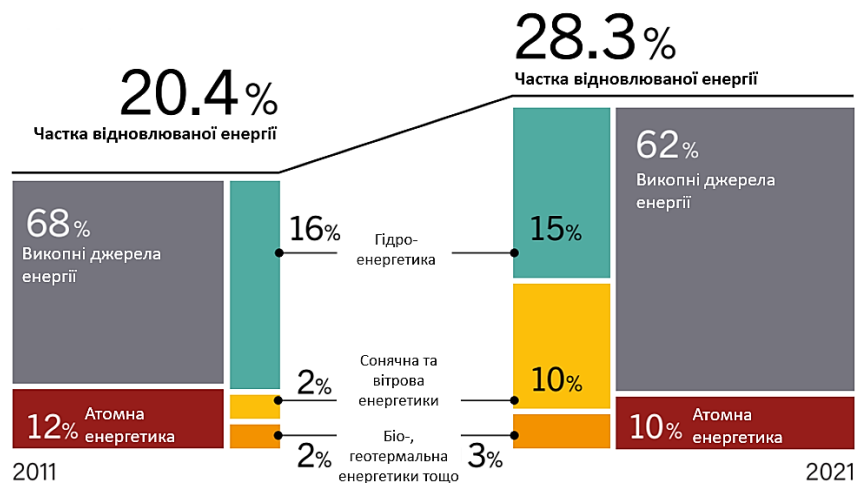


Рис. 1.21. Частка виробленої енергії у світі на початок 2022 р.
Примітка: сформовано автором на основі [114; 130; 175]

ВДЕ продовжують залучати набагато більше інвестицій, ніж вугілля, природний газ або атомні електростанції [175]. На рис. 1.22 можна побачити аналітику світових інвестицій у ВДЕ та традиційні джерела енергії за 2021 рік. Майже 69% світових інвестицій було вкладено в нові ВДЕ і лише 31% припадає на вугільні, газові та атомні електростанції. Інвестори впродовж наступних 30 років інвестують у розвиток ВДЕ близько 13 трильйонів дол. США [133].

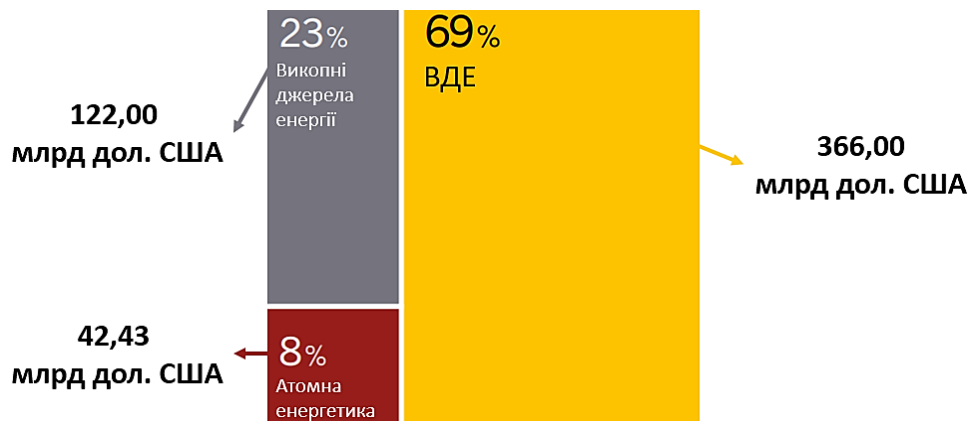


Рис. 1.22. Світові інвестиції в нові енергетичні потужності у 2021 р.
Примітка: сформовано автором на основі [175]

Співпраця на європейському рівні і підтримка держав в інвестуваннях у ВДЕ допомагають переходу на альтернативні джерела. Проте для Європи потрібно більше часу, щоб бути на позиції світового лідера в галузі ВДЕ, наразі відстаючи від Китаю, США, Японії та Бразилії. Розглядаючи країни Європи, потрібно звернути увагу на Бельгію, де в кінці 2018 р. було прийнято нову Стратегію в атомній галузі, згідно з якої передбачено закриття атомних

електростанцій держави у період 2022-2025 рр. [176]. Таким чином, усі ядерні реактори держави будуть виведені з експлуатації до кінця визначеного строку. У вересні 2018 р. президент Франції заявив про намір закрити всі теплоелектростанції в державі [177] виступивши з промовою про виробництво електроенергії лише на основі ВДЕ і атомних електростанцій, тому що найбільше викидів CO₂ виробляють ТЕС та ТЕЦ. В офшорній вітроенергетиці Великої Британії кожен день підключають по одній новій турбіні [128], адже дана галузь стає все більш прогресивною, нарощує масштаби проєктів, які в майбутньому будуть генерувати порівняно дешеву електроенергію.

В Україні однією з ключових цілей «Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» було зафіксовано до 2020 р. ціль в частині виробництва електроенергії з ВДЕ у 11% енергії у кінцевому енергоспоживанні [65], а також згідно з «Енергетичною стратегією України на період до 2035 року» – 25% споживання енергії з ВДЕ до 2035 року [66]. Це планувалося досягти передусім завдяки використанню ВЕС та СЕС, які за прогнозом мали б 2,3 ГВт потужностей у 2020 р., а загальний обсяг установлених потужностей ВДЕ – 5,7 ГВт. В Україні на початок 2020 р. частка з ВДЕ становила 3,6%, а це 6,8 ГВт потужностей та з 2015 р. залучено близько 4,9 млрд євро інвестицій. В цілому, за 2019 р. в Україні було вироблено 153 967,1 млн кВт·год, що на 3,4% менше, ніж у 2018 році. Оскільки структура виробництва електроенергії у 2020 р. від загальної кількості мала наступний вигляд: АЕС – 53,9%, ТЕС та ТЕЦ – 37,3%, ГЕС – 5,1%, ВДЕ – 3,6% [51], можна констатувати, що цілі «Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» не були досягнуті.

У 2021 р. в Україні було вироблено 156 576 млн кВт·год електроенергії (без урахування тимчасово-окупованої Автономної Республіки Крим, Донецької та Луганської областей) [52; 57]: АЕС – 55%; ТЕС та ТЕЦ – 30,3%; ГЕС – 6,7%; ВДЕ – 8%. У січні 2022 р. представниками Держенергоефективності представлено проєкт розпорядження Кабінету Міністрів України «Про Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030

року», згідно з яким до 2030 р. частка виробленої енергії з ВДЕ в Україні має зрости до 27% [57]. За роки Незалежності України середня вартість електроенергії для українських споживачів зросла у 11 разів і, за прогнозами фахівців компанії «IB Centre» [128], до 2030 р. зросте на 10-15%. Між іншим, на початок 2022 р. середньозважена ціна на електроенергію для промислових споживачів була нижчою, ніж у країнах Східної Європи: зокрема, для української промисловості становила 82 євро за МВт/год, в той час як на ринку Польщі – 103 євро за МВт/год, Румунії – 192 євро за МВт/год, Словаччини – 151 євро за МВт/год, Угорщині – 197 євро за МВт/год. Отже, необхідно впроваджувати додаткові потужності на основі ВДЕ для балансування ціни на ринку та локального забезпечення необхідних об'єктів (міст, регіонів, об'єднаних територіальних громад (далі – ОТГ) тощо).

За даними Державної податкової служби України сума сплачених податків виробниками електроенергії з ВДЕ у 2019 р. становила 19,77 млрд грн [26], яка майже з кожним роком збільшується у зв'язку з розвитком ВДЕ. У період 2009-2019 рр. до бюджету України було перераховано 93,62 млрд грн, що робить сектор ВДЕ одним з найбільших за обсягами податкових відрахувань (рис. 1.23).

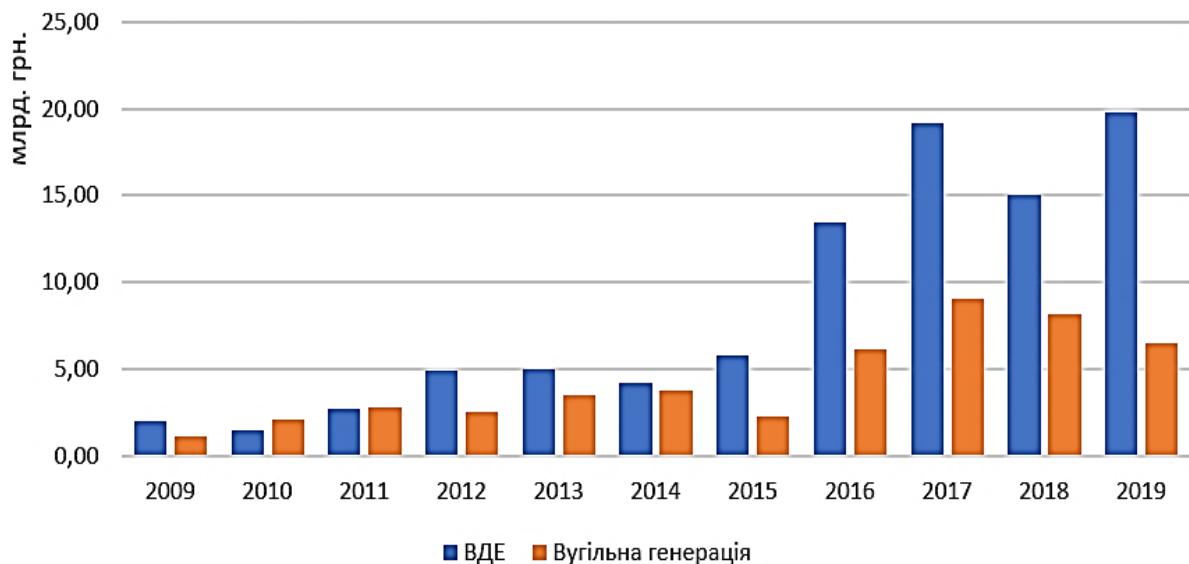


Рис. 1.23. Податкові надходження від виробників з ВДЕ і вугільної генерації
Примітка: побудовано автором на основі [26]

Для порівняння, вугільна генерація (ТВЕ на вугіллі) у 2018 р. забезпечила у три рази менше відрахувань до держбюджету, аніж альтернативна енергетика.

Сума податкових надходжень від ТЕС та ТЕЦ становила 6,55 млрд грн у 2019 році. Всього ж за 10 років вугільна генерація принесла до держбюджету майже вдвічі менше коштів, аніж ВДЕ – 48,24 млрд грн [26].

Відповідно до даних Міністерства енергетики України [51] за 2021 р., в Україні найвищі тарифи на електроенергію з альтернативних джерел (в середньому 4,0-15,5 грн кВт·год) та найнижчі в АЕС (в середньому 0,5 грн кВт·год). Високі «зелені» тарифи для продажу електроенергії з ВДЕ у порівнянні з традиційними джерелами, тиск і корупційні схеми влади з втручанням в роботу енергетичного сектору призвели до того, що станом на кінець I півріччя 2020 р. державою було заборговано виробникам електроенергії з альтернативних джерел близько 20 млрд грн за «зеленим» тарифом [24]. Після заяв представників «зеленого» бізнесу про звернення до міжнародних арбітражних судів щодо невиконання гарантованих державою коштів за «зеленими» тарифами, було прийнято компромісне рішення між представниками провідних енергетичних компаній і Верховною Радою України – ухвалено Закон щодо реструктуризації «зелених» тарифів [38], яким закріплюються державні гарантії повної сплати боргу перед виробникам електроенергії з ВДЕ (40% до кінця 2020 р. та 60% до 2021 р.), а також зменшення «зеленого» тарифу (табл. 1.6).

Таблиця 1.6

«Зелений» тариф в Україні для СЕС і ВЕС після реструктуризації

Тип	Потужність (кВт)	Євроцентів за кВт·год								
		2015	2016	2017-2019	01.01.2020-31.07.2020	01.08.2020-31.12.2020	2021	2022	2023-2024	2025-2030
ВЕС	< 2 000	6,28	6,28	6,28	5,88	5,88	5,78	5,67	5,57	5,15
	> 2 000	9,41	9,41	9,41	8,82	8,82	8,82	8,82	8,82	7,72
СЕС	< 1 000	15,27	14,39	13,52	10,97	10,97	10,61	10,24	9,87	9,50
	> 1 000	14,42	13,60	12,77	10,97	4,50	4,35	4,20	4,05	3,90

Примітка: побудовано автором на основі [38]

Також згідно з Законом [38] вводяться обмеження строків впровадження в експлуатацію нових СЕС для отримання «зеленого» тарифу шляхом зменшення з 01.08.2020 р. розмірів «зеленого» тарифу для таких об'єктів ще на 50%. Тобто, за нашими прогнозами, реструктуризація «зелених» тарифів в Україні (СЕС і ВЕС, як основних ВДЕ) призведе до зменшення податкових надходжень до

бюджету країни в розмірі 250-300 млн євро щороку й до подальшого вкладання коштів у субсидіювання традиційних (невідновлюваних) джерел енергії.

Відповідно до тенденцій розвитку альтернативної енергетики в світі та в порівнянні з розвитком енергетичного сектору України можна зробити висновки про непослідовність управління та розвитку ВДЕ в Україні, адже держава не виконує своїх закріплених у законах зобов'язань, що створює передумови для розвитку регіональних і локальних ВДЕ без підключення до мережі й продажу по «зеленому» тарифу через спекулятивні дії на ринку енергетики, а також через втрати електроенергії у зв'язку зі застарілими лініями передач (електромережі) в країні. Створення локальних, гібридних систем на основі ВДЕ може стати поштовхом до розвитку економіки України та стабільного управління енергозабезпечення населення.

У будь-якій країні світу розвиток енергетичного сектору є чинником, який значною мірою визначає вектор економічного розвитку [170; 171; 172]. На сьогодні в світовій енергетиці відбуваються суттєві зрушення, які обумовлено зміною суспільної думки щодо основних життєвих пріоритетів суспільства, тобто зростання рівня суспільних вимог до навколишнього середовища та сталого розвитку. Внаслідок цього відбувається суттєве реформування світової енергетики на користь альтернативних джерел, які не погіршують стан довкілля.

Як відомо, основу енергетичного сектору економіки України складають теплова, атомна та гідроенергетика. Аналіз діяльності кожної з розглянутих галузей енергетики підтвердив їх негативний вплив на довкілля [181].

Теплоенергетика характеризується стабільним забрудненням усіх складових зовнішнього довкілля: повітря, ґрунтів та водоймів. Під час використання теплових електростанцій у повітря викидається велика кількість шкідливих елементів [27]. Всі ТЕС і ТЕЦ України перевищили свій 40-річний проектний термін експлуатації, тобто вони потребують невідкладного оновлення обладнання (табл. 1.7).

Так, з діючих 14 теплових електростанцій 1 має термін експлуатації, що перевищує 40 років, а у абсолютної більшості термін експлуатації перевищує 50

років, тоді як плановий термін експлуатації основних елементів установки (котлів і турбін) не перевищує 40 років [72]. Крім того, ТЕС на вугіллі є найбільш потужними емітентами глобальних викидів парникових газів (рис. 1.24).

Таблиця 1.7

Перелік і рівень зносу обладнання українських теплових електростанцій

Назва	Потужність, МВт	Термін введення в експлуатацію, рік	Рівень зносу обладнання, років	Проектний термін експлуатації, років
Бурштинська	2300	1965	>50	40 років для котлів і турбін (згідно міждержавного стандарту 533-2000, п. 4.39)
Вуглегірська	2800	1972	>50	
Добротворська	600	1959	>60	
Запорізька	3600	1972	>50	
Зміївська	2150	1960	>60	
Зуївська	1245	1980	>40	
Криворізька	2820	1965	>50	
Курахівська	1460	1937	>80	
Ладижинська	1800	1970	>50	
Луганська	1325	1956	>60	
Придніпровська	1740	1959	>60	
Слов'янська	800	1971	>50	
Старобешівська	2000	1961	>60	
Трипільська	1800	1969	>50	

Примітка: сформовано автором на основі [181]

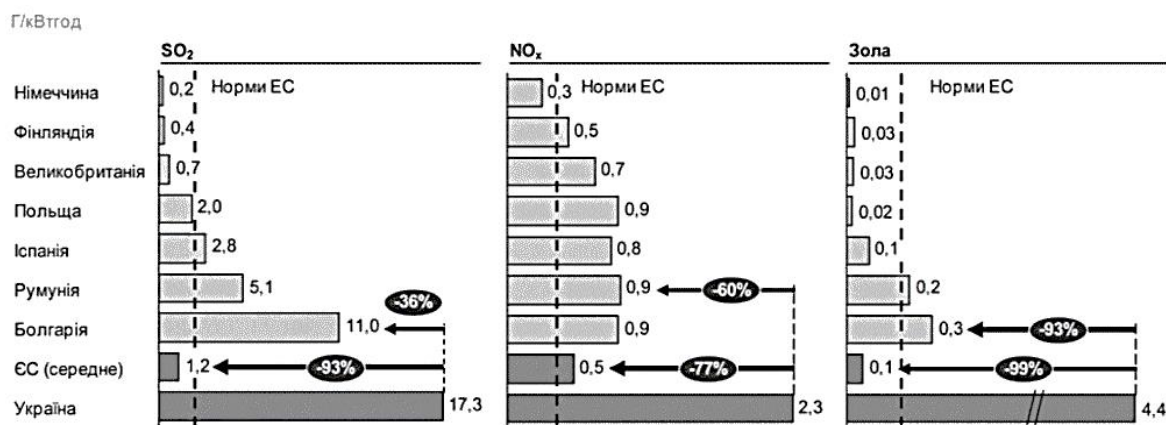


Рис. 1.24. Викиди забруднюючих речовин тепловими електростанціями в Україні та деяких країнах Європи (г/кВт·год)

Примітка: побудовано автором на основі [181]

Для України кількість основних викидів від енергетики (CO₂, NO₂, зола) в рази перевищує норми, допустимі в ЄС, і суттєво перевищує найгірші показники за викидами для найбільш забруднених країн ЄС (Болгарія, Румунія).

У нашій державі діє надзвичайно низький рівень екологічного оподаткування, що дозволяє власникам ТЕС і ТЕЦ отримувати надприбутки за

рахунок погіршення стану зовнішнього середовища. Так, на 1 січня 2022 р. ставка за викиди 1 тонни CO₂ складає лише 30 грн або 0,31 євро [78], тоді як в країнах ЄС вважається, що викид 1 тонни CO₂ завдає шкоди в розмірі 118 євро в Швеції, 23 євро в Данії, 22 євро у Великій Британії, 20 євро в Ірландії [22; 132].

Нещодавно проведені дослідження повторюваності катастроф в ядерній енергетиці свідчать, що найбільші техногенні катастрофи сучасності не рідкісні події та можливі з великою ймовірністю в найближчі 25 років [96; 197]. Перший сигнал щодо зміни ставлення до атомної енергетики подала Німеччина, яка задекларувала повну відмову від атомної енергетики до 2022 року. Аналогічне рішення оголосила й Швейцарія [41]. Скорочують власні програми розвитку атомної енергетики Китай та Франція [158; 181].

З початку використання першої атомної електростанції в 1954 р. кількість працюючих реакторів щорічно зростала. Якщо просумувати кількість діючих реакторів, зваженими за роками їх експлуатації, то отримуємо величину 16 306 [72]. Це еквівалентно тому, що один реактор відпрацював 16 306 років і за цей проміжок часу на ньому відбулося за різними причинами дві техногенні катастрофи з важкими наслідками (Чорнобиль 1996 р., Фукусіма 2011 р.). Звідси можемо оцінити ймовірність масштабної техногенної катастрофи на ядерному реакторі величиною:

$$p = \frac{2}{16306} \approx 0,00012 \quad (1.1)$$

Оскільки кількість працюючих українських реакторів становить 15, то щорічна ймовірність подібної катастрофи для України складає 0,00092 і це вже ймовірність події, яка може реалізуватись, а якщо врахувати, що зі зносом обладнання ймовірність інцидентів зростає, то вона повинна бути в рази більшою.

З табл. 1.8 видно, що вже у 2021 р. 13 з 15 діючих блоків АЕС функціонували в режимі надлімітної експлуатації та продовжують працювати. Кожен рік надлімітної експлуатації АЕС збільшує ризики масштабних катастроф, в тому числі глобального характеру.

Головною особливістю атомної енергетики України виступала залежність від ядерного палива з РФ, оскільки більшість реакторів працюють на основі проектів, розроблених в СРСР. Однак її допомагають усувати міжнародні організації в частині переведення АЕС на інші ядерні палива.

Таблиця 1.8

Перелік українських АЕС та проектні терміни виводу їх з експлуатації

Назва	№ енергоблоку	Потужність, МВт	Дата запуску енергоблоку	Проектний рік виведення з експлуатації
Запорізька	1	1000	10.12.1984	2015
	2	1000	22.07.1985	2016
	3	1000	10.12.1986	2017
	4	1000	18.12.1987	2018
	5	1000	14.08.1989	2020
	6	1000	19.10.1995	2026
Південно Українська	1	1000	31.12.1982	2013
	2	1000	09.01.1985	2015
	3	1000	20.09.1989	2020
Рівненська	1	420	22.12.1980	2010
	2	415	22.12.1981	2011
	3	1000	21.12.1986	2017
	4	1000	16.10.2004	2035
Хмельницька	1	1000	22.12.1987	2018
	2	1000	07.08.2004	2035

Примітка: побудовано автором на основі [57; 181]

Слід зазначити, що лише одна Запорізька АЕС має сховище для зберігання ядерного палива, а з інших трьох АЕС ядерні відходи відправлялись до РФ на тимчасове зберігання, що робило нашу державу ще більш залежною у сфері атомної енергетики від РФ до початку війни у лютому 2022 р. До 2021 р. щорічно, за даними ДП «Енергоатом» (державного оператора цих АЕС), Україна платила РФ 150-200 млн дол. США на рік [25] за зберігання ядерного палива.

Не краща ситуація й у гідроенергетиці (крім МГЕС) – вона включає найвищі питомі витрати землі (використана площа землі для виробництва електроенергії), додаткові втрати на очищення води для споживання мешканців прибережних регіонів, втрати рекреаційного потенціалу дніпровського узбережжя внаслідок цвітіння, руйнування природного ландшафту та затоплення великих площ родючих земель (рис. 1.25).

Питомі витрати землі, км кв./ТВт год/рік

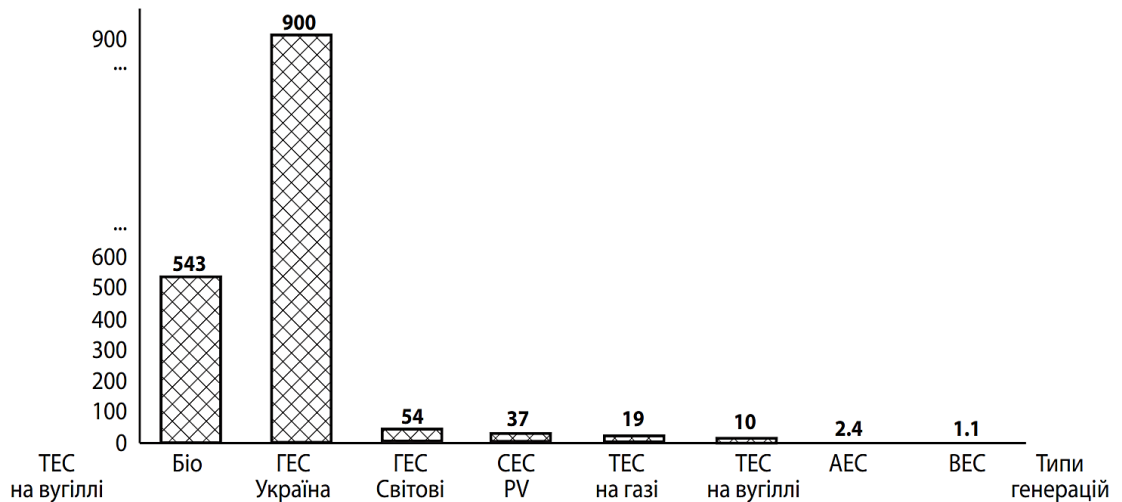


Рис. 1.25. Використана площа для виробництва 1 ТВт·год/рік різними ТВЕ
Примітка: побудовано автором на основі [72]

Однією з важливих умов сталого розвитку є перехід країни до енергозберігаючих та відновлюваних технологій. Відповідно до табл. 1.9, станом на кінець 2021 р. найдорожче коштує електроенергія для населення в Німеччині – понад 31 євроцент/кВт·год, дешевше в Естонії та Італії – 21-22 євроцентів/кВт·год, а тарифи на електроенергію в Україні (1,44 грн за споживання електроенергії до 250 кВт·год за місяць і 1,68 грн – за споживання більше 250 кВт·год за місяць [51]) – одні з найнижчих в Європі [82].

Таблиця 1.9

Тарифи на електроенергію для населення (в євроцентах за кВт·год) у деяких країнах Європи (2021 р.)

Країна	Україна	Угорщина	Чехія	Польща	Італія	Естонія	Німеччина
Тариф	5,00	12,00	14,00	16,00	21,00	22,00	31,00

Примітка: сформовано автором на основі [82]

Якщо подивитися на розмір середньої зарплати в країнах Європи, то картина зовсім інша. У цьому рейтингу Україна має останнє місце. За даними Державної служби статистики України, у 2021 р. українці в середньому заробляли 361,7 євро на місяць [28]. А в країнах з високими тарифами на світло для населення середні зарплати за місяць становили понад 1 000 євро. Зокрема, в Німеччині працівники заробляли в середньому 4 094 євро, в Естонії – 1 538 євро, в Італії – 2 333 євро, в Польщі – 1 063 євро. У той час як українець з

тарифом 5 євроцентів/кВт·год витрачає на світло 1,38% місячної зарплати, громадянин Німеччини з тарифом 31 євроцентів/кВт·год витрачає вдвічі менше – 0,76% [22; 81].

Впровадження інноваційних альтернативних джерел енергії сприяє збільшенню поставок електроенергії на експорт. Однак через часті незаплановані відключення (аварії), втрати в електричних мережах і амортизацію традиційних (невідновлюваних) джерел енергії, частка електроенергії на експорт знижується. Зокрема, у 2021 р. було експортовано 3 495,38 млн кВт·год електроенергії (вартість експортованих обсягів електроенергії склала 256,90 млн. доларів США) [4] до країн Європи: Угорщина, Словаччина, Румунія, Польща, Молдова.

Тобто, в середньому електроенергію продавали по наступній ціні:

$$\frac{256,90}{3495,38} = 0,07 \text{ дол. США за } 1 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (1.2)$$

Якщо ми приймемо долар США в гривнях по курсу 1,00 дол. США = 27,18 грн (по курсу Національного банку України на 1 січня 2022 р.), то отримаємо такий результат:

$$0,07 \times 27,18 = 1,90 \text{ грн за } 1 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (1.3)$$

На кінець 2021 р. тарифи на електроенергію в Україні становили:

- 1,44 грн (за обсяг, спожитий до 250 кВт·год на місяць);
- 1,68 грн (за обсяг, спожитий понад 250 кВт·год на місяць) [77].

Отже, на кінець 2021 р. Україна продавала електроенергію за кордон дорожче (1,90 грн/кВт·год), ніж своєму населенню при споживанні електроенергії на місяць більше 250 кВт·год (1,68 грн/кВт·год).

Розвиток енергетики важливий для української економіки і бізнесу, як з точки зору енергетичної безпеки, так і введення в експлуатацію нових генеруючих потужностей, що забезпечують екологічність, проте будь-які технології мають свої переваги та недоліки. Наприклад, для установки ВДЕ визначається оптимальна відстань до місць проживання населення, яка дозволила б, не заважаючи людям, брати участь в їх нормальній життєдіяльності, а також генерувати достатню кількість «зеленої» енергії (наприклад, в

Німеччині, Нідерландах, Данії та інших країнах ухвалені закони, що обмежують мінімальну відстань ВЕС від житлових будинків від 300 м) [76].

Відповідно до наших досліджень ВДЕ, мають місце наступні бар'єри їх розвитку в Україні:

- військове вторгнення РФ на територію України (високі ризики реалізації проектів для інвесторів, знищення робочих ВДЕ), фінансова криза в світі та наслідки від COVID-19 потенційно впливають на операторів електростанцій через кредитні претензії та їх інвестиції;

- висока енергоємність країни та потреби в значних інвестиціях в «реанімацію» традиційних (невідновлюваних) джерел енергії;

- недосконалість законодавчого механізму для виробників електроенергії (заборгованості по виплатам за «зеленим» тарифом виробникам з ВДЕ);

- недостатня кількість кваліфікованих фахівців, які могли б належним чином забезпечити обслуговування обладнання ВДЕ;

- необхідність придбання й доставки елементів для ВДЕ з-за кордону тощо.

Деякі ВДЕ мають періодичні, щоденні та сезонні цикли з точки зору використання ресурсних потенціалів. Наприклад, потенціал використання однієї СЕС є недостатнім для досягнення стабільного та безперебійного енергозабезпечення, оскільки сонячна інсоляція досягає свого максимального значення лише в окремий період денної доби, а в нічний час кількість виробленої електроенергії взагалі спадає до нуля. Система вітру сама по собі також не може гарантувати постійне навантаження через мінливі пориви вітру. Тому, незалежне використання цих джерел енергії як основного джерела живлення не є оптимальним рішенням.

Однак поєднання двох і більше ВДЕ дозволяє частково подолати обмеження, властиві будь-якому з них, а також надає можливість впровадження додаткових маневрених потужностей для енергозабезпечення, тобто формування гібридної системи альтернативних джерел енергії на основі ВДЕ. У такому випадку гібридна система складається з джерел генерації енергії (об'єктів

ВДЕ, наприклад, СЕС, ВЕС, МГЕС тощо) та елемента управління електропостачанням (інвертора/конвертора).

За результатами опрацювання наукових публікацій [92; 125; 149; 181; 188] щодо тлумачення поняття «гібридні системи альтернативних джерел енергії» (далі – ГСАДЕ), нами було розвинуто визначення «ГСАДЕ» – це комбінація двох або більше відновлюваних джерел енергії із системою накопичення електроенергії, яка забезпечує стале виробництво електричної енергії та синергічний ефект від об'єднання різних елементів системи. Синергічний ефект – це взаємовідновлювана дія активів інтегрованих підприємств, сукупний результат яких значимо перевищує суму результатів окремих дій цих організацій. В енергетиці синергізм процесів (синергічний ефект) проявляється через додаткові енергетичні переваги, які утворюються при об'єднанні двох або більше елементів (синергія – це концепція, згідно з якою цінність та продуктивність двох об'єднаних елементів буде більшою, ніж сума елементів окремо [118]). Тобто комбінація різних джерел енергії в одну систему створює додаткові переваги від їх роботи. Наприклад, у разі тимчасової відсутності сонця або вітру за допомогою управління ГСАДЕ наявна можливість забезпечувати споживачів електроенергією від систем накопичення енергії (далі – СНЕ), які призначені для зберігання та використання електроенергії з ВДЕ (рис. 1.26).

Накопичення енергії – це акумулювання енергії для її подальшого використання за відсутності прямого постачання енергії від джерел забезпечення. Пристрій, що зберігає енергію, називають акумулятором, або батареєю, або СНЕ [40; 69; 149]. У разі, якщо система згенерує більше електричної енергії, ніж споживач використовує в даний час, системою управління буде здійснюватися постачання надлишкової електроенергії в централізовану електричну мережу за «зеленим» тарифом або накопичуватись в СНЕ.

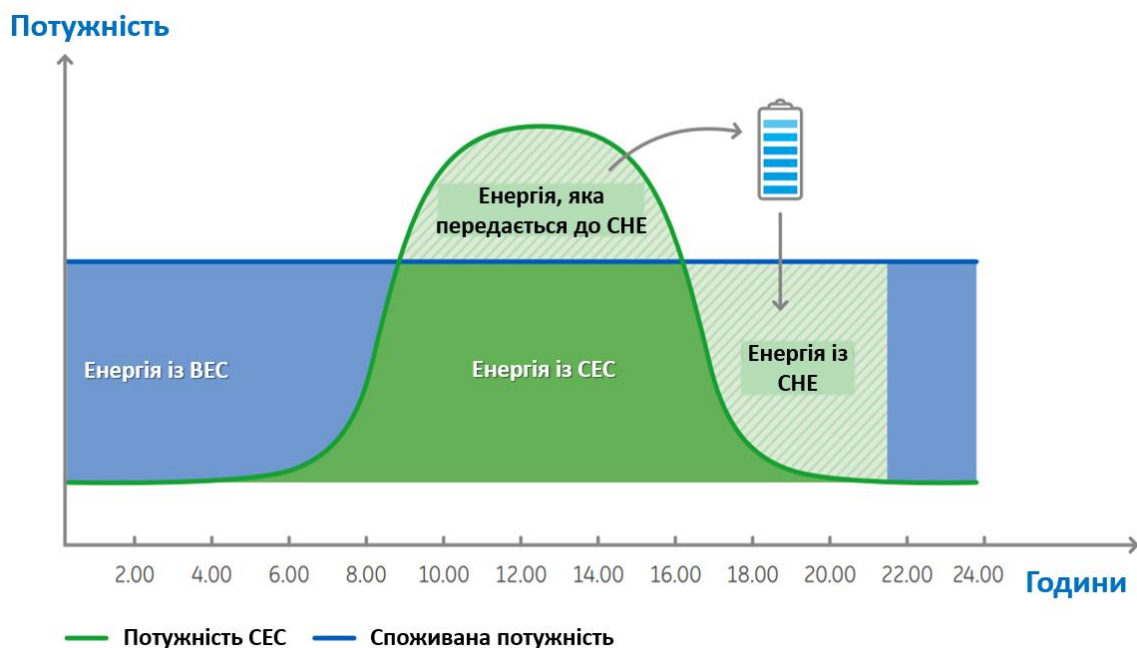


Рис. 1.26. Приклад роботи ГСАДЕ

Примітка: авторська розробка

Яскравим прикладом розвитку альтернативної енергетики є міжнародний ринок гібридних енергетичних систем, який щорічно розвивається у Великій Британії та до кінця 2024 р. має досягти накопиченої потужності 900 МВт у сфері ГСАДЕ. У Китаї очікується, що до кінця 2024 р. ринок гібридних енергосистем зросте більш ніж на 3% [116].

Збільшення фінансування ВДЕ допомагає скоротити викиди CO_2 і подолати зростаючий попит на електроенергію. Методи підтримки відновлюваної енергетики, які включають «зелений» тариф, системи аукціонів, «зелені» облігації тощо, слугують стимулом для впровадження комбінованих електростанцій, що ще більше покращить перспективи розвитку ринку гібридних енергетичних рішень із СНЕ.

Близько 359 ГВт акумуляторів додано до світової енергосистеми у 2020 р. [135], що сприятиме перенесенню надлишкової генерації до часів, коли, наприклад, вітер не дме та сонце не світить (рис. 1.27).

ГСАДЕ мають свої особливості, які роблять їх високоефективними та конкурентоспроможними [139; 184]:

- гнучкість у виборі палива (джерела енергії), надійність та грамотне управління постачанням електроенергії (використання накопичення енергії) і економічність;
- якість (безперебійність постачання) та доступність електроенергії (локальне енергозабезпечення);
- функціонування систем електропостачання та теплопостачання на основі ВДЕ з використанням СНЕ;
- в залежності від місця розташування (кліматичних умов) впровадження в системі максимальної кількості елементів ВДЕ;
- забезпечення значно нижчого рівня шкідливих викидів або їх відсутності взагалі в порівнянні з традиційними (невідновлюваними) технологіями, які використовують вугілля, газ і нафту;
- досягнення стійкого енергопостачання завдяки комбінуванню декількох ТВЕ на основі відновлюваних джерел в єдиній гібридній системі.

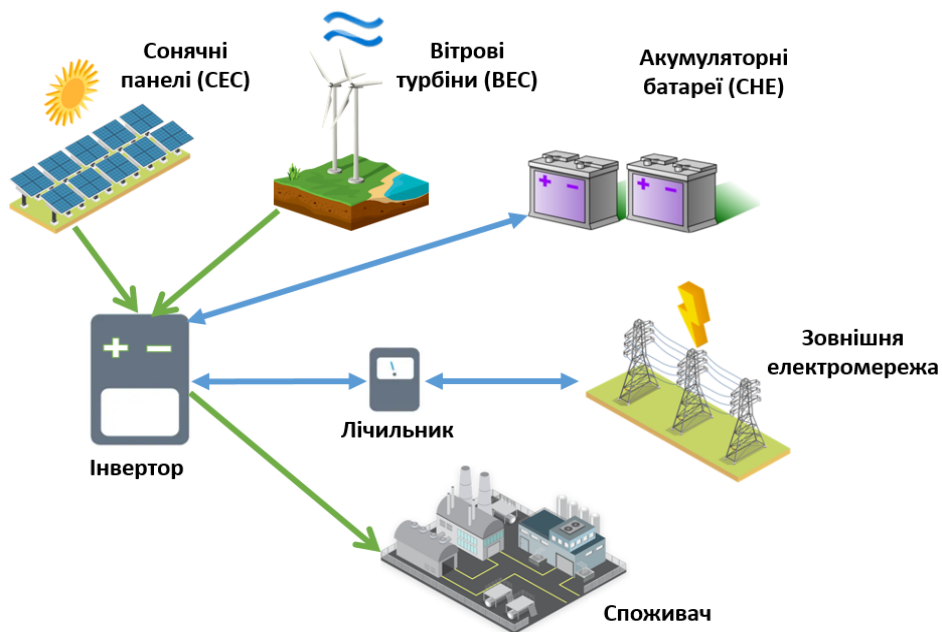


Рис. 1.27. Схематичний приклад ГСАДЕ (ВЕС+СЕС+СНЕ)

Примітка: авторська розробка

Використання ГСАДЕ дає енергетичну незалежність (невичерпне джерело енергії), безперебійне локальне забезпечення електроенергією з СНЕ, прибуток від продажу за «зеленим» тарифом та виробництво енергії без негативного впливу на навколишнє середовище.

Висновки до Розділу 1

1. Аналіз інноваційних зарубіжних, вітчизняних джерел показав, що у світовій енергетиці відбуваються суттєві зміни: перехід від традиційних (невідновлюваних) джерел енергії до альтернативних (відновлюваних) джерел енергії. Даний перехід обумовлюється: зростанням світового населення й збільшенням попиту на електроенергію (до кінця 2023 р. населення світу досягне 8 млрд осіб, а до 2050 р. – 10 млрд осіб, відповідно до чого споживання енергії збільшиться на 30% і більше, ніж зараз), виснаженням запасів викопних ресурсів (при подальшому використанні традиційних джерел енергії у світі дані запаси закінчаться вже у найближчі 130 років: нафта через 42 роки, газ – 57 років, вугілля – 128 років); боротьбою з кліматичними змінами (надлишок вуглекислого газу в атмосфері, який, головним чином, спричинений спаленням викопного палива), посиленням соціально-економічних факторів (створення нових робочих місць та спеціалізацій у галузі ВДЕ), вартістю виробництва електроенергії (виробництво енергії з ВДЕ є дешевшим за технології на викопному паливі), пандемією COVID-19 та вторгненням РФ на територію України (перехід на ВДЕ має сприяти розвитку економічної, енергетичної та екологічної безпеки задля стимулювання економічного відновлення після пандемії COVID-19 та завершення військових дій на території України, а також для створення потужного драйверу кліматичного захисту та практичного інструменту скорочення викидів парникових газів й стабільного управління регіональним енергозабезпеченням).

2. Сформовано три категорії технологій виробництва електроенергії на основі різних джерел енергії та розвинуто принципи роботи альтернативних джерел. В майбутньому очікується поява інноваційних технологій виробництва електроенергії на основі відновлюваних джерел енергії, кількість яких невпинно зростає зі світовим науково-технічним прогресом.

3. Проаналізовано позиції вітчизняних і зарубіжних фахівців, концепції, підходи до розуміння сутності поняття «гібридна система альтернативних джерел енергії» за науковими джерелами, що дало змогу удосконалити

визначення цього поняття: ГСАДЕ – це комбінація двох або більше відновлюваних джерел енергії із системою накопичення електроенергії, яка забезпечує стале виробництво електричної енергії та синергичний ефект від об'єднання різних елементів системи. Адже СНЕ в гібридній установці необхідна для зберігання виробленої надлишкової енергії, та/або використання електроенергії, коли об'єкти ВДЕ не працюють (наприклад, через погодні умови).

4. Обґрунтовано необхідність створення та впровадження нових інноваційних технологій для зміцнення сектору «зеленої» енергетики, а також задля досягнення енергетичних цілей, затверджених на законодавчому рівні України, та сталого енергозабезпечення (регіонального та локального: міста, села, райони, ОТГ тощо), шляхом впровадження і використання гібридних систем альтернативних джерел енергії.

Мінімізація витрат на енергетичні потреби за рахунок інноваційних технологій, відновлюваної енергетики та енергозбереження є стрімко зростаючим глобальним трендом.

Основні результати авторських напрацювань по тематиці цього Розділу дисертації опубліковано в працях [69; 71; 72; 181; 184].

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗУВАННЯ СТАНУ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ РЕГІОНІВ ЗА РАХУНОК ГІБРИДНИХ СИСТЕМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

2.1. Синергічний ефект у гібридних системах альтернативних джерел енергії

В епоху змін способу життя суспільства [143] з швидким розвитком технологій та зменшення залежності від викопного палива для виробництва електроенергії, використання ВДЕ задля сталого енергозабезпечення та без шкоди для навколишнього середовища набуває все більшої актуальності. ТВЕ на основі альтернативних джерел мають невичерпні можливості для безперервного використання, проте кожне окремо досліджуване джерело виробництва електроенергії має свої регіональні й техніко-економічні переваги та обмеження в залежності від регіону розміщення, які було систематизовано нами у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Регіональні й техніко-економічні переваги та обмеження виробництва енергії різними типами ВДЕ

Джерело енергії	Переваги	Обмеження
Сонце	<ul style="list-style-type: none"> - невичерпне джерело енергії; - сонячні панелі встановлюються окремо, але інтегруються разом як СЕС; - робота СЕС абсолютно безшумна; - швидкий термін окупності (наприклад, СЕС з потужністю 30 кВт, виробництвом електроенергії у 38 400 кВт·год/рік, власним споживанням у 3 000 кВт·год/рік, буде мати повну вартість 590 000 грн із прибутком 130 944 грн/рік і окупиться за 4-6 років); - безпечна утилізація відпрацьованих СЕС (наприклад, в Україні СЕС виробляє та приймає на утилізацію компанія «Green Tech Trade», представник 	<ul style="list-style-type: none"> - сонячна інсоляція досягає свого максимального значення лише в окремий період денної доби; - вартість різних типів сонячних панелей у відповідності до їх потужностей; - для СЕС промислового типу необхідна велика площа (наприклад, щоб отримати від СЕС енергію, яку виробляє АЕС потужністю 1000 МВт, необхідно 35 тисяч (далі – тис) гектарів землі); - небезпека для птахів, які пролітають біля геліоконцентраторів: температура фокусованих дзеркалами на башту сонячних променів може досягати 1000 °С.

Джерело енергії	Переваги	Обмеження
	американської фірми «First Solar»).	
Вітер	<ul style="list-style-type: none"> - невичерпне джерело енергії; - вітряні турбіни встановлюються окремо, але інтегруються разом як ВЕС; - в 2-3 рази більша генерація, ніж з 1 кВт встановленої потужності СЕС; - швидкий термін окупності (наприклад, ВЕС із потужністю 4 кВт, виробництвом електроенергії у 1 000 кВт-год/рік, власним споживанням у 250 кВт-год/рік буде мати повну вартість 280 000 грн із прибутком 30 000 грн/рік і окупиться за 6-8 років); - для встановлення ВЕС потрібні малі площі земельної ділянки (наприклад, для ВЕС потужністю 1 МВт необхідно 30-50 соток землі; для СЕС такої ж потужності необхідно мінімум 200 соток землі). 	<ul style="list-style-type: none"> - ВЕС не може гарантувати постійне навантаження через мінливі пориви вітру; - вартість у різних типів ВЕС у відповідності до їх потужностей; - вітрові турбіни доволі шумні, а тому небезпечні для здоров'я людей: у відповідності до дослідження [174] негативного впливу інфразвуку ВЕС на здоров'я людини виявлено не було, хоча у деяких країнах є обмеження на дистанції щодо розміщення ВЕС від населених пунктів; - ВЕС завдають шкоди для птахів, коли електростанції розташовані на шляху їх міграції.
Припливи	<ul style="list-style-type: none"> - невичерпне джерело енергії; - здатність генерувати багато потенційної електроенергії; - виробництво електроенергії може подвоїтися за рахунок інтеграції припливних загороджень, що також допоможе запобігти повеней. 	<ul style="list-style-type: none"> - висока вартість будівництва греблі (наприклад, гребля «Боябат» у Туреччині із потужністю 513 МВт має вартість 1,2 млрд дол. США); - для реалізації потенціалу припливів необхідний доступ до океану або морів із високим припливним потенціалом (наприклад, як у Великій Британії, Ірландії, Ісландії тощо).
Геотермальне	<ul style="list-style-type: none"> - невичерпне джерело енергії; - можна використовувати природне тепло Землі або будь-яких вулканічних регіонів (наприклад, такі країни як Нова Зеландія та Ісландія успішно використовують ГТЕС для виробництва електроенергії). 	<ul style="list-style-type: none"> - висока вартість будівництва ГТЕС; - ГТЕС можна використовувати в районах вулканічної активності або глибинах досягання природного тепла Землі; - якщо геотермальна та вулканічна активність стане пасивною, це може призвести до відключення електростанції; - підземні елементи у геотермальному джерелі є вибухонебезпечними.
Вода (гідро)	<ul style="list-style-type: none"> - невичерпне джерело енергії; - один з традиційних методів використання енергії з джерел, таких як річки, озера, дамби за 	<ul style="list-style-type: none"> - вартість побудови великих ГЕС (наприклад, «Каховська ГЕС-2» потужністю 250 МВт має вартість 13,47 млрд грн);

Джерело енергії	Переваги	Обмеження
	<p>допомогою МГЕС без шкоди навколишньому середовищу;</p> <ul style="list-style-type: none"> - швидкий термін окупності у порівнянні з традиційними джерелами енергії (наприклад, МГЕС із потужністю 382 кВт, виробництвом електроенергії у 1,7 млн кВт·год/рік, повною вартістю 21 млн грн окупиться за 11-13 років). 	<ul style="list-style-type: none"> - ГЕС (крім МГЕС) завдають шкоди навколишньому середовищу; - ГЕС потребують великих площ для побудови (наприклад, електростанція потужністю 250 МВт потребує до 50 гектарів землі).
Біомаса	<ul style="list-style-type: none"> - невичерпне джерело енергії; - використання органічного матеріалу (сировини): рослинних і тваринних відходів – поживні рештки, силос кукурудзи, жом, гній тощо; - процеси спалювання сировини можна використовувати для виробництва біогазу та отримання не тільки електроенергії, а й тепла; - паливо для електростанцій є одним з найдешевших і завжди доступних; - наявна можливість використання сміття для виробництва електроенергії, що сприятиме збереженню навколишнього середовища й зменшенню сміттєзвалищ. 	<ul style="list-style-type: none"> - забруднення навколишнього середовища та атмосфери при спалюванні (показники викидів CO₂ менші за традиційні ТВЕ); - додаткові витрати на логістичні процеси доставки сировини до електростанцій; - вартість побудови електростанцій (наприклад, БГЕС «Установка з дегазації звалищного газу» у м. Хмельницький, Україна, потужністю 659 кВт з вартістю 37 млн грн та виробництвом електроенергії 5 млн кВт·год/рік окупиться за 14-16 років).

Примітка: систематизовано автором на основі [22;36; 58; 61; 87; 126; 174; 179; 180; 182; 189]

Доступність різного типу технологій на основі ВДЕ, науково-технічний прогрес суспільства та пошук нових інноваційних технологій виробництва енергії, які не виснажують природні джерела Землі, сприяють актуальності об'єднання різних ВДЕ у комбіновані системи, зменшуючи обмеження (недоліки) кожного типу альтернативних джерел й створюючи синергічний ефект від використання двох або більше елементів системи.

Теоретичні та практичні напрацювання у сфері ГСАДЕ збільшуються з кожним днем. За допомогою електронного ресурсу «ElectrifyMe» [111] можна побачити карту розподілу досліджень різних типів ГСАДЕ у світі (рис. 2.1). Розуміючи потребу у додаткових енергетичних потужностях та впровадженні нових інноваційних технологій у сфері енергетики, держави світу об'єктивно

підходять до необхідності реалізації комбінованих систем для сталого енергозабезпечення на регіональному рівні та впровадження додаткових джерел енергії. Згідно з даним ресурсом [111], наприклад, у Польщі розробляється проект щодо впровадження комбінованої системи з елементів СЕС+ВЕС та підключенням до мережі, а у Данії – СЕС+ВЕС+МГЕС.

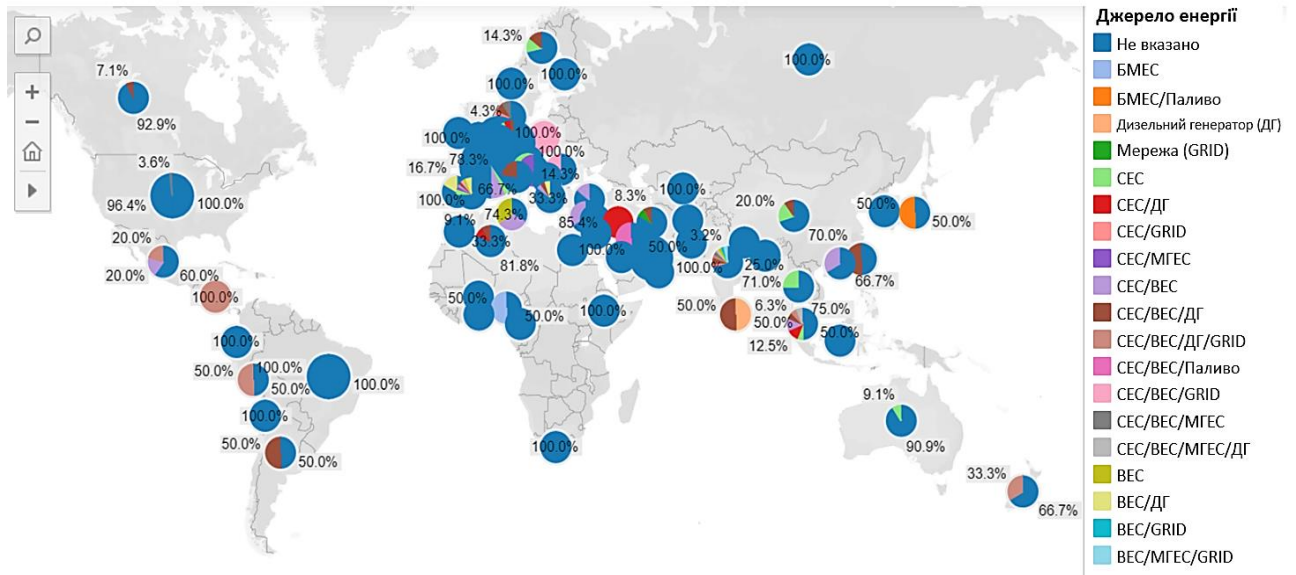


Рис. 2.1. Світовий розподіл досліджень різних типів ГСАДЕ
Примітка: запозичено автором [111]

В залежності від необхідного економічного ефекту та рекреаційних характеристик місцевості обирають найоптимальнішу ГСАДЕ для прийняття рішення щодо подальшого встановлення та використання системи. На рис. 2.2-2.3 наведено структурні схеми ГСАДЕ із СНЕ (акумуляторна батарея) на основі використання енергії: вітер + сонце та гідро + сонце.

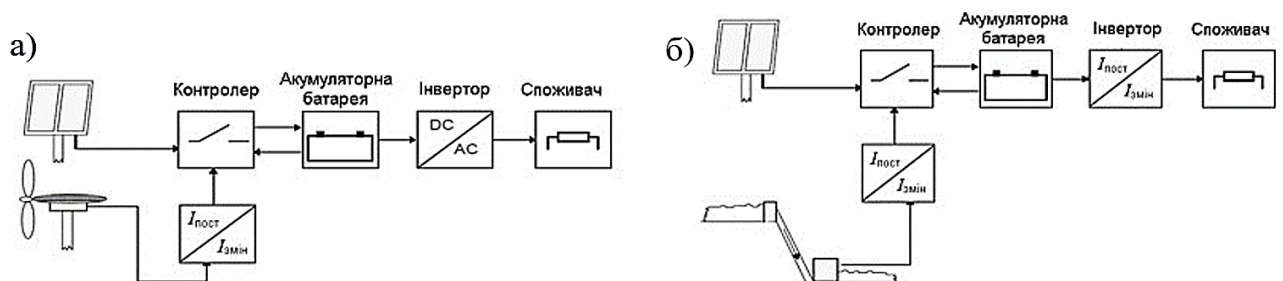


Рис. 2.2-2.3. Структурні схеми ГСАДЕ із СНЕ: а) вітер + сонце, б) гідро + сонце
Примітка: авторська розробка

Потужність, створювана вітровими установками у системі ВЕС+СЕС (рис. 2.2), являє собою змінний струм, але має змінну амплітуду й частоту, які потім можуть перетворитися на постійний струм для зарядки акумулятора.

На рис. 2.3 в системі МГЕС+СЕС як джерело гідроенергії використовується невеликий резервуар для накопичення води. Місце розміщення даної системи залежить від географічних умов знаходження доступних джерел води, які розташовані на достатній висоті. Потужність системи залежить від кількості води та сонячного випромінювання. При цьому необхідний контролер для захисту СНЕ від перезарядки або повного розряду. Оскільки висока напруга може бути використана для зниження втрат системи, інвертор використовується для перетворення постійного струму низької напруги на змінний струм з напругою 220 В (вольт).

При використанні у ГСАДЕ елементу БМЕС передбачається, що в якості біопалива використовується органічний матеріал і сміття: мертва деревина, гілки, скошена трава, залишки культурних рослин, деревна тріска, кора й стружка з лісопильних заводів тощо. У системі використовується гібридний контролер, який підтримує баланс енергії під час зміни навантаження, призначає пріоритет серед джерел енергії (рис. 2.4).

Комбіновані системи енергопостачання можуть застосовуватися для споживачів трьох типів, включаючи:

1) Автономне енергопостачання, при якому альтернативні джерела енергії використовуються в ізольованих енергосистемах з СНЕ.

2) Пікове і резервне енергопостачання на базі альтернативних джерел в зоні дії централізованої мережі (з приєднанням до мережі та продажем надлишку електроенергії).

3) Децентралізована генерація енергії в зоні дії централізованої мережі, коли ГСАДЕ використовуються як основне джерело, при цьому передача електроенергії комбінованою системою узгоджена з централізованою мережею (для отримання додаткової енергії з мережі).

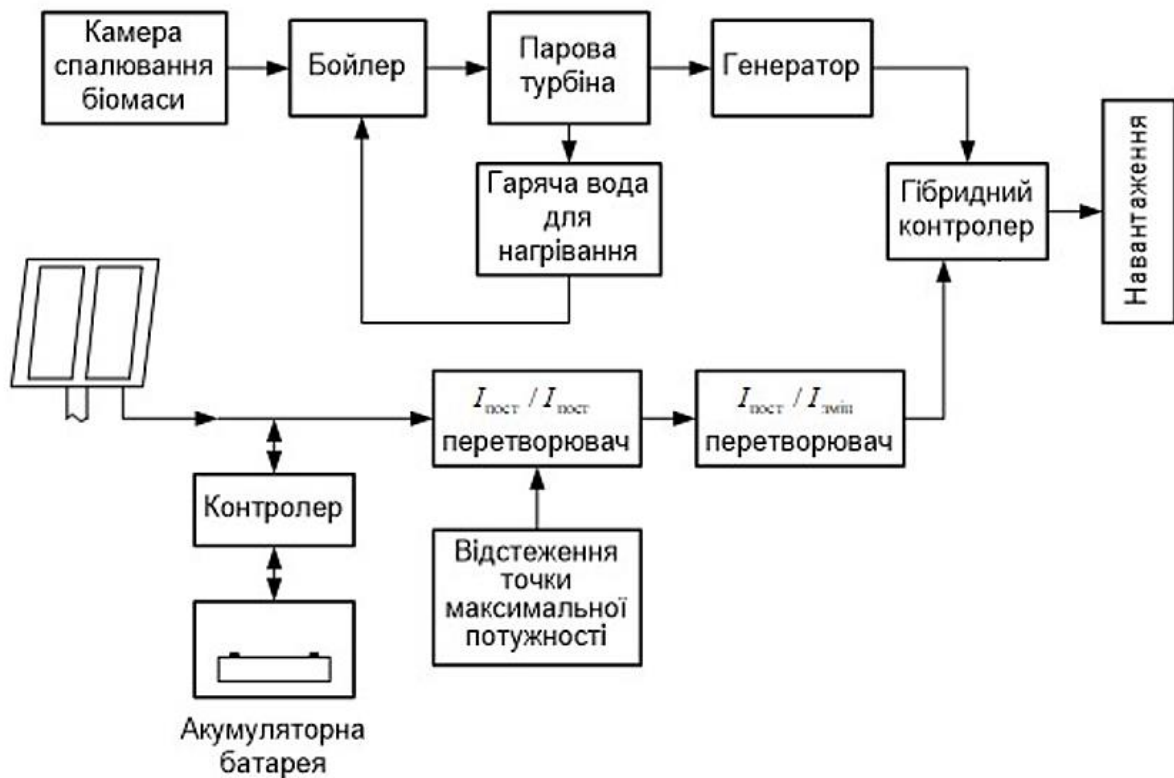


Рис. 2.4. Структурна схеми ГСАДЕ із СНЕ: біомаса + сонце
Примітка: авторська розробка

ГСАДЕ мають характеристики, що дозволяють розглядати їх як основу для нового етапу розвитку енергетики, завдяки таким властивостям:

- 1) Підвищення енергетичної незалежності споживачів.
- 2) Згладжування пікових навантажень.
- 3) Зниження рівня необхідного резервування потужностей.
- 4) Мінімізація втрат при передачі (транспортуванні через мережу) електроенергії.
- 5) Можливість використання місцевих енергоресурсів.

Відповідно до вищенаведеного нами було досліджено та уточнено основні переваги та обмеження різних типів ГСАДЕ в частині синергічного ефекту від комбінування декількох типів альтернативних джерел енергії:

● Переваги:

○ Стале (надійне) джерело живлення:

- ГСАДЕ (ВДЕ+СНЕ, наприклад, СЕС+СНЕ): комбінована система забезпечує безперебійне живлення, оскільки має підключений накопичувач

енергії (акумуляторну батарею). СНЕ необхідно використовувати, якщо немає сонця та постачання енергія ввечері чи вночі, а також при відсутності підключення до мережі. СНЕ зберігають енергію у разі відключення основних елементів виробництва електроенергії, за рахунок чого комбінована система має стале виробництво енергії.

- ГСАДЕ (два або більше ВДЕ+СНЕ, наприклад, ВЕС+СЕС+СНЕ): у дні, коли швидкість вітру недостатня або неефективна, в якості альтернативи можна використовувати сонячну енергію. Таким чином забезпечується безперервність виробництва енергії в системі з підвищеною сталістю роботи (система має декілька варіантів безперебійної роботи: функціонування повної системи ВЕС+СЕС+СНЕ, робота одного елементу ВДЕ (наприклад, ВЕС+СНЕ або СЕС+СНЕ), або живлення лише від СНЕ до подальшого запуску одного з ВДЕ.

○ *Оптимальне використання альтернативних джерел енергії:*

- ГСАДЕ (ВДЕ+СНЕ, наприклад, СЕС+СНЕ): оскільки СЕС підключаються з СНЕ, в сонячні дні не виникає зайвих втрат енергії. Отже, такі системи найкращим чином використовують відновлювану енергію, накопичуючи її в сонячні дні у СНЕ для використання в захмарний день або вночі.

- ГСАДЕ (два або більше ВДЕ+СНЕ, наприклад, ВЕС+СЕС+СНЕ): ця система поєднує в собі вітряні або фотоелектричні сонячні технології, маючи при цьому синергійний ефект від спільного використання. Влітку, коли сонячні промені найсильніші та яскраві, швидкість вітру невелика. У зимові місяці, коли сонячної енергії менше, швидкість вітру висока, що дозволяє оптимально використовувати елементи ВДЕ у комбінованій системі з СНЕ.

○ *Низькі експлуатаційні витрати:*

- ГСАДЕ (ВДЕ+СНЕ, наприклад, СЕС+СНЕ): ця система має низькі витрати на обслуговування в порівнянні зі звичайними (додатковими) генераторами (наприклад, дизельними) для маневреності потужностей.

- ГСАДЕ (два або більше ВДЕ+СНЕ, наприклад, ВЕС+СЕС+СНЕ): досягнення в області перетворювачів силової електроніки та систем

автоматичного управління, які покращують роботу гібридних енергетичних систем і знижують вимоги до технічного обслуговування, зробили комбіновані системи практичними та економічними з синергічним ефектом від гібридизації елементів на основі ВДЕ, а також з найменшими витратами на обслуговування [168].

○ *Підвищена ефективність:*

- ГСАДЕ (ВДЕ+СНЕ, наприклад, СЕС+СНЕ): ці системи працюють більш ефективно, ніж звичайні генератори, які витрачають паливо при роботі. СЕС+СНЕ ефективно працюють в будь-яких умовах без втрати палива.

- ГСАДЕ (два або більше ВДЕ+СНЕ, наприклад, ВЕС+СЕС+СНЕ): особливо підходять для промислових підприємств. Зведення до мінімуму річних витрат на електроенергію та мінімізація ймовірності втрати електроживлення є важливою перевагою.

○ *Управління енергоспоживанням:*

Енергопостачання ГСАДЕ здійснюється за допомогою інвертору/контролеру («розумна» система управління гібридною установкою – «Smart Grid») [132] з врахуванням необхідної кількості електроенергії до споживання, накопичення в акумуляторних батареях і можливого відпуску надлишку енергії до мережі, наприклад, за «зеленим» тарифом.

○ *Зниження рівня шкідливих викидів:*

ГСАДЕ прагнуть знизити рівень шкідливих викидів за рахунок максимального використання відновлюваних (природних) ресурсів і заміщення традиційних джерел енергії, які працюють на викопному паливі та сприяють збільшенню викидів в атмосферу.

● **Обмеження:**

○ *Комплексний процес контролю:*

Необхідність здійснення контролю роботи, взаємодії та координації різних джерел енергії. Проте на сьогоднішній день системи «Smart Grid» дедалі частіше впроваджуються у комбінованих системах на основі ВДЕ [141], що робить управління ГСАДЕ автоматичним.

○ *Висока вартість системи:*

Вартість обслуговування систем невелика, але початкові вкладення в ГСАДЕ є високими [141; 145; 179; 214]. В залежності від типу комбінованої системи та місця розташування зі споживанням електроенергії підвищується й швидкість окупності (повернення вкладень).

○ *Термін роботи акумуляторних батарей:*

Акумуляторні батареї, підключені до системи, часто піддаються впливу тепла, дощу або інших рекреаційних чинників, які зменшують ефективність їх роботи з роками експлуатації, проте з кожним роком створюються захищені від зовнішнього впливу та потужніші СНЕ.

○ *Проектування системи:*

Для ГСАДЕ на етапі проектування необхідно визначити:

- типи елементів системи на основі ВДЕ в залежності від місця встановлення;

- кількість та потужності елементів;

- чи буде до системи підключений додатковий резервний блок, наприклад, дизельний генератор, паливний елемент тощо;

- чи буде наявне або відсутнє підключення до мережі, для передачі та/або продажу електроенергії державі.

Вибір технологій для встановлення ГСАДЕ є першим кроком на етапі проектування. Погодні умови в обраному регіоні є важливим критерієм вибору, особливо для ВЕС щодо довгострокового прогнозу погодних умов. У зв'язку з розвитком технологічного прогресу, що сприяє появі нових можливостей та інновацій в цій галузі, попит на гібридні енергетичні системи значно зростає. Регіони, міста та ОТГ виявляють особливу цікавість до комбінованих систем, оскільки вони являють собою засіб ефективного управління попитом і пропозицією, тим самим підвищуючи енергетичну безпеку та енергонезалежність.

Гібридні системи актуально впроваджувати для управління безперебійним забезпеченням електроенергією особливих об'єктів (медичні, військові та харчові заклади тощо), які матимуть декілька ступенів сталого «енергозахисту», наприклад, при роботі ГСАДЕ у комбінації ВЕС+СЕС+СНЕ енергосистема буде мати три ступені «енергозахисту»: робота двох елементів енергопостачання (ВЕС+СЕС), робота одного з елементів ВДЕ, робота СНЕ до старту роботи одного або декількох елементів ВДЕ у системі.

На території України швидкість вітру влітку невелика, коли сонце світить найяскравіше та довго (в одному році налічується близько 260 сонячних днів або 3 060 год, а загальноможливий потенціал вітру при роботі ВЕС становить 8 760 год) [22]. Взимку, коли менше сонячного світла, дме сильніший вітер. Оскільки піковий час роботи, наприклад, вітряних і сонячних систем припадає на різний час дня і року, за допомогою ГСАДЕ ймовірність мати стає енергозабезпечення буде вищою у порівнянні з роботою окремих об'єктів ВДЕ.

Зарубіжний досвід використання ГСАДЕ свідчить про те, що більшість установок являють собою автономні комбіновані системи, які працюють «поза мережею» (не підключені до системи розподілу електроенергії) [179]. В той час коли, наприклад, ані вітряна, ані сонячна системи не виробляють енергії, більшість комбінованих системи забезпечують доступ до електроенергії через СНЕ. Додавання СНЕ робить системи більш складними, але сучасні електронні контролери (конвертори/інвертори) можуть управляти цими системами автоматично.

Отже, завдяки різним комбінаціям гібридних енергетичних систем є можливість отримання синергічного ефекту від використання різних об'єктів на основі ВДЕ з наступними перевагами:

- Ефективність. Високотехнологічне об'єднання різних джерел енергії на основі ВДЕ може гарантувати найвищу ефективність виробництва енергії завдяки зберіганню надлишкової електроенергії у системі накопичення енергії, а також з інтелектуальним управлінням споживанням електроенергії з низькими витратами.

- **Інноваційність.** Основною метою гібридної системи енергопостачання є досягнення балансу між виробництвом і споживанням. Для цього необхідна інтеграція різних технологій виробництва та зберігання енергії, які сприяють новим інноваційним рішенням на основі ВДЕ.

- **Незалежність від мережі.** Гібридні енергетичні системи складаються як мінімум з двох різних джерел енергії, які створюють синергічний ефект від їх використання з СНЕ. Можливі комбінації різних ТВЕ на основі ВДЕ дозволяють створювати інноваційні та енергоефективні рішення для міст, районів або окремих домашніх господарств локального характеру (без підключення / залежності від мережі регіону, району).

- **Сталість.** При об'єднанні виключно ВДЕ, таких як сонячна або вітрова енергія, гібридні системи можуть забезпечувати на 100% «зеленою» енергією з додатковою перевагою у вигляді гнучкості використання і здатності адаптуватися до попиту (маневрені потужності в системі).

2.2. Економічні характеристики виробництва електроенергії гібридними установками

Для впровадження та представлення роботи ГСАДЕ змодельовано оптимізаційні параметри роботи елементів ГСАДЕ на прикладі рис. 2.5, на якому представлено гібридну систему ВЕС+СЕС+СНЕ. СЕС та ВЕС виробляють постійний струм, на який впливають погодні параметри. Тому, для регулювання вихідної потужності використовується силовий перетворювач постійного струму. Крім того, СНЕ також підключено до лінії навантаження постійного струму. У разі надмірного виробництва енергії, що генерується з відновлюваних джерел у системі, надлишкова енергія буде зберігатись у СНЕ. При нестачі енергії з ВДЕ можна використовувати енергію накопичену в акумуляторних батареях.

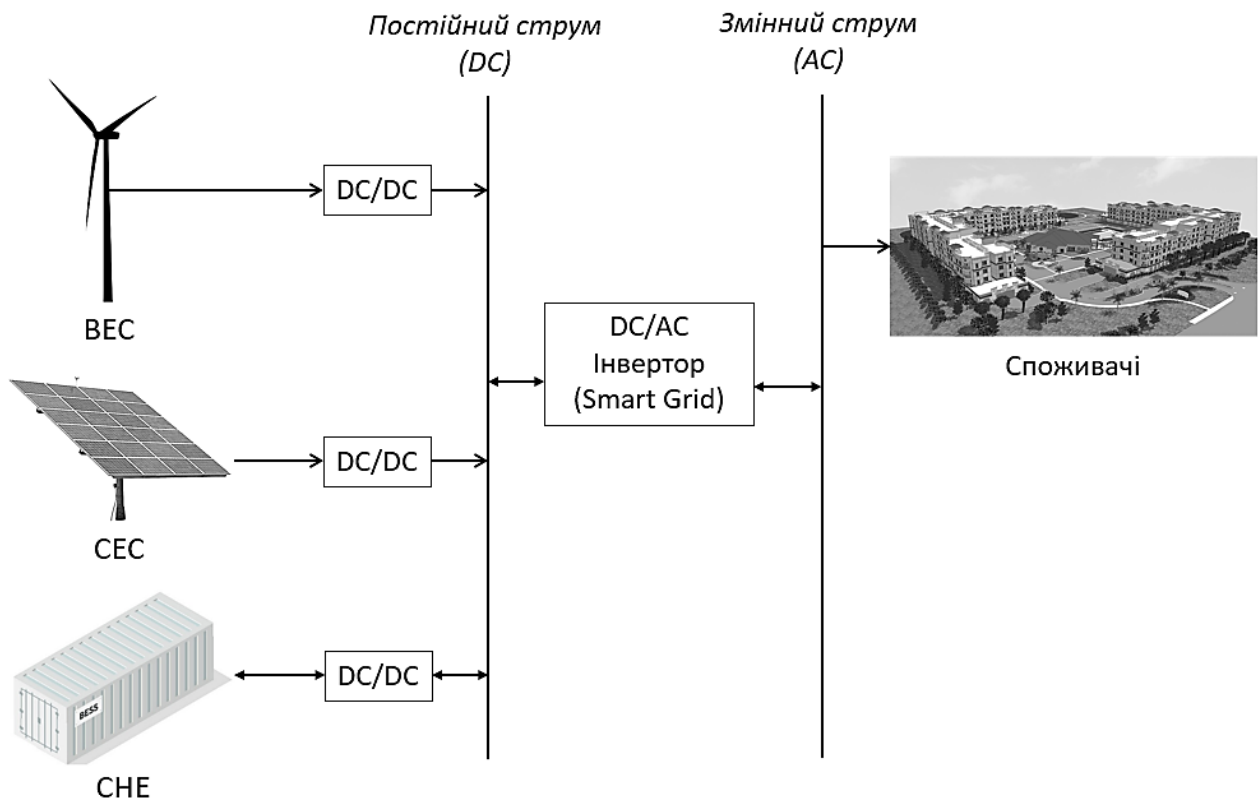


Рис. 2.5. Структурна схеми ГСАДЕ: ВЕС+СЕС+СНЕ

Примітка: авторська розробка

ВЕС є одним з джерел виробництва енергії, в якому вітряна турбіна перетворює кінетичну енергію вітру в енергію постійного або змінного струму в залежності від типу використовуваної електричної системи.

Графічне зображення вихідної потужності в залежності від швидкості вітру на висоті осі ротора (регіон першого виконання від $0 (V_c)$ до номінальної потужності (V_r) початку регіону другого виконання) називають кривою потужності:

- Регіон першого виконання – це область збільшення потужності ВЕС (до максимально можливої номінальної потужності установки) при зростанні швидкості вітру;

- Регіон другого виконання – це стале виробництво електроенергії за номінальної потужності ВЕС з максимальною швидкістю вітру, коли установка може працювати до повної зупинки (V_f) [109; 143].

На рис. 2.6 показані типові характеристики кривої потужності вітряної турбіни.

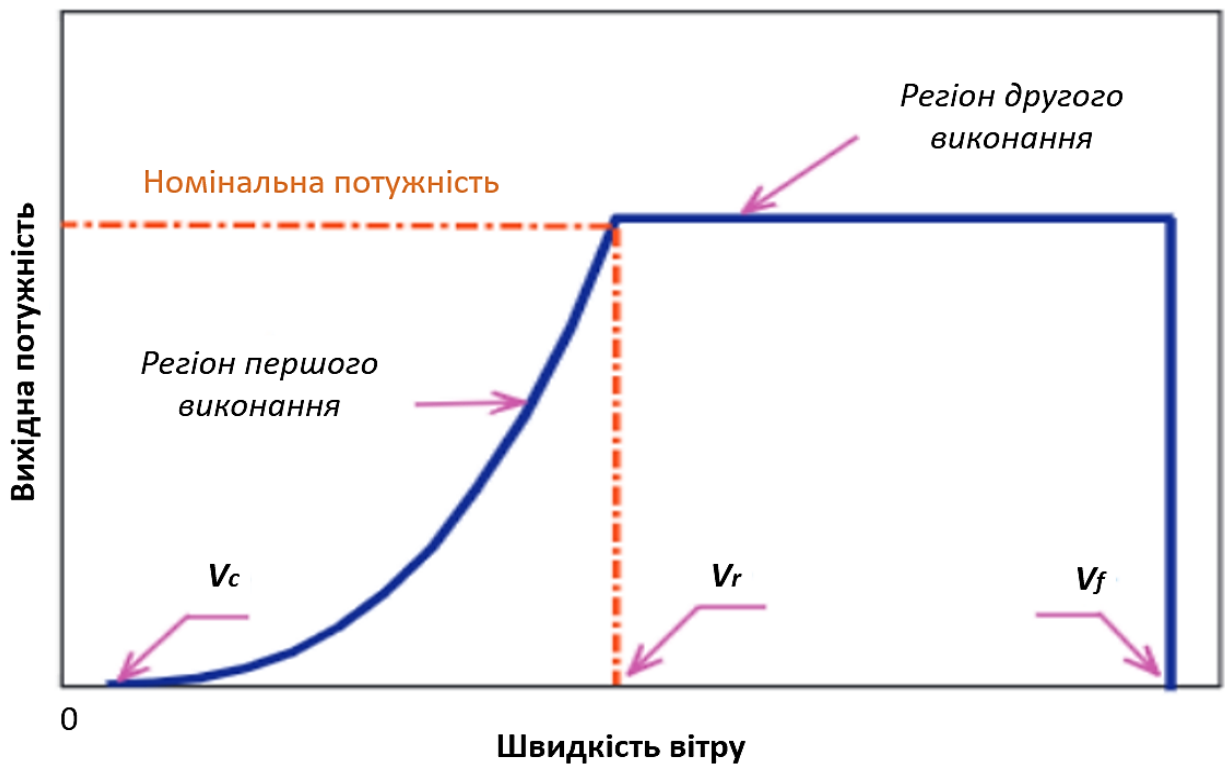


Рис. 2.6. Крива потужності вітряної турбіни
Примітка: побудовано автором на основі [109; 143]

У зазначеній на рис. 2.5 ГСАДЕ ВЕС є одним з джерел виробництва енергії, в якому вітряна турбіна (із трьома лопатями) перетворює кінетичну енергію вітру в енергію постійного або змінного струму. Вихідна потужність такої вітряної турбіни – це функція, яка визначається у відповідності до рівняння (2.1) [109; 213]:

$$P_{\text{ВЕС}}(V) = \begin{cases} \frac{1}{(V_r^3 - V_c^3)} (V^3 - V_c^3) P_r, & V_c \leq V \leq V_r \\ P_r, & V_r \leq V \leq V_f \\ 0, & \text{решта випадків} \end{cases}, \quad (2.1)$$

Крива потужності на рис. 2.6 показує наочне зображення роботи ВЕС із вихідною механічною потужністю (P_m), яка визначається законом Беца для швидкості вітру (2.2) [93]:

$$P_m = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3, \quad (2.2)$$

де C_p – коефіцієнт потужності; ρ – щільність повітря; A – площа поперечного перерізу вітру або площа лопатей турбіни; v – швидкість вітру.

У визначеному місці та на заданій висоті встановлення ВЕС вихідна електрична потужність вітряної турбіни залежить від швидкості вітру на висоті

ротора та швидкості турбіни. Степеневе рівняння швидкості вітру на висоті ротора виразимо рівнянням (2.3) [109; 213]:

$$\frac{V(h)}{V(h_{ref})} = \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^x, \quad (2.3)$$

де $V(h)$ і $V(h_{ref})$ – швидкість вітру на висоті ротора (h) і вихідної висоти (h_{ref}) відповідно; x – коефіцієнт жорсткості. Коефіцієнт жорсткості є характеристикою місцевості із встановленим значенням в залежності від типу поверхні, яка має свій окремий коефіцієнт, наприклад, 0,0003 – для водних поверхонь, 1 – для лісів і більше.

Сонячні фотоелектричні модулі виробляють енергію постійного струму прямо пропорційно падаючому сонячному випромінюванню. Однак чинник зниження номінальних характеристик фотоелектричних модулів і висока температура негативно впливають на загальне виробництво електроенергії постійного струму. Отже, вихідна потужність СЕС ($P_{сес}$) може бути розрахована з використанням рівняння (2.4) [126; 214]:

$$P_{СЕС} = W_{СЕС} f_{СЕС} \left(\frac{G_T}{G_{STC}} \right) \left(1 - a_p (T_c - T_{c,STC}) \right), \quad (2.4)$$

де $W_{СЕС}$ – пікова вихідна потужність СЕС (кВт); $f_{СЕС}$ і a_p – коефіцієнт зниження потужності СЕС (%) і температурний коефіцієнт потужності; G_T – сонячне випромінювання, спрямоване на СЕС в поточний час (кВт/м²); G_{STC} – сонячне випромінювання за стандартних умов роботи (кВт/м² при 25 °С); T_c – температура фотоелементів СЕС (значення задається у відповідності до установки); $T_{c,STC}$ – температура фотоелектричного елемента за стандартних умов (значення задається у відповідності до установки).

Рівняння балансу виробництва енергії для СЕС наведено у формулі (2.5) і є функцією температури навколишнього середовища та температури фотоелемента. Також температуру СЕС можна отримати за допомогою рівняння (2.6) [126; 214]:

$$\lambda a G_T = \xi_c G_T + U_L (T_c - T_a), \quad (2.5)$$

$$T_c = T_a + G_T \left(\frac{\lambda a}{U_L} \right) \left(1 - \frac{\xi_c}{\lambda a} \right), \quad (2.6)$$

де λ (%) – коефіцієнт пропускання випромінення через фотоелектричну панель; a (%) – коефіцієнт поглинання сонячної енергії фотоелектричною панеллю; ξ_c (%) – ефективність електричного перетворення фотоелектричною панеллю; T_a (значення задається у відповідності до установки) – температура навколишнього середовища; U_L (кВт/м²) – коефіцієнт теплопередачі в навколишнє середовище.

Фотоелектричний модуль має вигляд згрупованих між собою панелей, з'єднаних послідовно (N_s) і паралельно (N_p) в конфігурації, а також їх загальна ефективність розраховується відповідно за рівняннями (2.7) і (2.8) [126; 214]:

$$P_{CEC,STC} = (N_s \times N_p) P_{mSTC} , \quad (2.7)$$

$$\xi_{mp,STC} = \frac{CEC}{A_{CEC} G_{T,STC}} \quad (2.8)$$

В ГСАДЕ використовується СНЕ задля стабільної та ефективної роботи, а також підтримування постійної напруги в разі невідповідності між генерацією та споживанням енергії. Батареї з номінальною ємністю підключаються паралельно та послідовно для отримання більш високих енергетичних потужностей і резервного живлення. У той же час зарядка або розрядка СНЕ залежать від потужності генерації та потужності споживання. В такому випадку вхідна потужність батарей може бути як позитивною, так і негативною, в залежності від того, заряджається або розряджається СНЕ. Рівень заряду (SoC) і рівень розряду (DoD) СНЕ можна оцінити за рівняннями (2.9) і (2.10) [97]:

$$SoC: \quad E_{CHE}(t) = E_{CHE}(t-1)(1-\sigma) + \left(E_g(t) - \frac{E_r(t)}{\psi_{inv}} \right) \psi_B , \quad (2.9)$$

$$DoD: \quad E_{CHE}(t) = E_{CHE}(t-1)(1-\sigma) - \left(\frac{E_r(t)}{\psi_{inv}} - E_g(t) \right) , \quad (2.10)$$

де $E_{CHE}(t)$ і $E_{CHE}(t-1)$ – енергія, яка в запасі у батарейному блоці (Вт·год) на годину t і $t-1$, відповідно; σ – годинна швидкість саморозряду; $E_r(t)$ – погодинна енергія, яка необхідна для споживання; ψ_{inv} і ψ_B – коефіцієнт корисної дії інвертора та ефективність заряду акумуляторної батареї; $E_g(t)$ – енергія, що генерується гібридною системою на годину t , яка визначається рівнянням (2.11) [97]:

$$E_g(t) = N_{CEC}E_{CEC}(t) - N_{BEC}E_{BEC}(t), \quad (2.11)$$

де N_{CEC} і N_{BEC} – кількість фотоелектричних модулів і вітряних турбін; $E_{CEC}(t)$ і $E_{BEC}(t)$ – погодинна енергія, вироблена одним фотоелектричним модулем і однією вітряною турбіною.

У будь-який момент часу t зарядна кількість акумуляторної батареї підпорядковується обмеженням у рівнянні (2.12) [97]:

$$E_{CHE,min} \leq E_{CHE} \leq E_{CHE,max}, \quad (2.12)$$

де $E_{CHE}(t)$ – енергія, яка збережена у блоці батарей, $E_{CHE,min}$ і $E_{CHE,max}$ – мінімальна і максимальна енергія, збережена в блоці батарей.

Номинальна ємність батареї $P_{CHE}(t)$ – це обмін енергії в момент часу t на підставі рівняння (2.13) [189; 191]:

$$P_{CHE}(t) = P_{CEC}(t) + P_{BEC}(t) - P_{споживання}(t) \quad (2.13)$$

У запропонованій ГСАДЕ на базі енергоустановок наявний перетворювач потужностей (інвертор). Силовий перетворювач є необхідним для забезпечення безперервного потоку енергії між системою і навантаженням. Лінії передач змінного та постійного струму з'єднуються через перетворювач постійного струму в змінний, вихідна потужність якого визначається з урахуванням коефіцієнта корисної дії інвертора (перетворювача) потужності. Пристрій перетворення (інвертор і конвертер для перетворення постійного струму в змінний струм і навпаки), визначається згідно з рівняннями (2.14) і (2.15) [189; 191]:

$$P_{inv,out} = \psi_{inv}P_{DC}, \quad (2.14)$$

$$P_{rec,out} = \psi_{rec}P_{AC}, \quad (2.15)$$

де $P_{inv,out}$ – вихідна потужність інвертора/конвертера (кВт·год); P_{DC} – потужність постійного струму, споживана від лінії постійного струму до інвертора (кВт·год); $P_{rec,out}$ – змінена вихідна потужність від інвертора до батареї (кВт·год); P_{AC} – вихідна потужність лінії змінного струму (кВт·год).

Для реалізації проектів у енергетичній сфері виконується розрахунок традиційних показників економічної ефективності проекту [51; 103; 204], таких як:

- термін окупності (T) (років) (2.16);

$$T = \frac{IC}{P}, \quad (2.16)$$

де IC – початкові інвестиції у проект; P – очікуваний щорічний плановий прибуток, що планується (сумарний грошовий потік або чистий грошовий потік);

- чиста приведена вартість (NPV) (2.17);

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IC, \quad (2.17)$$

де CF_t – дохід за період t ; IC – величина початкових витрат; r – процентна ставка дисконтування для одного періоду (зазвичай рік); n – кількість періодів експлуатації проекту, років;

- індекс рентабельності (PI) (2.18);

$$PI = \frac{NPV_i}{(1+r)^i} / IC + 1, \quad (2.18)$$

де NPV_i – чистий грошовий дохід i року; r – ставка дисконтування; IC – первинні вкладення на реалізацію інвестиційного проекту;

- внутрішня норма рентабельності (IRR) (%) (2.19);

$$IRR = r_i + \frac{NPV_{r_1}}{NPV_{r_1} + NPV_{r_2}} (r_2 - r_1), \quad (2.19)$$

де r – ставка дисконтування; r_1 – це ставка, за якої $NPV_{r_1} > 0$; r_2 – це ставка, якщо $NPV_{r_2} < 0$;

- дисконтований період окупності (DPP) (років) (2.20):

$$DPP = IC / \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (2.20)$$

де CF_t – чистий грошовий дохід t року, грн; r – процентна ставка дисконтування для одного періоду, t – кількість періодів експлуатації проекту, років; IC – початкові інвестиції у проект.

Основним показником, що визначає собівартість гібридної установки є річне виробництво електроенергії для споживання та/або продажу у ОЕС України. Для будь-якого виду ВДЕ ефективність їх роботи оцінюється

показником, який називається КВВП – це відношення фактичного річного виробництва енергії генеруючими пристроями (P) до максимально можливого (M) (2.21) [55]:

$$\text{КВВП} = \frac{P}{M} \quad (2.21)$$

В табл. 2.2 зазначено результати розрахунку показників економічної ефективності проектів у сфері відновлюваної енергетики на прикладі ВЕС, СЕС і БМЕС. Зарубіжна практика впровадження ГСАДЕ свідчить про те, що комбіновані системи мають значні економічні переваги у впровадженні та терміні повернення грошових інвестицій у порівнянні з окремими елементами ВДЕ.

Таблиця 2.2

Показники економічної ефективності проектів у сфері відновлюваної енергетики (Інвестиції: 100 млн дол. США) (2019 рік)

№	Показник	Одиниці вимірювання	ВЕС	СЕС	БМЕС
<i>Початкові параметри</i>					
1	«Зелений» тариф на електроенергію за Законом України	дол. США/кВт·год	11.22	17.93	13.60
2	Потужність встановлена	МВт	67	67	23
3	КВВП	кВт·год	0.40	0.12	0.75
4	Ставка податку на прибуток	%	18		
5	Ставка дисконтування	%	7		
<i>Кредитна схема</i>					
6	Відсоток річних	%	7		
7	Термін повернення кредиту	років	25		
8	Частка власних інвестицій	%	30		
<i>Енергетика</i>					
9	Потужність середня робоча	МВт	27	8	17
10	Середньорічне виробництво електроенергії (далі – e/e)	млн кВт·год	235	70	151
<i>Економіка</i>					
11	Сума інвестицій в проект	млн дол. США	100		
12	Середня собівартість e/e	дол. США/кВт·год	3.23	10.80	6.57
13	Нормована собівартість e/e (LCOE)	дол. США/кВт·год	5.47	18.20	9.76
14	Внутрішня норма рентабельності (IRR)	%	15.7	6.0	12.2
15	Термін повернення інвестицій (PP)	років	6-7	11-12	8-9

Примітка: сформовано автором на основі [22; 51; 55]

В табл. 2.3 наведені основні економічні показники досліджень проектів ГСАДЕ щодо потужностей систем, загальної вартості систем, виробництва електроенергії за рік і повернення інвестицій (термінів окупності) у різних країнах.

Таблиця 2.3

**Показники економічної ефективності проектів ГСАДЕ у різних країнах
(за період 2017-2020 рр.)**

Країна	Елементи системи ГСАДЕ	Потужність (кВт)	Загальна вартість системи (дол. США)	Виробництво е/е за рік (кВт·год)	Термін окупності (років)
Індія	СЕС+ВЕС+СНЕ	136,0	944 762,7	248 127,0	4-6
Бангладеш	СЕС+БМЕС+СНЕ	13,8	26 072,5	3 724,6	8-10
Португалія	СЕС+ВЕС+МГЕС	9 540,0	3 781 742,0	599 189,8	8-10
Бангладеш	СЕС+БМЕС	176,0	1 383 410,0	492 428,0	11-13
Йорданія	СЕС+ВЕС+СНЕ	44 000,0	44 171 644,0	145 642 882,0	4-6

Примітка: сформовано автором на основі [92; 103; 133; 141; 145; 179; 214]

Різні ТВЕ мають свої економічні показники ефективності, які нами було систематизовано в табл. 2.4. Найбільші витрати на встановлення енергетичних потужностей необхідні традиційним джерелам енергії (АЕС та теплова енергетика – 6,1-6,9 тис дол. США/кВт), найменші ж необхідні для ВДЕ (ВЕС – 1,5-1,9 тис дол. США/кВт і СЕС – 1,4-4,4 тис дол. США/кВт).

Таблиця 2.4

Економічні показники ефективності використання різних ТВЕ в Україні

Економічні характеристики	Рік	БМЕС, БГЕС	ВЕС		СЕС	АЕС та теплова енергетика
			На узбережжі	На суші		
Витрати на встановлення потужності, тис дол. США/кВт	2018	2,7 (1,1-5,0)	4,6 (4,0-5,0)	1,6 (1,5-1,9)	5,6 (4,0-7,0)	6,1-6,9
Собівартість електроенергії, євроцентів/кВт·год	2018	0,07 (0,05-0,16)	0,14 (0,10-0,23)	0,06 (0,04-0,20)	0,23 (0,20-0,27)	0,05-0,12
	2020	-----	0,07 (0,05-0,08)	0,05 (0,02-0,10)	0,08 (0,07-0,10)	

Економічні характеристики	Рік	БМЕС, БГЕС	ВЕС		СЕС	АЕС та тепла енергетика
			На узбережжі	На суші		
Обсяги інвестування, млн дол. США	2020	14,5	9			-----
	2035	39,5	25			-----

Примітка: авторська розробка на основі [51; 72; 186]

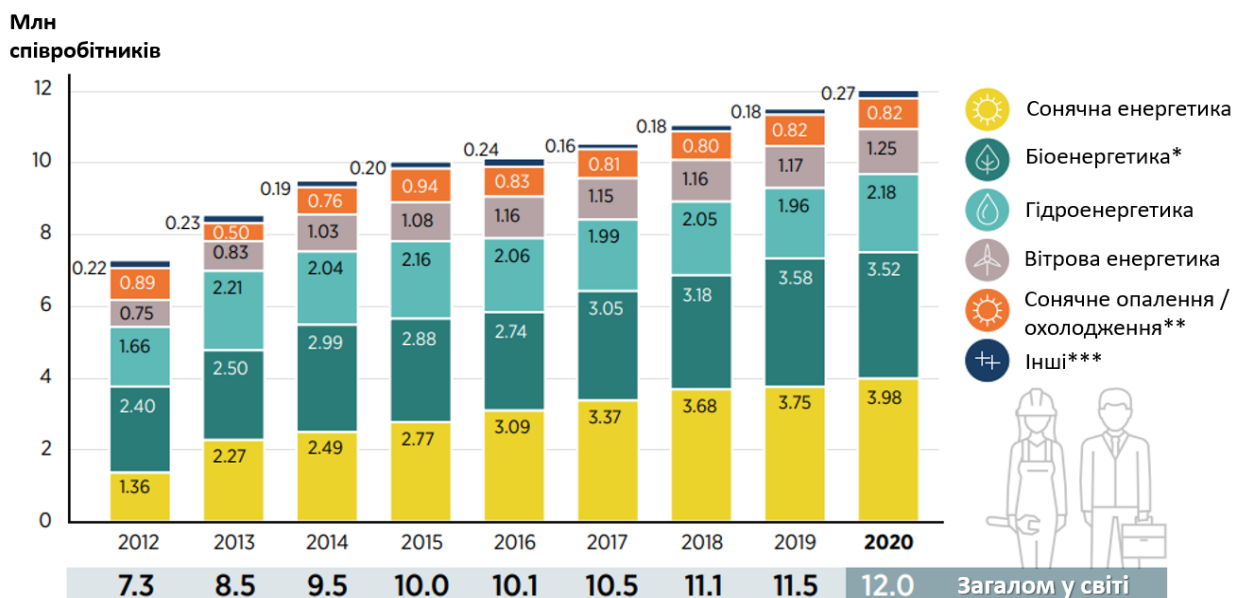
В Україні необхідно розвивати теоретичні дослідження ГСАДЕ для подальшої реалізації на практиці, маючи при цьому обґрунтований економічний ефект від впровадження згідно з зарубіжним досвідом. Стрімка та позитивна динаміка розвитку економічних показників ефективності альтернативних джерел енергії є результатом послідовної державної політики, спрямованої на розвиток сфери використання ВДЕ, що забезпечує підвищення екологічної та енергетичної безпеки, а також диверсифікацію джерел енергії.

2.3. Вплив соціально-еколого-економічних чинників на визначення потужностей гібридних установок у регіонах та управління інвестиційною привабливістю галузі альтернативної енергетики

Технології альтернативних джерел енергії знаходяться в основі необхідного світового енергетичного переходу до «зеленої» енергетики. В розрізі даної тематики нами проаналізовано соціально-еколого-економічні чинники позначення ефекту впливу від використання альтернативної енергетики на соціальні, екологічні та економічні сфери суспільства.

- Соціальна сфера:
 - *Працевлаштування у секторі ВДЕ:*

Працевлаштування у секторі ВДЕ – це робочі місця, безпосередньо пов'язані з виробництвом, передачею та розподілом «зеленої» енергії, підвищенням енергоефективності за рахунок виробництва енергозберігаючих продуктів, зведених енергоефективних будівель і надання послуг, що знижують кінцеве споживання енергії. Зайнятість у сфері ВДЕ продовжує зростати в усьому світі з 2012 р. (рис. 2.7): із 7,28 до 12 млн осіб у 2020 році [138].



Примітки:

* Включає рідке біопаливо, тверду біомасу та біогаз

** Сонячне опалення - використання сонячного світла для нагрівання води або повітря в будівлях

*** «Інші» включають геотермальну енергію, концентровану сонячну енергію, теплові насоси (наземні), енергію океану тощо

Рис. 2.7. Працевлаштування у секторі ВДЕ в світі (на кінець 2020 р.)

Примітка: сформовано автором на основі [138]

У більшості секторів впровадження альтернативних джерел енергії перші місця за чисельністю працівників займає Азійський регіон. Лише в одному Китаї нараховується більше 4 млн осіб, які працюють у секторі ВДЕ. Для порівняння у всіх країнах ЄС разом – трохи більше 1 млн осіб (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Світові показники працевлаштування у секторі ВДЕ (на кінець 2020 р.)

Сектор ВДЕ	Чисельність працівників у світі (млн осіб)	Топ-4 країн із найбільшою кількістю працівників і ЄС (млн осіб)
Сонячна енергетика (сонячне опалення та охолодження)	4,79	<ul style="list-style-type: none"> ● Китай – 2,97 ● Бразилія – 0,12 ● Індія – 0,19 ● США – 0,23 ● ЄС – 0,22
Енергетика з рідкого біопалива (біомаса та біогаз)	3,51	<ul style="list-style-type: none"> ● Китай – 0,38 ● Бразилія – 0,87 ● Індія – 0,18 ● США – 0,32 ● ЄС – 0,67
Гідроенергетика	2,18	<ul style="list-style-type: none"> ● Китай – 0,81 ● Бразилія – 0,18 ● Індія – 0,32 ● США – 0,07 ● ЄС – 0,08

Сектор ВДЕ	Чисельність працівників у світі (млн осіб)	Топ-4 країн із найбільшою кількістю працівників і ЄС (млн осіб)
Вітрова енергетика	1,25	<ul style="list-style-type: none"> ● Китай – 0,55 ● Бразилія – 0,04 ● Індія – 0,04 ● США – 0,12 ● ЄС – 0,26

Примітка: сформовано автором на основі [138]

Аналіз витрат і результатів, проведений для оцінювання державних і приватних інвестицій в енергетику показав [22; 133], що в середньому витрати у секторі ВДЕ в розмірі 1 млн дол. США створюють 7,49 робочих місць на повну ставку, що майже втричі більше, ніж 2,65 робочих місць у секторі викопного палива. Основну кількість посад займають чоловіки, проте за останні роки частка жінок у робочій силі помітно зростає та становить близько 32% у секторі ВДЕ, в порівнянні з 22% в енергетичному секторі в цілому. У проведеному дослідженні в США [160] зазначено, що мінімальна погодинна оплата у секторі ВДЕ та енергоефективності становила 28,41 дол. США у 2019 р. та перевищувала середню заробітну плату в 23,86 дол. США по всій економіці.

Аналізуючи працевлаштування у секторах ВДЕ України було досліджено два основних напрямів альтернативних джерел енергії – це сонячна та вітрова енергетики. Згідно з даними у відкритих джерелах, у 2014-2019 рр. сектор сонячної енергетики забезпечив зайнятість 40 791 осіб, а вітрова енергетика – 4 219 осіб [32]. Етапи залучення працівників у сфері ВДЕ включають планування проектів, виробництво обладнання, логістичні процеси, встановлення, підключення до мережі, утримання та технічне управління, а також зняття установок з експлуатації [178].

У червні 2020 р. в Україні середня заробітна плата у відновлюваній енергетиці мала нижню межу оплати праці в розмірі 15 тис грн на місяць, в той час як мінімальна заробітна плата станом на червень 2020 р. становила 4 723 грн. Такий мінімальний рівень оплати праці мали наступні фахівці: енергетики, електрики-інженери, механіки, адміністративний та технічний персонал, а також будівельні робітники. Професійні керівники бізнес-процесів (повного циклу)

проекту та директори компаній у секторі ВДЕ України мають максимальний рівень заробітної плати – до 15 тис дол. США [32].

○ *Освіта:*

У 2020 р. експерти Європейсько-Української Енергетичної Асоціації провели аналіз щодо наявності дефіциту кадрів і кваліфікації працівників із представники національних і міжнародних компаній, що працюють у сфері ВДЕ та енергоефективності [32]. Більше 89% опитаних респондентів підтвердили наявність дефіциту кваліфікованих працівників: понад 50% опитаних оцінили наявний дефіцит як дуже значний (близько 67,6%) і лише 10-30% респондентів оцінили як незначний (менше 10%), всі інші відповіли усередненими значеннями. Наразі близько 90% національних і міжнародних компаній інвестують власті кошти задля підвищення кваліфікацій працівників (тренінги, вебінари, онлайн-курси тощо) та вважають, що за останні роки рівень кваліфікації працівників значно підвищився у сфері ВДЕ України.

На думку опитаних представників енергетичних компаній [32] унаслідок інтенсивного розвитку в Україні сектору ВДЕ вже з'явилися такі нові й суміжні професії як монтажники турбін або сонячних панелей, сервісні інженери-енергетики, сайт-менеджери (контент-менеджери), менеджери проектів тощо. Додатково представники компаній наголошують, що кваліфіковані співробітники можуть використовувати набуті знання і досвід роботи, а також професійні навички під час роботи у секторі ВДЕ скрізь, де необхідні технічні навички у зв'язку з подальшим науково-технічним прогресом суспільства та діджіталізації.

Згідно з рекомендаціями від представників Міністерства освіти і науки України [53], в умовах воєнного стану в Україні та дистанційного навчання, комунікації між викладачами, вчителями, студентами, школярами тощо, доцільно здійснювати використовуючи діджіталізовані (онлайн) засоби. Викладання лекційного матеріалу в онлайн-форматі, проведення практичних занять дистанційно за допомогою освітніх онлайн-ресурсів і онлайн-платформ, потребують додаткового залучення енергоресурсів із енергосистеми України

(наприклад, для живлення комп'ютерів, ноутбуків, смартфонів, інтернет-роутерів, забезпечення безперебійним електропостачання будинків від мережі тощо) [24; 68], у зв'язку з чим наявна нагальна потреба у впровадженні нових інноваційних енергетичних технологій, а саме локальних і автономних енергосистем.

- Економічна сфера:

- *Валовий внутрішній продукт (ВВП):*

ВВП – це використовуваний показник доходу та зростання економіки. Відповідно до експертних оцінок трансформація енергетики за рахунок ВДЕ збільшить світовий ВВП у 2,4 рази до 2050 р. в порівнянні з 2019 роком. Сукупне збільшення грошових оборотів у економіці з 2019 р. по 2050 р. становитиме 98 трильйонів дол. США [135]. На такі дані впливають кілька драйверів світової економіки, що показано на рис. 2.8.

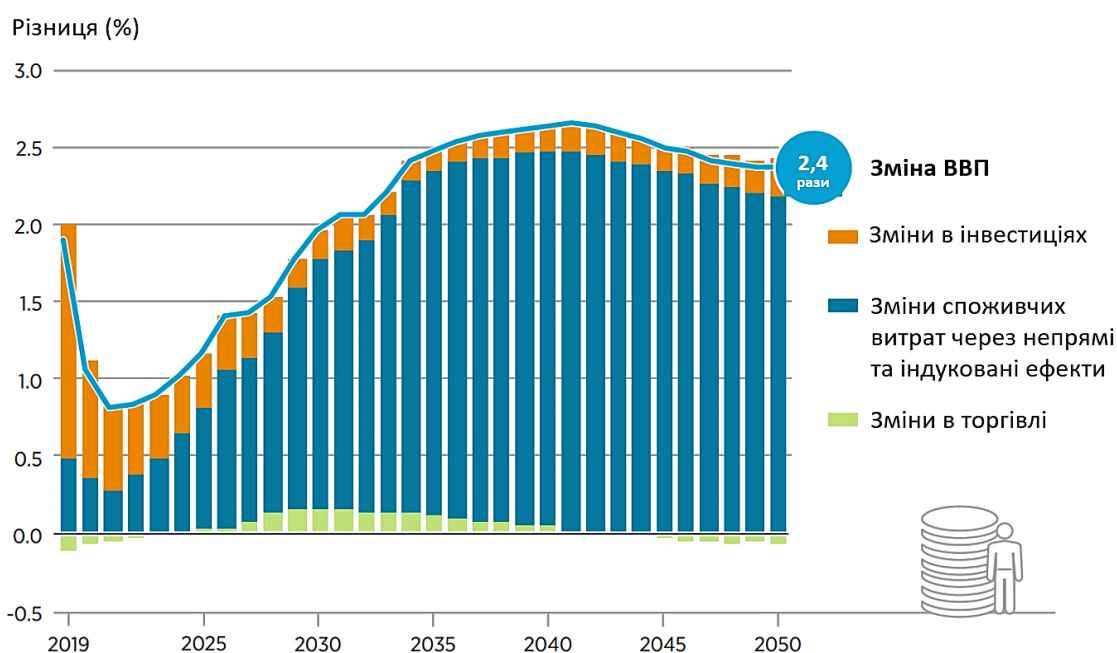


Рис. 2.8. Трансформація енергетики за рахунок ВДЕ збільшить світовий ВВП

Примітка: побудовано автором на основі [135; 137]

Драйвери збільшення робочих місць і ВВП включають зміни в інвестиціях і торгівлі, а також індуквані і непрямі ефекти:

- зміни в інвестиціях – цей драйвер стосується чистого впливу загальних інвестицій в економіку та включає ефект збільшення інвестицій, пов'язаних з

перехідним періодом (ВДЕ, енергоефективність, гнучкість енергоспоживання тощо), а також скорочення інвестицій в традиційну енергетику;

- зміни в торгівлі – цей драйвер включає в себе вплив торгівлі як енергоносіями, так і пов'язаними з ними елементами. Збільшення імпорту або скорочення експорту негативно впливає на ВВП, тоді як зменшення імпорту або збільшення експорту має зворотний ефект;

- індуковані та непрямі дії – цей драйвер відображає зміни в споживчих витратах через вплив споживчих цін і податково-бюджетної політики, а також включає зміни в економічній діяльності через дію на ланцюжок поставок, що виникають в результаті виплат виробникам в даному ланцюжку поставок і інших ефектів, пов'язаних зі змінами в рівні зайнятості або заробітної плати існуючих співробітників.

Інвестиційний драйвер вносить найбільший внесок в прибуток в перші роки перехідного періоду, залишаючись позитивним, але з відносно низьким впливом надалі. Драйвер торгівлі вносить незначний внесок в приріст світового ВВП, враховуючи внутрішню вимогу збалансованості світової торгівлі в нормальних умовах. Найбільша частка позитивних результатів глобального ВВП пояснюється змінами споживчих витрат у відповідь на зміни в податково-бюджетній політиці.

○ *Енергоємність ВВП:*

Енергоємність ВВП – це узагальнений макроекономічний показник, який використовується для визначення енергоефективності економіки будь-якої країни та визначається відношенням загальних обсягів спожитих енергоресурсів на одиницю ВВП за певний період часу [28]. За даними 2018 р., енергоємність ВВП України становила 0,238 кг нафтового еквіваленту на долар виробленої продукції (у цінах 2015 року). Така цифра свідчить про те, що українська економіка є однією з найменш енергоефективних у світі [28; 175] (рис. 2.9).

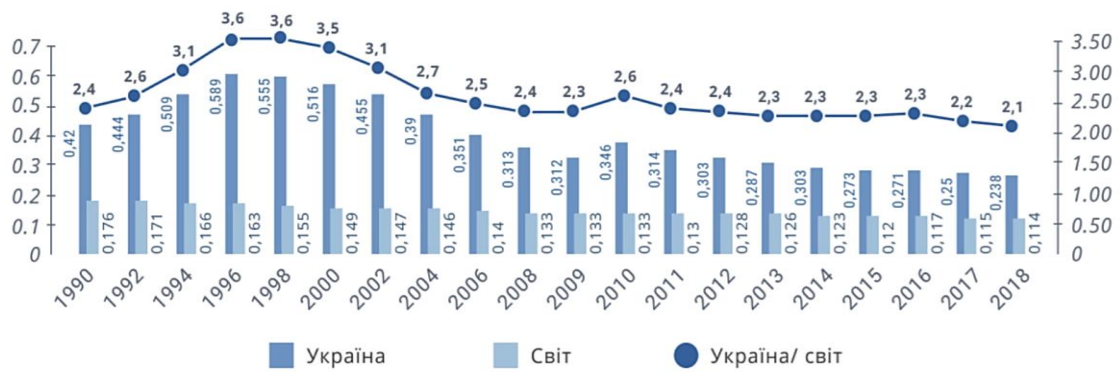


Рис. 2.9. Динаміка енергоємності ВВП в цінах 2015 р., кг.н.е./дол. США
Примітка: побудовано автором на основі [28; 175; 190]

Енергоємність ВВП України є у 2,0-3,6 рази вищою (рис. 2.10), чим у країн-сусідів (Польщі, Чехії, Румунії), а також вдвічі перевищує середньосвітовий показник. Причинами енергоємності ВВП є амортизація, застарілість обладнання і технологічних процесів, а також висока частка енергоємних виробництв у ВВП країни та недостатньо розвинені сфери послуг і інформаційних технологій.

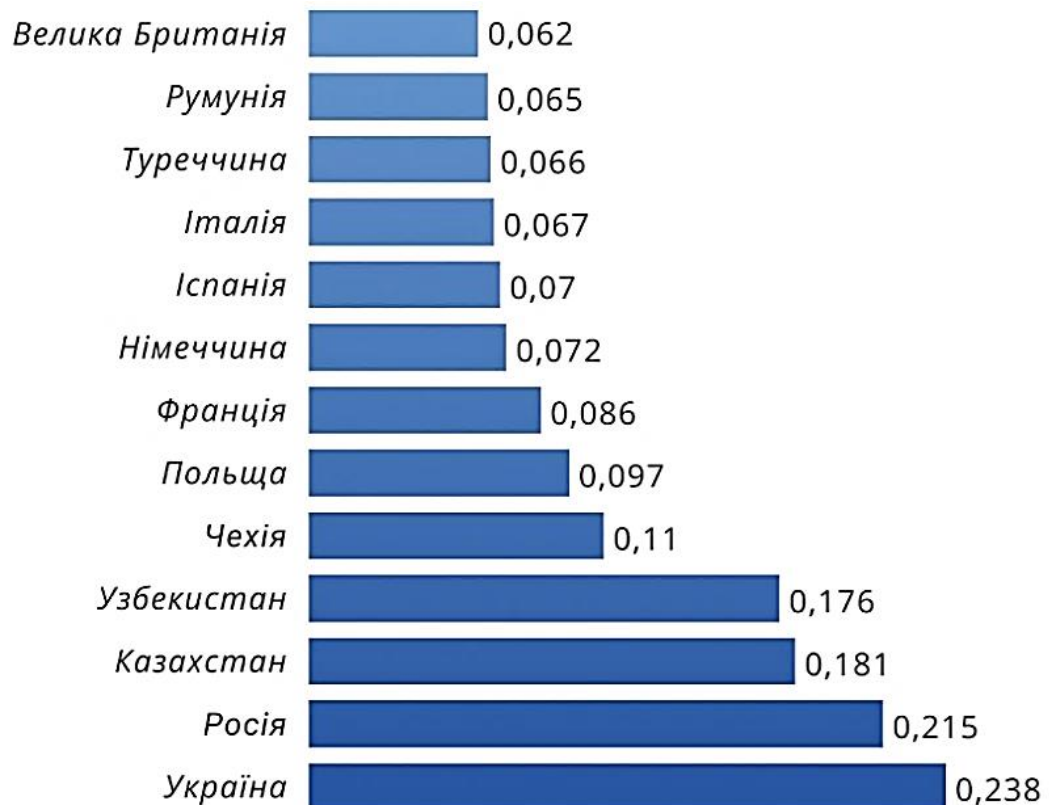


Рис. 2.10. Енергоємність ВВП в 2018 р. в цінах 2015 р., кг.н.е./дол. США
Примітка: побудовано автором на основі [28]

Сучасний темп економічного розвитку надзвичайно динамічний: споживання енергії суспільством зростає кожного дня, саме тому світові тенденції тяжіють до зниження енергоємності індустріальних процесів внаслідок використання альтернативних джерел енергії з інноваційними методами управління та енергоефективних технологій. Україна, незважаючи на весь її потенціал розвитку енергетичного сектору, залишається країною залежною від імпорту палива та характеризується його вкрай неефективним використанням, а також володіє значним потенціалом розвитку альтернативної енергетики, який на сьогоднішній час не використовується в повному обсязі.

- Екологічна сфера:

- *Викиди парникових газів і кліматичні зміни:*

Одним з основних напрямків підвищення екологічної прийнятності енерговиробництва є збільшення частки екологічно чистих ВДЕ.

Як було зазначено у підрозділі 1.1 Розділу 1, використання традиційних джерел енергії призводить до погіршення екології, в результаті чого людство має боротися з проблемами глобального потепління, озонових дір, радіаційних викидів, забруднення повітря, води і земельних ресурсів. Така ситуація негативно впливає на стан здоров'я теперішніх і майбутніх поколінь, а тому є соціальним каталізатором процесу становлення «зеленої» енергетики. Електростанції на альтернативних джерелах не забруднюють екологію, а дають можливість одержати відновлювану енергію без відходів і негативного впливу на екосистеми.

Відомо, що для виробництва 1 кВт·год енергії необхідно або близько 1 кг деревини, або 0,25 кг нафти, або 0,35 кг вугілля [22]. На прикладі ВЕС з 1 км² площі, на якій воно споруджено, можна отримувати в середньому 80 000 кВт·год електроенергії на рік. Отже, використання ВЕС допоможе заощадити ~270 тон вугілля або ~200 тон нафти на рік для сталого переходу на альтернативні джерела енергії без шкоди навколишньому середовищу.

Отже, забезпечення успішного розвитку сектору ВДЕ потребує мінімізації політичних коливань від сильних заходів підтримки до агресивного стримування

і має супроводжуватися реалізацією належної енергетичної політики, спрямованої, серед іншого, на збільшення зайнятості, забезпечення кваліфікаційного та професійного розвитку і підготовки працівників. При цьому належне поєднання заходів щодо сприяння та обмежень, заохочення іноземних інвестицій з нарощуванням внутрішніх можливостей повинне враховувати конкретні умови країни чи регіону.

Зростання кількості робочих місць у секторі ВДЕ вище, ніж втрата робочих місць в сфері викопного палива [132]. Це найбільш сприятлива ситуація для енергетичного сектору, що пропонує людям, які втратили роботу в сфері викопного палива, можливості знайти нову роботу в галузі альтернативної енергетики. Плавного переходу від традиційних джерел до альтернативних джерел енергії можна домогтися за рахунок зниження залежності від викопного палива та реалізації амбітної декарбонізаційної політики держави, спрямованої на створення великої кількості внутрішніх робочих місць в секторі ВДЕ.

В умовах глобальної енергетичної трансформації, країни світу прагнуть максимізувати соціальні, екологічні, економічні та організаційно-управлінські вигоди цього процесу. Одночасно з декарбонізацією та реалізацією кліматичних цілей щодо захисту навколишнього середовища, країнам необхідно створювати та впроваджувати нові робочі місця з високим рівнем підготовки працівників задля стимулювання економічного розвитку. Це є особливо актуальним в сучасному кризовому стані економіки України та світу, спричиненому пандемією COVID-19 та повномасштабним російським вторгненням на територію нашої держави. Для відбудови та відновлення зруйнованої енергетичної інфраструктури необхідно впроваджувати інноваційні технології виробництва електроенергії, якими можуть стати ГСАДЕ.

Підвищення привабливості інвестиційних проектів у відновлюваній енергетиці і зменшення ризиків призвело до різкого зростання інвестицій в цю галузь. За 2021 р. у ВДЕ було інвестовано 366 млрд дол. США у світі, а у традиційні джерела енергії лише 164,43 млрд дол. США [132]. До 2050 р.

планується залучити у розвиток альтернативних технологій близько 13 трильйонів дол. США [175].

На рис. 2.11 представлено огляд глобальних тенденцій інвестування у світовий розвиток ВДЕ.

Серед країн-лідерів в частині обсягів інвестицій у ВДЕ аналітики [132] виділяють Китай (266 млрд дол. США), США (114 млрд дол. США) та країни-члени ЄС (154 млрд дол. США).

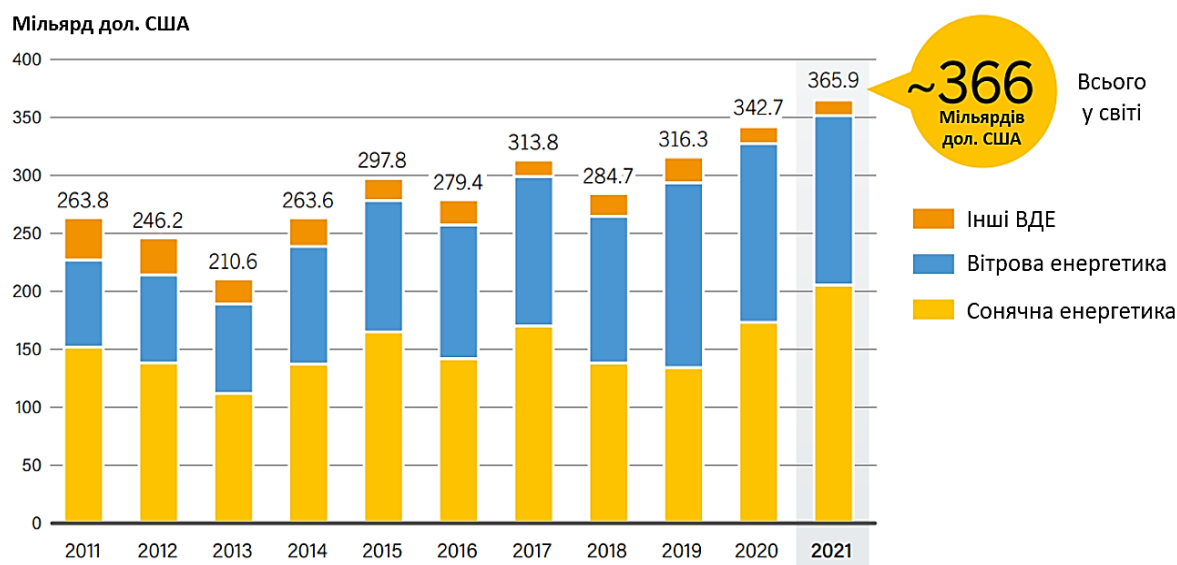


Рис. 2.11. Світові інвестиції у ВДЕ по різних джерелах енергії (2011-2021 рр.)
Примітка: побудовано автором на основі [132; 136]

Для стимулювання розвитку та залучення інвестицій до сектору відновлюваної енергетики у багатьох країнах світу впроваджуються різноманітні механізми підтримки:

- «зелений» тариф (анг. Feed-in tariff) – гарантує виробникам фіксовані ціни на електроенергію з ВДЕ протягом певного періоду;

- «преміум-зелений» механізм (анг. Feed-in premium) – передбачає додаткову оплату до ринкової ціни на електроенергію. Доплата може бути як фіксованою, так і адаптованою до зміни ринкових цін;

- квотні зобов'язання з торговельними «зеленими» сертифікатами – у порівнянні з «преміум-зеленим» механізмом та «зеленим» тарифом, – це означає, що уряди встановлюють кількість e/e, а ціну визначає ринок. Мінімальна частка електропостачання повинна бути вироблена ВДЕ і ця частка з часом

збільшується. Постачальники можуть торгувати сертифікатами на електроенергію з ВДЕ, якщо вони не можуть досягти мінімальної частки у власному виробництві. Сертифікати повинні бути надані компетентному органу. Основні переваги кватного зобов'язання з торговими ринками «зеленого» сертифіката – висока сумісність із ринковими принципами та визначення конкурентних цін;

- аукціони – механізм призначений для розподілу підтримки за різними видами ВДЕ в процесі конкурсних торгів;

- позики на пільгових умовах, гарантійні зобов'язання держави за наданими позиками, різноманітні податкові пільги та інвестиційні гранти – це також механізми підтримки для створення додаткових стимулів інвестування та розвитку ВДЕ [68; 178].

В Україні найбільш розвинений механізм підтримки – «зелений» тариф. Більшість країн ЄС використовують «преміум-зелений» механізм та «зелений» тариф, а також аукціони для стимулювання розвитку енергетичного сектору з вектором на альтернативні джерела енергії.

Розробляючи стратегічні програми розвитку енергетики для розвитку та управлінням енергосектору, Уряд України прагне створити сприятливий інвестиційний клімат для компаній, працюючих у сфері розвитку альтернативної енергетики, щоб залучити потенційних вітчизняних і іноземних інвесторів задля впровадження нових проектів. В процесі прийняття рішень щодо вкладання інвестицій в той чи інший проект, інвестор оцінює чотири агреговані показники:

- ризики проекту;
- економічна ефективність проекту;
- ступінь зацікавленості держави у відповідних проектах, як індикатор рівня їх державної підтримки;
- успішність досвіду реалізації подібних проектів у державах ЄС.

Ризики інвестування:

Основними ризиками інвестиційних проектів у відновлюваній енергетиці, які в принципі можуть негативно впливати на інвестиційну привабливість даної галузі, є:

- зменшення попиту на електроенергію;
- збільшення конкуренції;
- помилки в довгостроковому прогнозі виробництва електроенергії ;
- відміна або зменшення «зеленого тарифу» на електроенергію електростанцій, що працюють на основі ВДЕ;
- відмова держави від покупки всієї електроенергії;
- військовий стан і військові дії на території держави;
- валютний ризик падіння курсу гривни тощо.

Інтегральну оцінку ризикованості проекту інвестор визначає, отримавши інформацію щодо оцінок ймовірностей реалізації ризиків.

Економічна ефективність інвестиційних проектів:

Для попереднього оцінювання економічної ефективності інвестицій з метою обґрунтування вибору проектів для їх реалізації в міжнародній практиці зазвичай застосовується спеціально розроблений галузевий показник – нормована собівартість електроенергії (LCOE). Цей показник є настільки важливим і загальноживаним для прийняття інвестиційних рішень, що дослідження його виконуються в географічному та технологічному розрізах авторитетними американськими, європейськими консалтинговими компаніями, а також профільними професійними об'єднаннями. Результати цих досліджень публікуються в Інтернеті з відкритим доступом, тому доступні для використання [132]. Саме ці готові результати доцільно використовувати для аналізу привабливості інвестицій. Високою достовірністю відзначаються відповідні аналітичні матеріали, розробниками яких є:

- Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA) – «International Renewable Energy Agency».
- Інформаційна корпорація «Bloomberg».
- Міжнародне енергетичне агентство – «International Energy Agency».

- Міжнародні консалтингові компанії: «Lazard» (наразі ця компанія є радником Міністерства фінансів України), «Ember», «Ernst & Young», «Fichner» тощо.

Європейський досвід реалізації аналогічних проектів:

Успішність реалізації аналогічних інвестиційних проектів в Європі є необхідною (але не достатньою) умовою їх успішності в Україні. Успішні інвестиційні проекти підвищують рівні привабливості галузей відновлюваної енергетики, в яких вони реалізовані. Тому, в ці галузі збільшується залучення інвестицій. Для виконання порівняльного аналізу інвестиційних потоків доцільно використовувати дані в розрізі галузей відновлюваної енергетики, які є доступними на європейських фахових аналітичних і статистичних сайтах з електроенергетики:

- ретроспективну динаміку обсягів інвестицій в галузі відновлюваної енергетики;
- суми коштів, витрачених на придбання активів профільних компаній (ретроспективні дані);
- ретроспективні дані щодо структури інвестицій з точки зору способів їх фінансової реалізації;
- прогнози обсягів інвестицій в галузь відновлюваної електроенергетики.

Зацікавленість української держави в реалізації інвестиційних проектів з відновлюваної енергетики:

Ця зацікавленість матиме місце за наявності в інвестиційних проектах не лише необхідної інвестору економічної ефективності, а й суспільної ефективності, основними складовими якої є:

- проведення прискореної реновації енергетичного обладнання;
- забезпечення суттєвої економії імпортного палива і валютних коштів за його оплату:
 - шляхом сприяння виконання міжнародних зобов'язань України щодо: посилення норм локальних викидів шкідливих речовин,

запобігання зміни клімату, стимулювання розвитку відновлюваної енергетики;

- створення в Україні масштабного виробництва комплектуючого обладнання для електростанцій, що працюють на базі ВДЕ (наразі в Україні поступово розвивається виробництво обладнання для ВДЕ, що сприяє створенню робочих місць та залучення нових інвестицій у сектор відновлюваної енергетики):

- із 2012 р. на базі Краматорського заводу важкого верстатобудування виробляли вітрові генератори мегаватного класу до ВЕС [147], до початку військової агресії зі сторони РФ;

- у 2014 р. в селі Луки Самбірського району Львівської області запустили завод з виготовлення біодизелю потужністю 25 тонн палива на добу з ріпаку [215];

- у 2018 р. в м. Енергодар відкрито завод з виробництва СЕС потужністю 15 МВт [202];

- у 2019 р. компанія «KNESS Group» [144] запустила завод для виробництва комплектуючих до СЕС в Україні тощо;

- децентралізація генерації електроенергії, за рахунок якої електростанції наближуються до споживачів електроенергії, в результаті чого зменшуються втрати електроенергії при її передачі, збільшуються податкові надходження до місцевих бюджетів, в регіонах створюються робочі місця.

Порівняльний аналіз показників інвестиційної привабливості галузі альтернативних джерел енергії України:

Аналіз ризиків:

Ризик зменшення попиту на електроенергію є незначущим – це твердження обґрунтовується тим, що масштабні економічні реформи, які здійснюються в Україні, неминуче призведуть до пожвавлення економіки держави, наслідком чого стане збільшення попиту на електроенергію. Особливо стійким буде попит на електроенергію, що виробляється з ВДЕ. Це пояснюється тим, що всі технології генерації електроенергії з ВДЕ:

- не потребують валютних витрат на імпортне паливо, поставки якого є залежними від політичних оцінок і рішень країн-постачальників;
- гарантують відсутність викидів, шкідливих для здоров'я людей, а також для навколишнього середовища;
- не мають викидів парникових газів, які призводять до зміни клімату на планеті.

Ризик похибки довгострокового прогнозу виробництва електроенергії в цих проектах мінімізований залученням даних довгострокових спостережень параметрів первісної енергії і застосуванням сучасних перевірених на практиці математичних моделей перетворення первісної енергії (вітру, сонця, біомаси) в електроенергію.

З рис. 2.12 випливає, що в Україні споживання електроенергії зростає набагато швидше, ніж в ЄС.

Слід зазначити, що значні інвестиції в світі здійснюються в об'єкти вітрової та сонячної енергетики (рис. 2.11). Так, на рис. 2.13 зазначено, що активи компаній, що займались інвестиційним проектами електростанцій на біомасі та біогазі для генерації електроенергії протягом 2010-2020 рр. були менш привабливими для інвесторів.

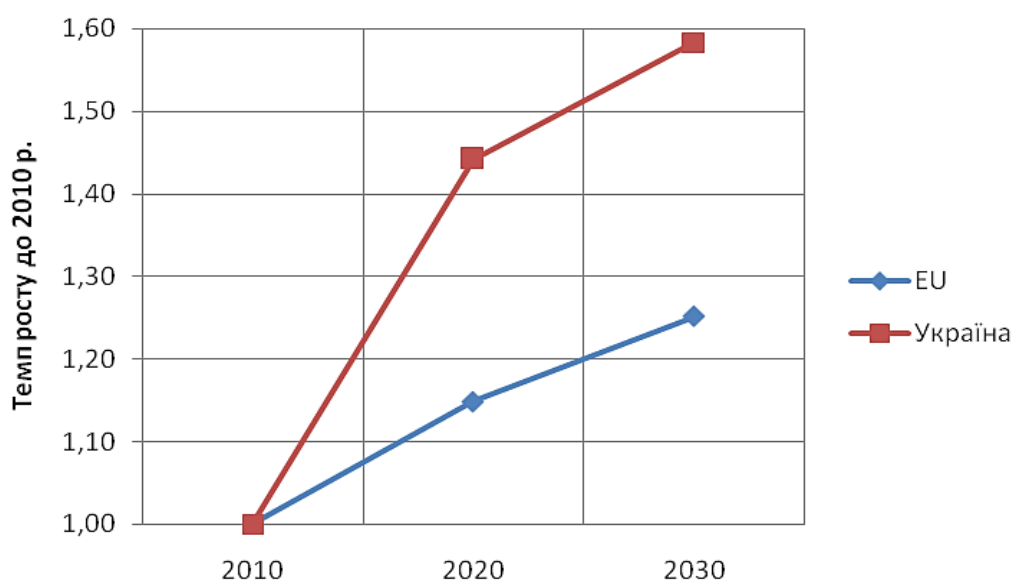


Рис. 2.12. Прогноз збільшення споживання електроенергії в Україні і в ЄС (%)
Примітка: побудовано автором на основі [22]

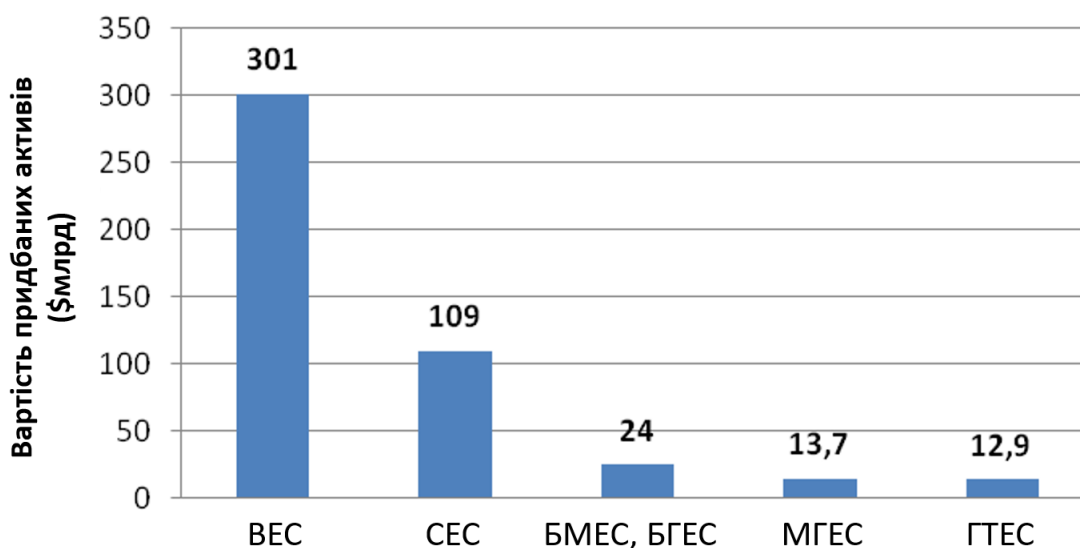


Рис. 2.13. Придбання в світі активів компаній з ВДЕ за 2010-2020 рр.
Примітка: побудовано автором на основі [132]

На рис. 2.14 подано відсоткову структуру інвестицій у відновлювану енергетику України (згідно з «Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» [65]) і Європи (згідно з «Інвестиційним планом ЄС» [51]): СЕС, ВЕС та БМЕС/БГЕС (БіоЕС).

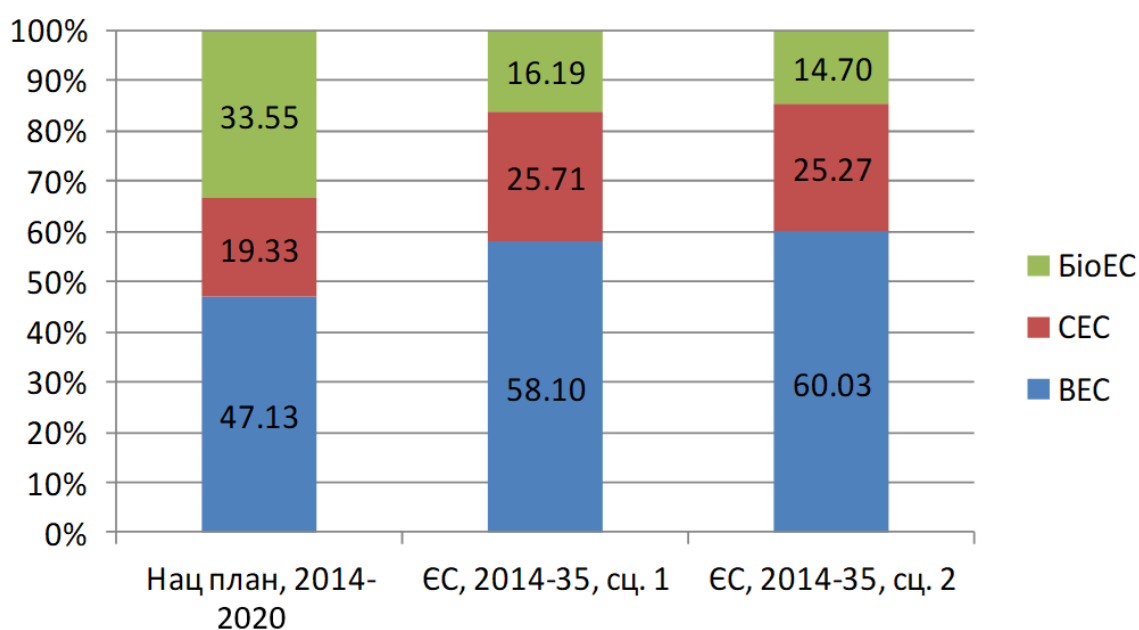


Рис. 2.14. Відсоткове співвідношення інвестицій у ВДЕ України і ЄС
Примітка: побудовано автором на основі [51]

Зниження інвестиційної привабливості біоенергетики можна пояснити наступним чинниками:

- Найвнистю в технологіях БМЕС і БГЕС складових капітальних витрат (таких як вартість приміщення для зберігання сировини тощо) та поточних витрат (такі як паливна складова, вартість транспортування сировини тощо), які не зменшуються з часом. Наслідком цього є стабільно висока собівартість електроенергії у біоенергетиці. Такі складові для ВЕС і СЕС відсутні, тому за рахунок технічного прогресу собівартість їх електроенергії постійно зменшується.

- Найвищими питомими витратами на землю (необхідною площею для генерування електроенергії), згідно з рис. 2.15.

- Необхідністю запровадження високого «зеленого» тарифу на електроенергію з БМЕС, БГЕС (за оцінкою Європейського банку реконструкції та розвитку – 15-17 євроцентів/кВт·год, для забезпечення їм інвестиційної привабливості) [196].

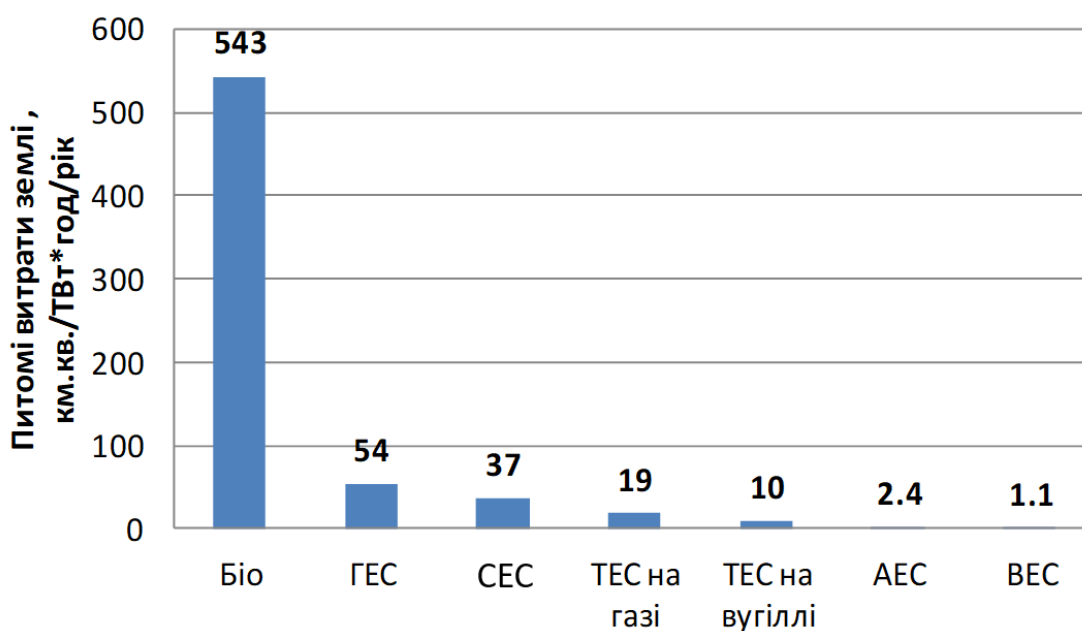


Рис. 2.15. Питомі витрати землі на генерування електроенергії за ТВЕ
Примітка: побудовано автором на основі [22]

Нажаль, із 2020 р. з'явилися додаткові ризики при впровадженні альтернативних джерел енергії в Україні – це заборгованості по виплатах постачальниками, які продають державі електроенергію, вироблену з ВДЕ по «зеленому» тарифу. За прийнятим Законом [38], у 2020 р. всі заборгованості інвесторам мали бути повністю виплачені до кінця 2021 р., а також надані

державні гарантії для інвесторів щодо вчасних і повних розрахунків по «зелених» тарифах на майбутнє, проте станом на початок 2022 р. заборгованості зі сторони держави не були виплачені постачальникам «зеленої» електроенергії в повному обсязі.

Підсумовуючи викладене, можна зробити висновок, що з основних галузей української відновлюваної енергетики, тобто вітроенергетики, сонячної енергетики, біоенергетики та малої гідроенергетики, найбільші можливості для залучення інвестицій у регіональний потенціал ВДЕ мають ВЕС і СЕС. Інноваційні проекти на основі ГСАДЕ мають стати драйвером розвитку енергетичного сектору України та стимулювати розвиток економіки держав у світі.

На даний час одним із головних завдань для України є залучення інвестицій для розвитку альтернативної енергетики, які вкрай необхідні для виводу економіки з кризового стану у післявоєнний період. Тому, підтримка та стимулювання впровадження інноваційних проектів у сфері ВДЕ із управлінням інвестиційною привабливістю стають завданням стратегічного значення.

Висновки до Розділу 2

1. З метою ефективного впровадження альтернативних джерел енергії сформовано їх ключові регіональні й техніко-економічні переваги та обмеження, що дозволяють визначити найбільш пріоритетні напрямки розвитку відновлюваної енергетики в залежності від регіону.

Науково-технічний прогрес людства, впровадження та дослідження управлінням інноваційних енергетичних технологій, які не виснажують природні джерела Землі, сприяють актуальності розвитку гібридних систем на основі альтернативних джерел зменшуючи обмеження (недоліки) кожного типу джерела енергії, а також створюючи синергічний ефект від використання двох або більше елементів системи.

2. Визначено оптимізаційні параметри роботи елементів гібридної системи альтернативних джерел енергії на прикладі вітроенергетичної та сонячної

електростанцій із системою накопичення електроенергії, для моделювання ефективності впровадження ГСАДЕ у різних регіонах України.

Впровадження гібридних систем альтернативних джерел енергії мають швидкий термін окупності (в середньому 6-9 років в залежності від елементів і потужностей системи), а також високі показники економічної ефективності у порівнянні з традиційними джерелами енергії (наприклад, найбільші витрати на встановлення потужностей мають традиційні джерела енергії у порівнянні з ВДЕ: АЕС та теплова енергетика – 6,10-6,90 тис дол. США/кВт, ВЕС – 1,50-1,90 тис дол. США/кВт і СЕС – 1,40-4,40 тис дол. США/кВт).

3. Проаналізовано соціально-еколого-економічні чинники, які значною мірою обумовлюють позначення ефекту впливу від використання альтернативної енергетики на соціальні, екологічні та економічні сфери суспільства.

Працевлаштування в секторі відновлюваної енергетики з кожним роком зростає (у 2020 р. кількість працевлаштованих осіб становила 12 млн та Китай є світовим лідером за кількістю працівників у секторі відновлюваних джерел) із високою оплатою праці (у червні 2020 р. мінімальна оплата праці становила в Америці 28,41 дол. США за годину, в Україні 15 тис грн на місяць, яка в 3,18 рази перевищувала мінімальну заробітну плату). Розвиток і впровадження нових альтернативних джерел енергії, а також впровадження інноваційних проектів на прикладі гібридних систем сприяють створенню нових і суміжних професій (монтажники турбін або сонячних панелей, сервісні інженери-енергетики, контент-менеджери тощо).

Трансформація енергетики за рахунок альтернативних джерел енергії до 2050 р. сприятиме збільшенню світового ВВП у 2,4 рази в порівнянні з 2019 р., що становитиме 98 трильйонів дол. США. За рахунок використання альтернативних джерел енергії з інноваційними методами управління можна зменшити енергоємність ВВП країн на прикладі Європейських держав (в 2018 р. енергоємність ВВП України становила 0,238 кг нафтового еквіваленту на долар

виробленої продукції) із підвищенням рівня екологічної прийнятності енерговиробництва за рахунок відновлюваних джерел.

4. Здійснено порівняльний аналіз показників інвестиційної привабливості галузі альтернативних джерел енергії. Проекти у сфері альтернативної енергетики мають найбільшу інвестиційну привабливість у секторі енергетики (у 2021 р. у відновлювану енергетику було інвестовано 366 млрд дол. США у світі), найменші ризики реалізації у зв'язку зі збільшенням попиту на електроенергію, високу економічну ефективність (швидкий термін окупності), державні механізми підтримки («зелений» тариф, система аукціонів тощо), успішність європейського досвіду реалізації подібних проектів (впровадження інноваційних проектів на основі ГСАДЕ, які мають стати драйвером розвитку енергетичного сектору України та стимулювати розвиток економіки держави).

Україна має значний потенціал впровадження нових потужностей із високим виробництвом електроенергії за рахунок альтернативних джерел енергії, що сприятиме сталому управлінню енергозабезпеченню регіонів.

Основні результати авторських напрацювань по тематиці цього Розділу дисертації опубліковано в працях [68; 72; 178; 179; 180; 182].

РОЗДІЛ 3 ВПРОВАДЖЕННЯ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СТАЛОГО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ

3.1. Формування механізмів державного регулювання та стимулювання розвитку альтернативної енергетики

1 липня 2019 р. в Україні було введено в дію новий лібералізований ринок електроенергії, який відповідає Третьому енергетичному пакету ЄС [57]. Діючий до цієї дати ринок електроенергії, організований за застарілою моделлю єдиного покупця, був поділений на кілька нових субринків: ринок двосторонніх договорів, ринок «на добу наперед», внутрішньодобовий ринок, балансуєчий ринок, ринок допоміжних послуг і роздрібний ринок (їх опис наведено у табл. 3.1.).

Таблиця 3.1

Опис понять згідно з новим ринком електричної енергії в Україні

Поняття	Визначення
Двосторонній договір	Договір купівлі-продажу електричної енергії, укладений між двома учасниками ринку поза організованими сегментами ринку, крім договору постачання електричної енергії споживачу
Договір купівлі-продажу електричної енергії на ринку «на добу наперед»	Договір, укладений в електронній формі між оператором ринку та учасником торгів «на добу наперед» на купівлю-продаж електричної енергії за результатами торгів «на добу наперед», відповідно до якого здійснюється одночасне прийняття учасником торгів «на добу наперед» і оператором ринку прав та зобов'язань з купівлі-продажу електричної енергії за результатами проведення відповідних торгів «на добу наперед»
Договір купівлі-продажу електричної енергії на внутрішньодобовому ринку	Договір, укладений в електронній формі між оператором ринку та учасником внутрішньодобових торгів на купівлю-продаж електричної енергії за результатами внутрішньодобових торгів, відповідно до якого здійснюється одночасне прийняття учасниками внутрішньодобових торгів прав та зобов'язань з купівлі-продажу електричної енергії за результатами проведення відповідних внутрішньодобових торгів
Балансуєчий ринок електричної енергії	Ринок, організований оператором системи передачі електричної енергії з метою забезпечення достатніх обсягів електричної потужності та енергії, необхідних для балансування в реальному часі обсягів виробництва та імпорту електричної енергії і споживання та експорту електричної енергії, врегулювання системних обмежень в об'єднаній енергетичній системі України, а також фінансового врегулювання небалансів електричної енергії
Ринок допоміжних послуг	Система відносин, що виникають у зв'язку з придбанням оператором системи передачі допоміжних послуг у постачальників допоміжних послуг
Роздрібний ринок електричної енергії	Система відносин, що виникають між споживачем електричної енергії та електропостачальником у процесі постачання електричної енергії, а також іншими учасниками ринку, які надають пов'язані з постачанням електричної енергії послуги

Примітка: систематизовано автором на основі [39]

Виробники електроенергії з ВДЕ переважно працюють на ринку двосторонніх договорів, продаючи свою енергію за «зеленим» тарифом безпосередньо Гарантованому покупцю електричної енергії (далі – ГПЕЕ) – суб'єкту господарювання, що зобов'язаний купувати електричну енергію у виробників, яким встановлено «зелений» тариф, а також у виробників за аукціонною ціною та виконувати інші функції, визначені законодавством України [39]. ГПЕЕ потім перепродає електроенергію на ринку «на добу вперед» та внутрішньодобовому ринку. Різниця між «зеленим» тарифом та ціною електроенергії, що реалізується на ринках «на добу вперед» та внутрішньодобовому ринку, відшкодовується ГПЕЕ оператором системи передачі (юридична особа, відповідальна за експлуатацію, диспетчеризацію, забезпечення технічного обслуговування, розвиток системи передачі та міждержавних ліній електропередачі, а також за забезпечення довгострокової спроможності системи передачі щодо задоволення обґрунтованого попиту на передачу електричної енергії) за рахунок оплати послуг ГПЕЕ зі збільшення частки електроенергії, що виробляється з ВДЕ [39].

У зв'язку зі зростанням генерації електроенергії з альтернативних джерел (сонячних та вітрових електростанцій) в останні кілька років енергосистема все більше потребує балансуєчих потужностей та їх грамотним управлінням розподілу централізованого енергопостачання. У цьому плані новий ринок електроенергії в Україні надав змогу розвитку послуг балансування і допоміжних послуг.

Також згідно із Законом України №555-IV від 19.08.2022 «Про альтернативні джерела енергії», для виробників енергії з об'єктів ВДЕ передбачені надбавки за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва в частині доплати до «зеленого» тарифу й аукціонної ціни, пропорційно до рівня використання суб'єктом господарювання на об'єкті ВДЕ українського виробництва [37], що відображено у табл. 3.2.

Надбавки за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва на об'єктах ВДЕ

Розмір надбавки до «зеленого» тарифу (%)	Рівень використання обладнання українського виробництва (%)
5	Від 30 до 50
10	Від 50 до 70
20	Від 70

Примітка: систематизовано автором на основі [37]

Для управління та вдосконалення механізмів державного регулювання розвитку ВДЕ в Україні необхідне державно-фінансове та бюджетне стимулювання, у тому числі за рахунок використання диференційованих за технологіями інструментів, еволюції пільгової політики та преміальних платежів, а також вдосконалення регулювання «зелених» тарифів тощо. Нами було систематизовано та запропоновано удосконалити механізми державного регулювання сектору ВДЕ для стимулювання розвитку досліджуваної сфери, та адаптації на законодавчому рівні в Україні, з розподілом механізмів на наступні три види [37; 40; 70; 181; 183]:

- Механізми фінансово-бюджетного (економічного) регулювання:
 - податкові кредити на інвестиції – передбачають зменшення суми для сплати податку залежно від суми вкладених коштів;
 - інвестиційні податкові пільги – зазвичай є одноразовими витратами на капітальні витрати, які мають фінансовий ефект, аналогічний прискореній амортизації;
 - звільнення від оподаткування витрат, спрямованих на розвиток відновлюваних джерел енергії, який у деяких випадках може дорівнювати 100% капітальних витрат;
 - зниження податкових ставок в залежності від обсягів виробництва електроенергії;

- оподаткування виробників електроенергії з невідновлюваних джерел з метою скорочення забруднюючих технологій та зменшення прибутку виробників енергії на основі традиційних джерел енергії;

- інші види податкових пільг, зокрема до них належать: звільнення від податку на нерухомість, орендної плати та/або податку землю для розміщення об'єктів ВДЕ.

- Механізми регулювання цін:

- розвиток пільгових механізмів («зелений» тариф, аукціони) на основі інструментів ціноутворення;

- регулювання квот за допомогою системи «зелених» сертифікатів, що продаються – створення ринку енергетичних сертифікатів, ціна на які формується відповідно до попиту та пропозиції. Це дозволяє виробникам енергії отримувати додатковий прибуток від продажу сертифікатів (крім продажу електроенергії).

- формування економічно обґрунтованих тарифів на електроенергію, вироблену з альтернативних джерел енергії.

- Механізми регулювання державно-приватного партнерства:

- пільгові кредити – умови надання можуть відрізнятися залежно від напрямку ВДЕ (СЕС, ВЕС тощо) або спрямовані на розвиток усіх напрямків ВДЕ;

- гранти та гарантії кредитів – умови виділення та отримання можуть відрізнятися залежно від напрямку ВДЕ. Гранти також можуть використовуватися спільно з наданням кредиту у певних пропорціях та спрямовані на підтримку окремих напрямків ВДЕ, окремих виробників тощо;

- інвестиційні гранти – можуть бути спрямовані на модернізацію, розвиток, встановлення станцій тощо цих напрямів (виробництво, науково-технічні розробки, проектування, модернізація тощо);

- повне або часткове відшкодування вартості обладнання (у разі пошкодження, знищення або викрадення), із фіксованими часовими строками компенсації та описом необхідної процедури (визначені терміни, а також форми

документів для заповнення та подання до відповідних визначених органів держави), що є актуальною проблемою у зв'язку з російським вторгненням на територію України.

Отже, комплексний підхід до визначення та використання механізмів державного регулювання для стимулювання розвитку об'єктів відновлюваної енергетики в Україні, а також виважені та своєчасні управлінські рішення на всіх рівнях державного регулювання є запорукою швидкого розвитку альтернативної енергетики, значного збільшення іноземних та внутрішніх інвестицій, а також підвищення рівня енергетичної безпеки держави. Наразі залишаються перешкоди та обмеження реалізації інвестиційних проєктів ВДЕ, причинами яких є, зокрема, недосконале законодавство в Україні, а саме:

- відсутність необхідних нормативно-правових актів, які забезпечують гарантії інвесторам;

- заборгованості по виплатам за вироблену енергію із об'єктів ВДЕ та здійснення ручних/вибіркових виплат;

- неузгодженість деяких нормативно-правових актів з вимогами ЄС.

У відповідності до вищенаведеного для України корисними у застосуванні були б наступні механізми в частині впровадження гібридних систем альтернативних джерел енергії та механізмів державного регулювання їх розвитку:

- удосконалення механізму надання підтримки з урахуванням мінливості обсягу витрат та постійного розвитку технологій;

- незмінність зобов'язань перед інвесторами за умовами та ставками надання пільг або інших видів державних преференцій протягом затвердженого законодавчого періоду, задля впевненості інвесторів у доцільності та надійності інвестування у об'єкти відновлюваної енергетики України;

- забезпечення прозорості охоплення всіх основних етапів та особливостей процесу надання митних пільг, державних субсидій на ліцензування та тарифоутворення, продовження «зеленого» тарифу після 2030 р., прискорення погодження дозвільних процедур на встановлення об'єктів ГСАДЕ,

недопущення дискримінації чи вибіркості у процесі встановлення об'єктів, забезпечення рівних умов для всіх учасників ринку ВДЕ.

Також досліджено вплив діючих механізмів підтримки розвитку сектору альтернативної енергетики в Україні, згідно з яких часовий інтервал розвитку національної відновлюваної енергетики (2012-2018 рр.), що дозволяє зробити висновки (рис. 3.1), що величезні проміжні цілі «Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» (11% споживання у 2020 р. за рахунок відновлюваної енергетики) та «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року» (25% споживання у 2035 р. за рахунок відновлюваної енергетики) навряд чи можуть бути виконані найближчим часом.

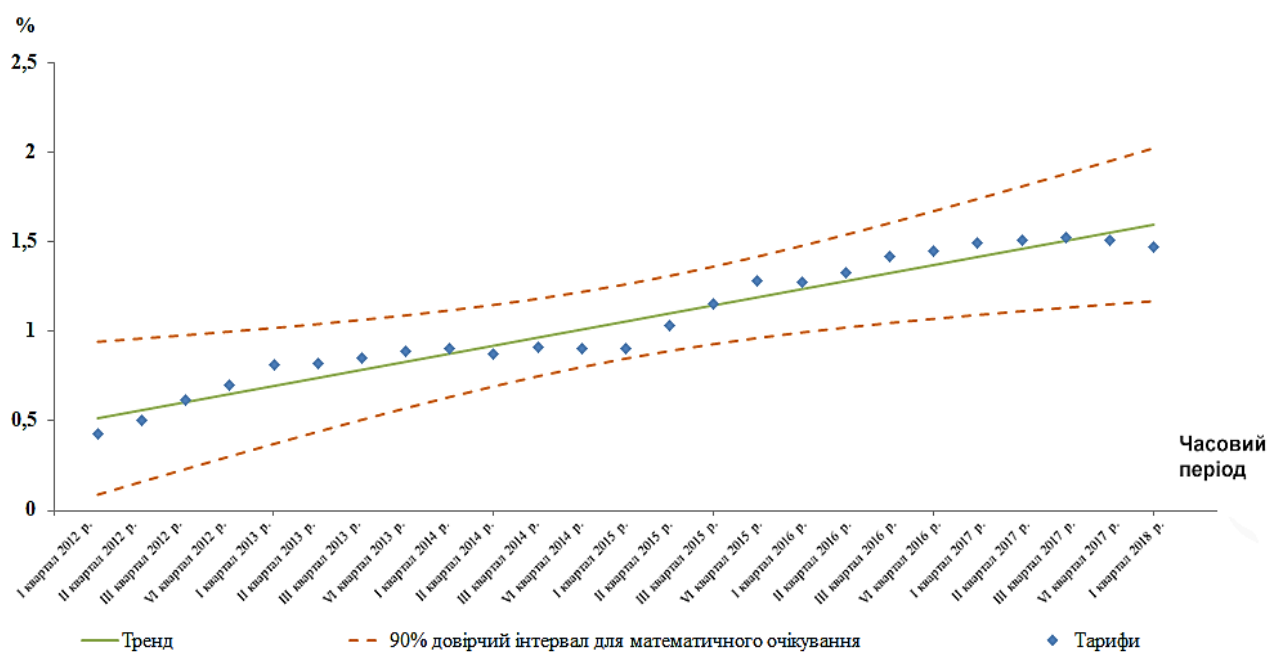


Рис. 3.1. Динаміка зростання частки енергії (%), що генерується ВДЕ в Україні (2012-2018 рр.)

Примітка: розроблено автором [181]

Принагідно ми розрахували через який період часу, за умови збереження ситуації станом на 2018 р., буде досягнута ціль в 11% споживання енергії за рахунок ВДЕ. Розрахунки цього дослідження з використанням регресійного аналізу були виконані в програмному забезпеченні «Microsoft Excel» (версія 2016). Хоча нульову гіпотезу відносно зростання частки відновлюваної

енергетики можна відхилити за надзвичайно малий рівень значущості (табл. 3.3), самі темпи зростання (0,045 % на рік) не викликають великого оптимізму.

Таблиця 3.3

Параметри регресійного аналізу зростання частки ВДЕ

Параметри аналізу	Коефіцієнти	Стандарт. похибка	t статистика	Рівень значимості (експоненційний формат)*	Нижня межа 95%	Верхня межа 95%
Рік	0,744	0,032	14,74	3,25E-13	0,41	0,54
Частка ВДЕ	0,045	0,002	20,85	1,94E-13	0,041	0,049

Примітка: *У експоненційному форматі відображається число в експоненційній нотації, замінюючи частину числа на $e + n$, у якому E (експонент) перемножує попередню цифру на 10 до n -го степеню [211]; розроблено автором [181]

За даними Держенергоефективності [22], модельне значення частки відновлюваної енергії в Україні становило 1,73% на 2018 р., тобто до 11% (у відповідності до «Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» в Україні) залишається 9,27%. Після проведення розрахунків нижня межа щорічного зростання складає 0,041%; верхня межа – 0,049%. Звідси 226 років – це часовий термін, за який буде досягнута проміжна мета за найменшої можливої швидкості зростання частки енергії або 189 років за найменшої можливої швидкості зростання частки енергії, що генерується відновлюваною енергетикою України (рис. 3.2).

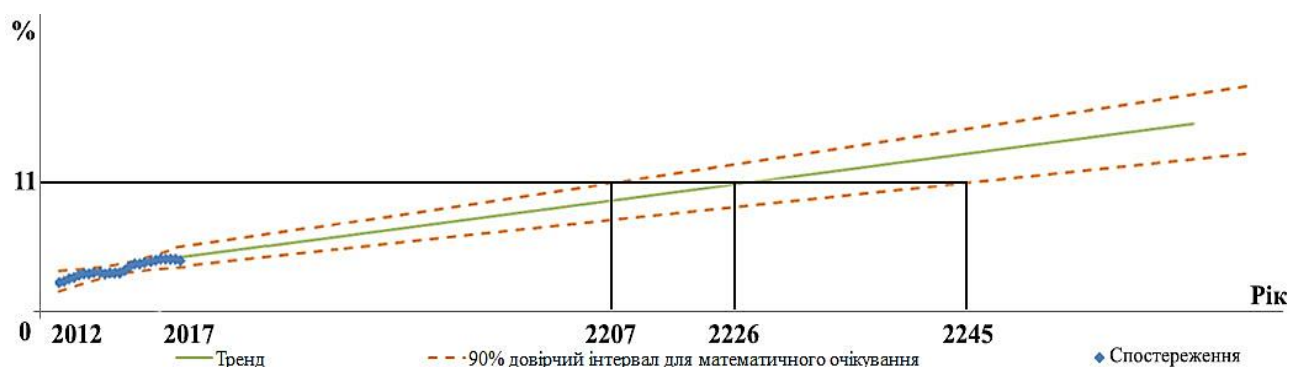


Рис. 3.2. Тренд зростання частки альтернативної енергетики в Україні

Примітка: розроблено автором [181]

Тому розраховувати, коли будуть досягнуті кінцеві показники (% споживання енергії за рахунок ВДЕ) згідно з «Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» та «Енергетичною стратегією України на період до 2035 року», немає сенсу (у відповідності до рис. 3.2). Особливо негативний вплив на розвиток ВДЕ має російське вторгнення в Україну від 24 лютого 2022 р., оскільки окупанти руйнують та пошкоджують робочі електростанції, зривають планові проекти реалізації ВДЕ на території нашої держави, захоплюють або демонтують вже працюючі енергетичні об'єкти.

На нашу думку державне регулювання розвитку сектору альтернативної енергетики України має бути спрямоване на підвищення енергетичної безпеки України за наступними ключовими напрямками та затверджено відповідними законами, порядками, або іншими нормативно-законодавчими документами на законодавчому рівні:

- організація надійного (безперебійного) постачання електричної енергії споживачам;
- інтеграція енергетичних ринків із європейськими ринками;
- підвищення ефективності та надійності ОЕС України;
- диверсифікація традиційних енергетичних джерел і шляхів постачання енергії;
- збільшення виробництва українських енергетичних матеріалів для електростанцій там, де це економічно доцільно;
- розвиток відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива;
- підвищення енергоефективності в ланцюгах виробництва та споживання;
- реформування вугільної промисловості України.

Енергетика є однією зі стратегічних галузей економіки України, адже безпечне, стабільне та стійке функціонування якої є життєво важливою складовою для більшості аспектів суспільного життя та добробуту населення. Український енергетичний сектор також важливий у глобальному масштабі, оскільки наша держава є ключовим гравцем у процесі енергетичної безпеки Європейських країн, у зв'язку чим необхідно вдосконалювати механізми

державного регулювання для стимулювання розвитку саме альтернативної енергетики.

Подальший розвиток та відновлення енергетичної галузі України у післявоєнний період має відбуватись в першу чергу із впровадженням інноваційних і сучасних відновлюваних джерел енергії (сонячної, вітрової та інших).

3.2. Оцінювання потенціалу та особливостей впровадження об'єктів на основі альтернативних джерел енергії у регіонах України

Важливим завданням для більш широкого залучення відновлюваних енергетичних ресурсів у паливно-енергетичний баланс окремого регіону є вибір пріоритетних напрямків розвитку відновлюваної енергетики. Об'єкти ВДЕ мають всі шанси бути сформованими в різних ділянках регіонів України в залежності від їх потенціалів.

Потенціал управління ВДЕ кожного регіону держави було досліджено нами за наступною методикою трьох складових: інноваційний потенціал регіону – враховуються технічні умови отримання енергії; рекреаційний потенціал регіону – базується на географічних даних ресурсно-сировинної бази; економічний потенціал регіону – ґрунтується на інвестиційних можливостях регіону.

Розвиток альтернативної енергетики в регіонах України має значний інноваційний потенціал встановленої потужності у 874 033 МВт (рис. 3.3) і потенціал річного виробництва електроенергії у 2 717 019 млн кВт·год/рік (рис. 3.4) щодо залучення інвестицій для подальшого розвитку галузі та впровадження нових методів регіонального управління електроенергією за рахунок реалізації інноваційних проєктів, а саме гібридних систем на базі альтернативних джерел енергії.

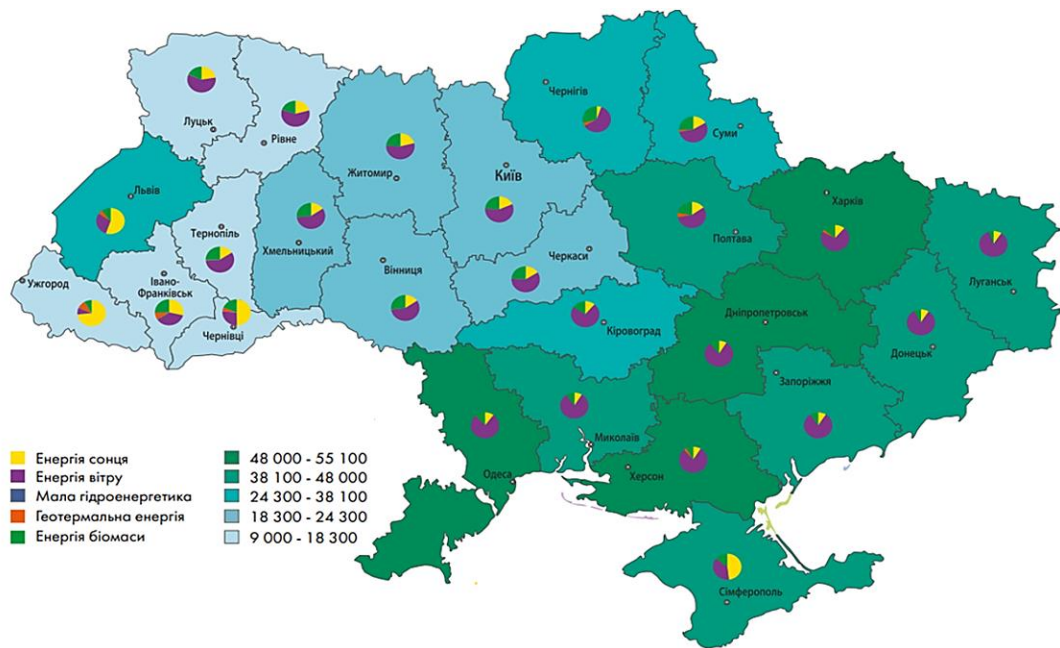


Рис. 3.3. Інноваційний потенціал потужностей ВДЕ на території України (МВт)
Примітка: запозичено автором [47]

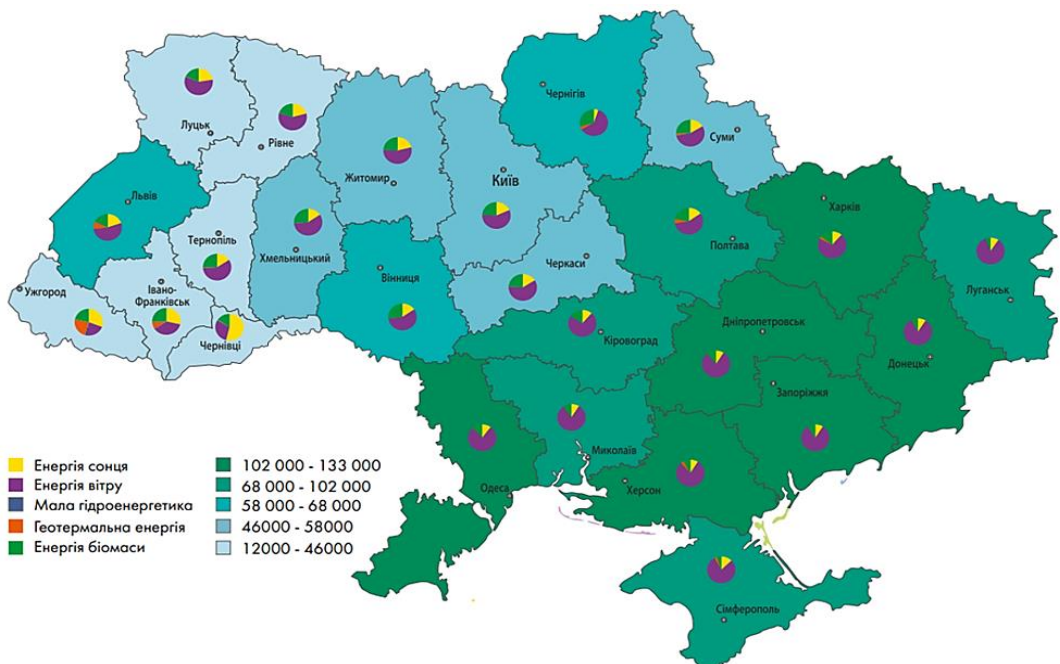


Рис. 3.4. Інноваційний потенціал річного виробництва е/е ВДЕ на території України (млн кВт·год/рік)
Примітка: запозичено автором [47]

Експертами Інституту відновлюваної енергетики НАН України (далі – ІВЕ НАНУ) складені окремі карти вітрового та сонячного рекреаційних потенціалів нашої держави (рис. 3.5-3.6).



Рис. 3.5. Карта рекреаційного потенціалу сектору вітроенергетики України

Примітка: запозичено автором [80]

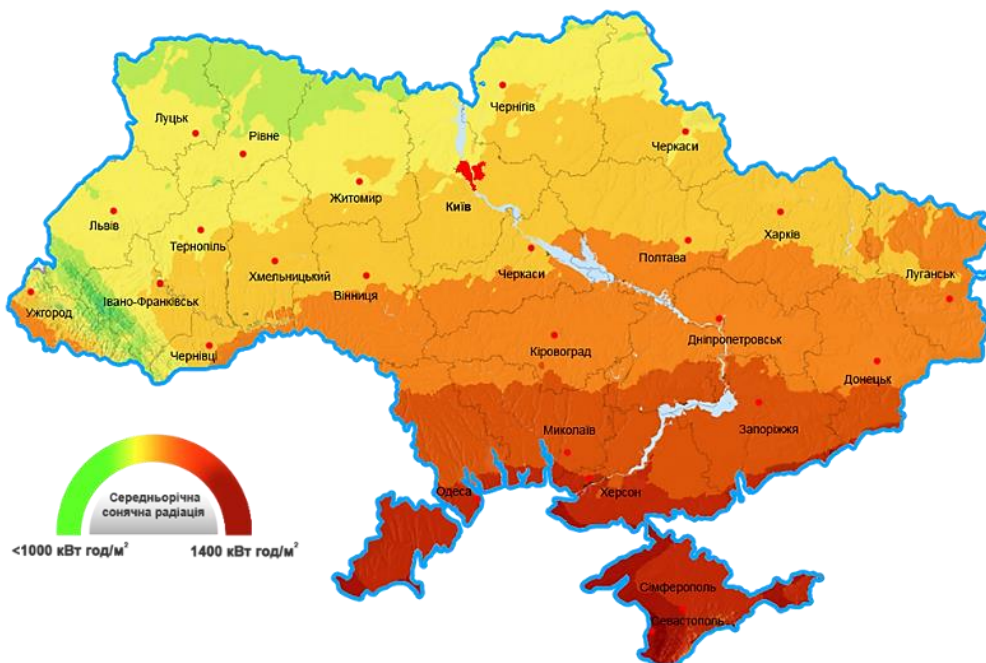


Рис. 3.6. Карта рекреаційного потенціалу сектору сонячної енергетики України

Примітка: запозичено автором [43]

Привабливими регіонами для використання енергії вітру є узбережжя Чорного та Азовського морів, гірські райони АР Крим, територія Карпатських гір, Одеська, Херсонська, Запорізька, Донецька та Миколаївська області. Для встановлення СЕС привабливими регіонами є Південні території України.

У відповідності до рис. 3.5-3.6, нами було систематизовані дані по регіонам щодо управління інноваційним потенціалом потужностей ВДЕ на території України (табл. 3.4). Привабливими регіонами для впровадження нових потужностей на основі «зелених» ТВЕ є наступні регіони (топ-5 регіонів по кожному напрямку ВДЕ):

- СЕС: Одеська область (4 580 МВт) Дніпропетровська область (4 388 МВт), Чернівецька область (4 381 МВт), Харківська область (4 320 МВт), Житомирська область (4 102 МВт);

- ВЕС: Дніпропетровська область (38 978 МВт), Херсонська область (34 761 МВт), Одеська область (34 719 МВт), Запорізька область (33 196 МВт), Луганська область (32 591 МВт);

- МГЕС: Закарпатська область (132 МВт), Івано-Франківська область (59 МВт), Львівська область (46 МВт), Вінницька область (24 МВт), Чернівецька область (24 МВт);

- ГТЕС: Херсонська область (1 500 МВт), Закарпатська область (1 400 МВт), Львівська область (1 400 МВт), Полтавська область (1 400 МВт), Харківська область (1 300 МВт);

- БМЕС, БГЕС: Вінницька область (6 192 МВт), Чернігівська область (5 932 МВт), Полтавська область (5 662 МВт), Харківська область (5 160 МВт), Дніпропетровська область (5 128 МВт).

Таблиця 3.4

**Систематизовані регіональні дані потужностей ВДЕ на території України,
МВт (станом на 2019 рік)**

Область	СЕС	ВЕС	МГЕС	ГТЕС	БМЕС, БГЕС	Всього
АР Крим	3 603	22 128	1	840	1 273	27 844
Вінницька область	3 646	13 393	24	40	6 192	23 295
Волинська область	2 770	7 184	1	40	2 239	12 234
Дніпропетровська область	4 388	38 978	2	120	5 128	48 616
Донецька область	3 646	32 387	5	200	2 835	39 072
Житомирська область	4 102	10 640	8	50	4 575	19 374
Закарпатська область	1 757	1 163	132	1 400	1 209	5 661
Запорізька область	3 737	33 196	0	40	3 646	40 620
Івано-Франківська область	1 911	2 416	59	600	1 671	6 658
Київська область	3 868	11 983	3	40	4 961	20 855
Кіровоградська область	3 381	21 226	15	40	4 482	29 144

Область	СЕС	ВЕС	МГЕС	ГТЕС	БМЕС, БГЕС	Всього
Луганська область	3 669	32 591	2	80	2 042	38 384
Львівська область	3 002	8 015	46	1 400	2 672	15 135
Миколаївська область	3 382	30 043	3	80	3 435	36 943
Одеська область	4 580	34 719	1	240	4 912	44 453
Полтавська область	3 953	14 522	6	1 400	5 662	25 544
Рівненська область	2 756	7 745	3	40	2 594	13 139
Сумська область	3 277	11 096	2	560	5 009	19 945
Тернопільська область	1 901	6 983	12	80	3 019	11 995
Харківська область	4 320	27 119	10	1 300	5 160	37 908
Херсонська область	3 913	34 761	1	1 500	3 360	43 335
Хмельницька область	2 839	10 429	8	40	4 668	17 984
Черкаська область	2 874	10 558	8	40	4 150	17 630
Чернівецька область	4 381	2 414	24	40	1 252	8 111
Чернігівська область	1 113	12 311	1	800	5 932	20 157
Територіальні води та внутрішні водойми для офшорних ВЕС		250 000				
Всього	82 769	688 000	376	10 810	92 078	874 033

Примітка: сформовано автором на основі [22; 47]

Україна володіє значним потенціалом розвитку альтернативних джерел енергії як технічно можливим, так і економічно доцільним, для реалізації проєктів в сфері альтернативної енергетики, що стимулює зацікавленість вітчизняних та іноземних інвесторів і держави щодо розвитку цієї галузі.

Фахівцями ІВЕ НАНУ здійснено оцінку потенціалу використання ВДЕ в енергетичному секторі України [47]: в основі оцінки – міжнародні зобов'язання України у відповідності до «Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» (11% споживання у 2020 р. за рахунок відновлюваної енергетики) та «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року» (25% споживання у 2035 р. за рахунок відновлюваної енергетики), Паризької кліматичної угоди, а також помірковані темпи розвитку галузі. За оцінками фахівців ІВЕ НАНУ, найбільший потенціал розвитку має вітрова енергетика, встановлені потужності якої можуть сягнути 10 ГВт у 2030 році (рис. 3.7).

Згідно з даними від IRENA [130; 134], частка використання ВДЕ у загальному кінцевому енергоспоживанні досягне 21,8% у 2030 році (рис. 3.8). Загальна встановлена потужність таких електростанцій складе 23,3 ГВт (без урахування ГЕС потужністю > 10 МВт). Найбільший потенціал серед ВДЕ має

ВЕС (+11,9 ГВт до показника у 2009 р.) та СЕС (+8,0 ГВт до показника у 2009 р.), а найменший МГЕС (малі ГЕС) та ГТЕС (геоТЕС).

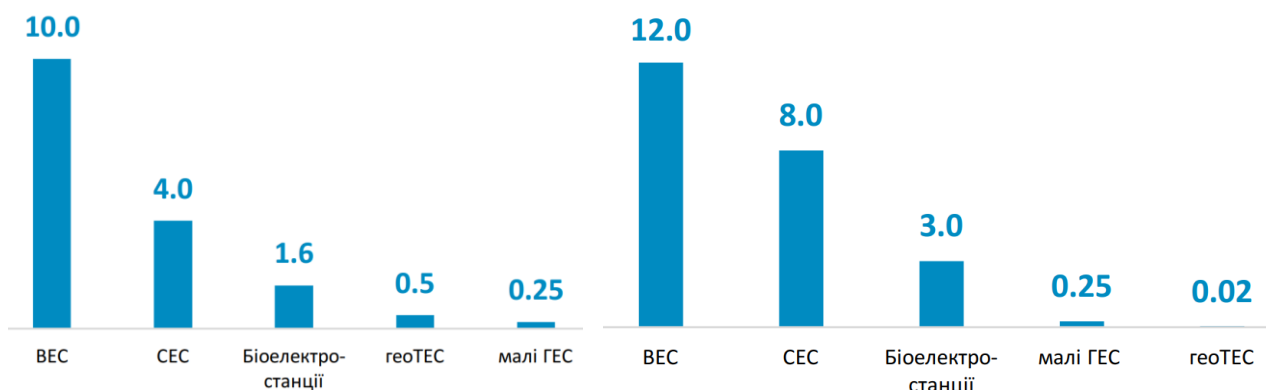


Рис. 3.7-3.8. Оцінка потенціалу встановлених потужностей з ВДЕ у 2030 році:

від ІВЕ НАНУ, всього 16,35 ГВт

від IRENA, всього 23,27 ГВт

Примітка: побудовано автором на основі [130; 134]

Найбільш оптимістичний прогноз, наданий IRENA, – майже 22 ГВт встановлених потужностей з ВДЕ у 2030 р., що, наприклад, у 20 разів більше ніж у 2016 році [130; 134]. За умови виконання прогнозу IRENA, річна економія викидів CO₂ складе 13,4 млн тонн (рис. 3.9).

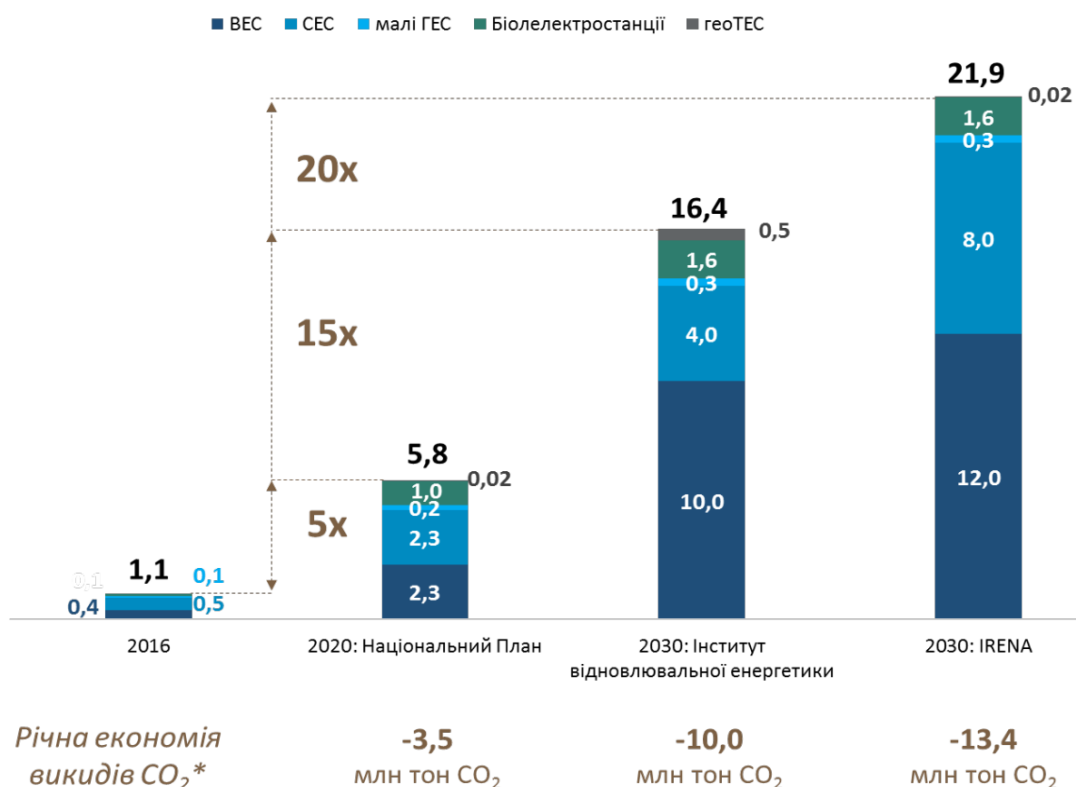


Рис. 3.9. Порівняння оцінок потенціалу та прогнозу розвитку встановлених потужностей ВДЕ, ГВт

Примітка: запозичено автором на основі [54; 134]

За даними Держенергоефективності [23], в якості гарантованої оцінки вітрового енергетичного потенціалу України доцільно прийняти 16 ГВт – це значення показника можна вважати оцінкою дослідженого вітропотенціалу. Вітроенергетика України потенційно може забезпечити річні обсяги енергії, еквівалентні 10,5 млн т.н.е., що дозволить заощаджувати близько 13 млрд м³ природного газу на рік [71; 80]. Однак для будівництва такої кількості вітряних станцій потрібні значні інвестиції – понад 200 млрд грн, які не можуть бути залучені в нинішній ситуації.

Для біоенергетичних проєктів та зменшення споживання газу Україна має значні ресурси, зокрема близько 40% агровідходів держави (34 млн тонн соломи, відходів кукурудзи, соняшнику) дасть змогу замінити в еквіваленті до 10 млрд кубів газу на рік [12; 182]. Урожай енергокультур з 4 млн га малородючих земель спроможний замінити 20 млрд м куб., а виробництво біогазу/біометану – 7,8 млрд м куб. газу.

Також за статистикою фахівців Держенергоефективності [22], один українець за рік залишає по собі майже 350 кг побутового сміття на рік (це майже кг на день), збільшуючись на 4-6% в рік, випереджаючи приріст населення. І ця цифра із року в рік тільки зростає. З 10 млн тонн сміття, що потрапляє на сміттєзвалища, можна виробляти 3,5 млн гікалорій теплової енергії та 1,2 млрд кВт·год електроенергії у рік. У результаті потенціал заміщення газу буде становити до 1 млрд м³ щорічно.

В Україні у сектор альтеративної енергетики за період 2010-2020 рр. було залучено близько 10 млрд євро [51] інвестицій. Енергоресурси для об'єктів на основі ВДЕ є практично на всій території України. У відповідності до розрахунків ІВЕ НАНУ, загально-річний інноваційний енергетичний потенціал ВДЕ України технологіями нашого часу складає 874 033 МВт, а це близько 2 717 019 млн кВт·год/рік (табл. 3.3), для прикладу, за весь 2021 р. в Україні вироблено 156 576 млн кВт·год електроенергії [51].

Енергетичний потенціал ВДЕ України

Напрями ВДЕ	Потенціал встановленої потужності ВДЕ, МВт	Потенціал річного виробництва електроенергії ВДЕ, млн кВт·год/рік
Енергія сонця	82 769	99 232
Енергія вітру	688 000	2 173 770
Мала гідроенергетика	376	1 272
Геотермальна енергетика	10 810	80 494
Енергія біомаси	92 078	362 161
Всього	874 033	2 717 019

Примітка: сформовано автором на основі [47; 51]

Фахівцями Державної установи «Інститут економіки та прогнозування Національної академії наук України» за підтримки представництва Фонду ім. Гайнріха Бьоля в Україні представлено результати моделювання розвитку та управління енергетичним сектором України до 2050 р. на основі технологій нашого часу [88]. У відповідності до яких, вже у 2050 р. виробництво електроенергії в Україні буде становити 366 млрд кВт·год (частка ВДЕ 92,9%) із встановленою потужністю у 327 ГВт (частка ВДЕ 93%), що допоможе досягти економічного потенціалу з об'єктів ВДЕ в частині зменшити імпорт енергоресурсів із 38,9% у 2020 р. до 2,3% у 2050 р. та викиди парникових газів із 284 млн тонн CO₂ у 2020 р. (34,8% від 1990 р.) до 85 млн тонн CO₂ у 2050 р. (10,4% від 1990 р.) при залученні капітальних інвестицій у 219,749 млрд євро за період 2020-2050 роки.

Від лютого 2022 р. із повномасштабним вторгненням РФ на територію нашої держави, енергетична інфраструктура України зазнає регулярних обстрілів із пошкодженнями або знищеннями електростанцій із сторони армії РФ та кінець другого півріччя 2022 р. РФ окуповано Харківську, Луганську, Донецьку, Запорізьку, Херсонську області з АР Крим, які мають значний потенціал для розвитку й впровадження ВДЕ на території України.

З лютого по жовтень 2022 р. військами РФ було здійснено близько 85 атак (ракетних ударів) на об'єкти електроенергетики на території України (рис. 3.10) для дестабілізації енергетичного сектору: від початку жовтня 2022 р. енергетичні компанії вимушені вводити тимчасове контрольоване обмеження споживання

електроенергії у регіонах України у зв'язку з пошкодженням понад 30% електростанцій [6].

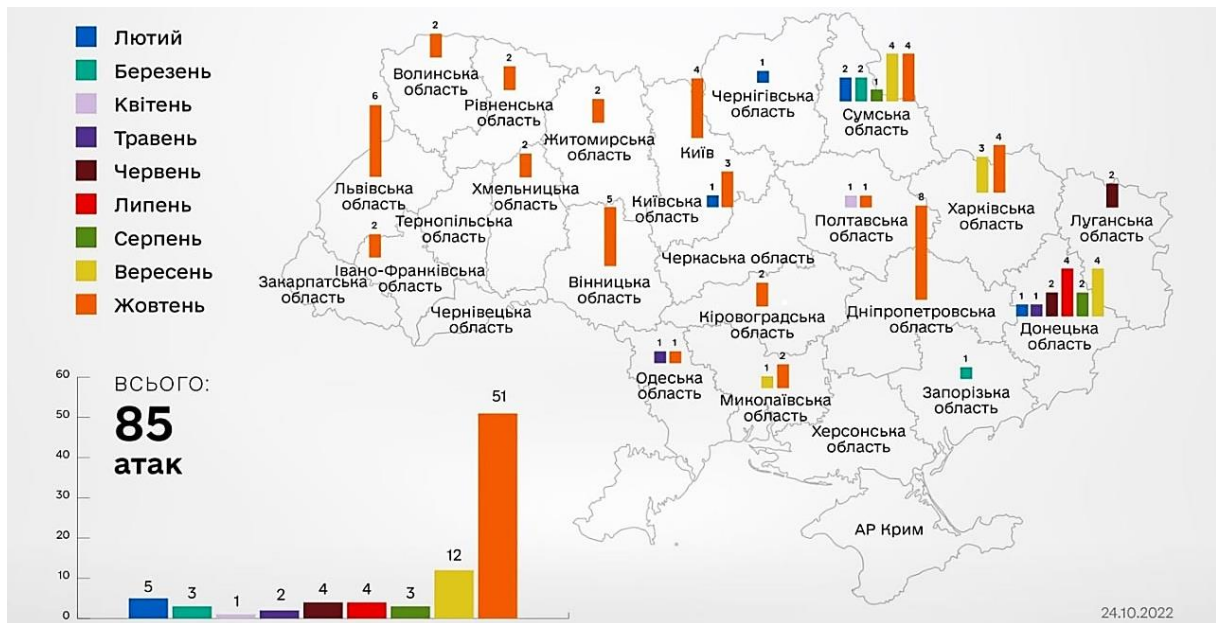


Рис. 3.10. Ракетні удари РФ по об'єктах електроенергетики в Україні з лютого 2022 року по жовтень 2022 року
Примітка: запозичено автором на основі [6]

Також наявні випадки, коли війська РФ ціленаправлено знищують електричні мережі (лінії електропередач, розподільні пристрої), що сприяє створенню профіциту електроенергії на енергетичних об'єктах у зв'язку з неможливістю передати вироблену енергію до споживачів і відсутністю СНЕ для її зберігання, що підтверджує актуальність розвитку та впровадження локальних ГСАДЕ. Після завершення військових дій на території України розвиток сектору ВДЕ має сприяти швидкому відновленню та розвитку енергетичного сектору нашої держави.

Таким чином освоєння потенціалу регіонів України для реалізації інвестиційних проектів з виробництва електроенергії ВДЕ сприятиме відновленню енергетичного сектору України після завершення війни, адже потенціал українських територій дозволяє отримувати 93% енергії від загального енергозабезпечення держави.

3.3. Ефективність впровадження гібридних систем в регіоні (на прикладі авторського проекту «Одеська гібридна система альтернативних джерел енергії» в Одеській області України)

Використання ГСАДЕ дає невичерпне джерело енергії, отримання енергії без негативного впливу на навколишнє середовище та енергетичну безпеку (стале енергозабезпечення). Для моделювання ефективності впровадження ГСАДЕ у регіоні України нами було використано програмне забезпечення «HOMER PRO» (версія 3.11) та «Microsoft Excel» (версія 2016) для оцінки економічних, технічних і фізичних аспектів ГСАДЕ на визначеній місцевості з прогнозом на 25 років.

У зв'язку з військовою агресією РФ та обстрілами об'єктів енергетичної інфраструктури нашої держави, найбільш економічним і технічно-вигідним буде впровадження локальної та автономної гібридної електростанції (без підключення до енергомережі), для забезпечення сталого енергозабезпечення, а також на місцевості з високим рекреаційним потенціалом.

Для дослідження впровадження гібридної електростанції обрано Білгород-Дністровський район Одеської області України (географічні координати: 46.117541, 30.407919): регіон (рис. 3.11) має високий вітровий та сонячний потенціали [47; 205], а також станом на жовтень 2022 р. в цій області не відбуваються активні бойові дії (окрім обстрілів ракетами/дронами зі сторони РФ, які відбуваються по всій території України).

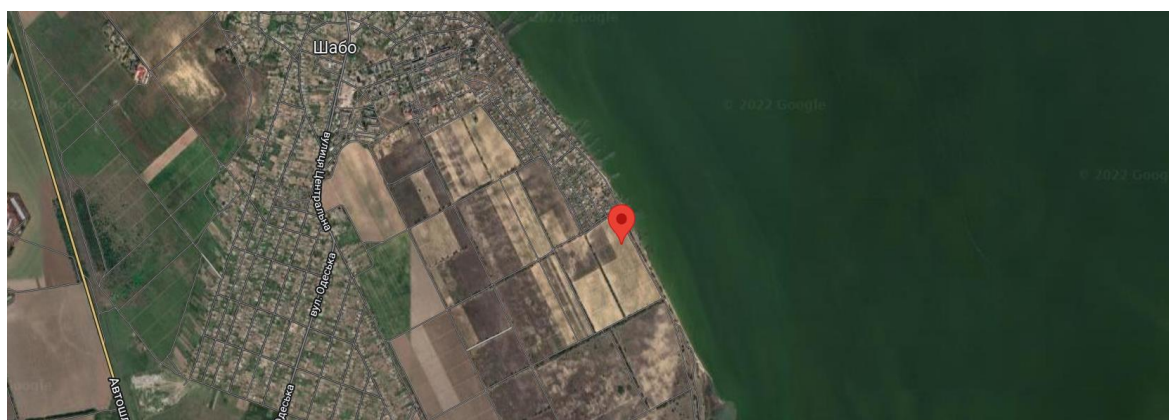


Рис. 3.11. Знімок із карти Білгород-Дністровського району Одеської області України для впровадження ГСАДЕ
Примітка: сформовано автором на основі [121]

3.3.1. Споживання електроенергії в регіоні

Споживання електроенергії для регіонів залежать від різних факторів, включаючи кількість та вік мешканців, тип житла, спосіб життя, часу використання електричних пристроїв, кількості мешканців у будинку тощо.

Середньомісячне споживання одного домогосподарства із електроопаленням в Україні становить 954 кВт·год [56; 205] для живлення електричної плити, електрочайника, пральної машинки, холодильнику, комп'ютер/ноутбуку, електричного обігрівача, кондиціонера, бойлера, фену, праски, телевізору, мікрохвильової печі тощо. Тому, нами використано значення 31,80 кВт·год як масштабоване середньодобове значення для одного домогосподарства та заміський котеджний комплекс Білгород-Дністровського району Одеської області України споживатиме в день в середньому 159 кВт·год, для сталого енергозабезпечення у визначеному районі. Середньомісячні споживання електроенергії для заміського котеджного комплексу відображені на рис. 3.12.

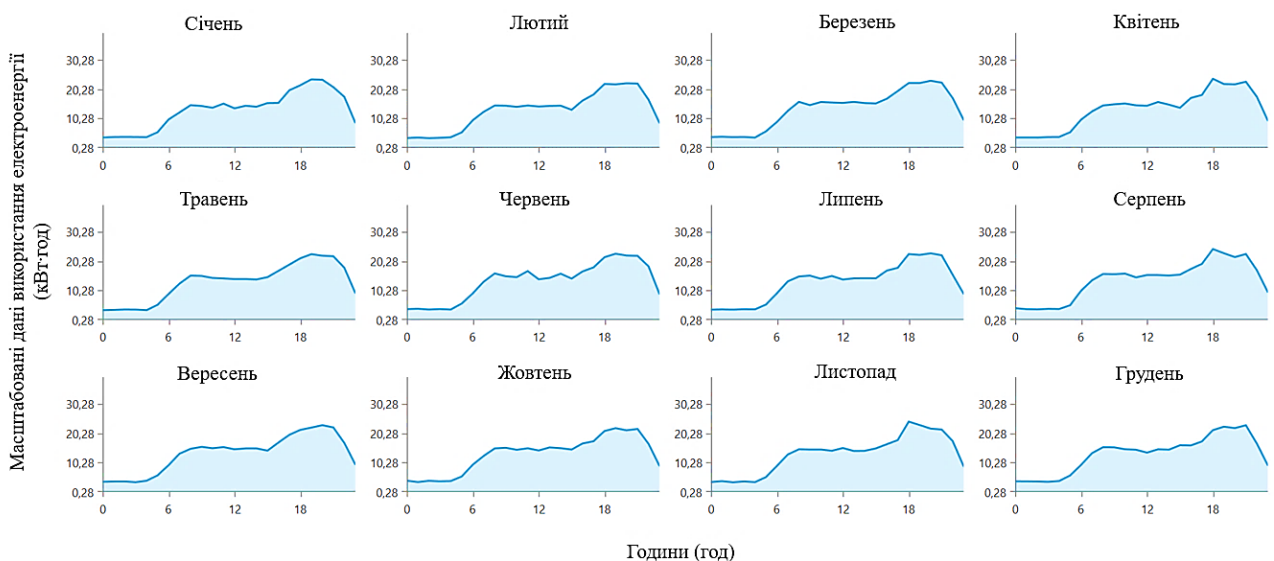


Рис. 3.12. Середньомісячне споживання електроенергії заміського котеджного комплексу в розрізі місяців

Примітка: авторська розробка на основі [166]

3.3.2. Економічні параметри авторського проекту

Для впровадження авторського проекту гібридної електростанції «Одеська ГСАДЕ» закладаємо наступні економічні параметри проекту станом на 1 січня 2022 року [22; 51; 178; 203]:

- ставка дисконтування – 7%;
- рівень інфляції – 10%;
- часовий проміжок прогнозу впровадження проекту – 25 років;
- обсяг електроенергії, спожитий заміським котеджним комплексом понад 250 кВт·год на місяць, має вартість 1,68 грн за 1 кВт·год.

3.3.3. Рекреаційні характеристики в регіоні

На обраній місцевості переважають середні вітри (6,43 м/с) на висоті 50 метрів, згідно з даними «NASA Surface Meteorology» [166]. На діаграмі швидкостей вітру Білгород-Дністровського району Одеської області України (рис. 3.13) можна побачити помісячну інформацію протягом року, коли середня швидкість вітру досягає своїх мінімумів і максимумів.

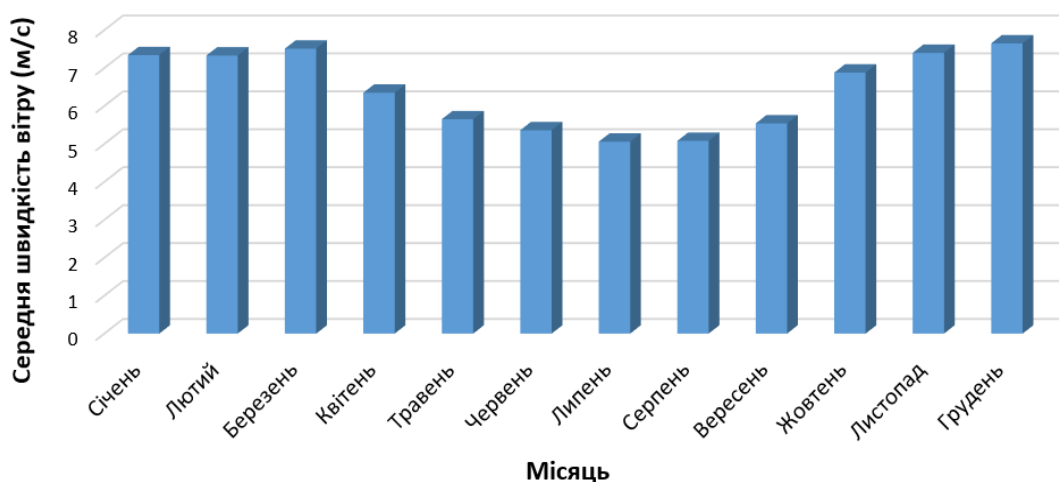


Рис. 3.13. Середньомісячна швидкість вітру на висоті 50 метрів у Білгород-Дністровському районі Одеської області України
Примітка: сформовано автором на основі [166]

Добова радіація (сонячного випромінювання) у регіоні дорівнює 3,55 кВт·год/м²/день (рис. 3.14) у відповідності до даних «NASA Surface Meteorology» [166]. На діаграмі також зазначено індекс прозорості, що коливається від нуля до одиниці та визначає попадання сонячного світла у верхній шар атмосфери. Його значення більше у сонячні дні і менше у похмурі дні. Чим більший індекс прозорості, тим більше буде потрапляння сонячних променів на поверхню Землі та виробництво електроенергії з СЕС.

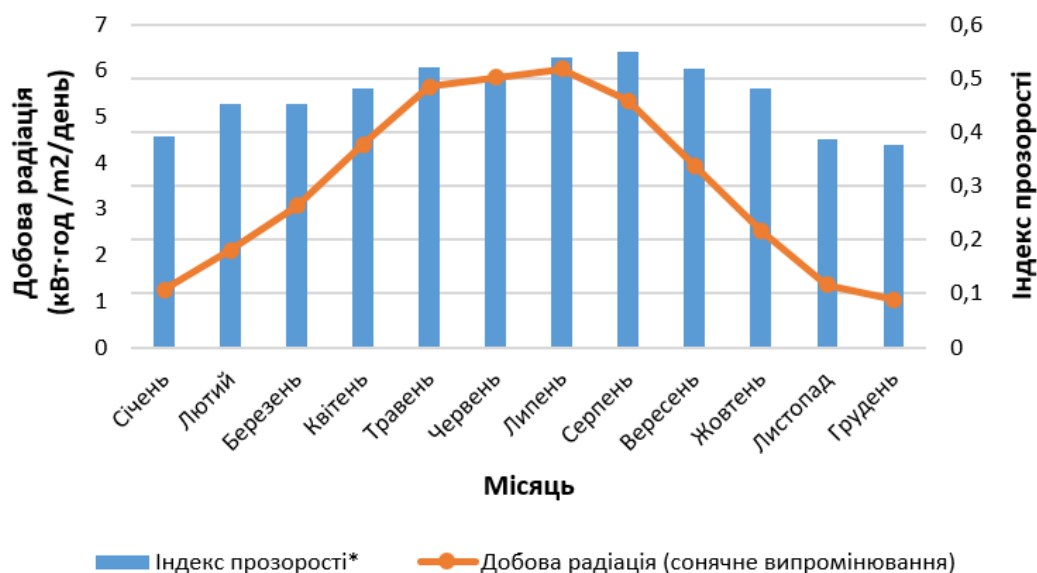


Рис. 3.14. Середньомісячні дані сонячного горизонтального випромінювання у Білгород-Дністровському районі Одеської області України

Примітки: *Індекс прозорості – відношення радіаційного рівня від поверхні землі до позаземного рівня (без атмосферних перешкод). Індекс прозорості має високе значення за ясних сонячних умов (1) і низьке значення за хмарних умов (0); сформовано автором на основі [166; 173]

3.3.4. Техніко-економічні характеристики елементів ГСАДЕ

У програмному забезпеченні «HOMER PRO» наявна можливість використання техніко-економічних характеристик об'єктів ВДЕ із онлайн-ресурсів інтернет-мережі, або завантаження своїх даних. У ГСАДЕ для моделювання використовуємо монокристалічну фотоелектричну панель «Hanwha Q-Cells Q. PEAK DUO ML-G9 390W» із наступними параметрами:

- потужність – 390 Вт;
- КВВП – 20,6%;
- максимальна робоча температура – +85 °С;
- мінімальна робоча температура – -40 °С;
- строк використання обладнання – 25 років;
- коефіцієнт надійності – 99%;
- стартова швидкість установки – до 30 хвилин;
- вартість – 5 100 грн/шт. [94].

Фотоелектричну панель відображено на рис. 3.15.

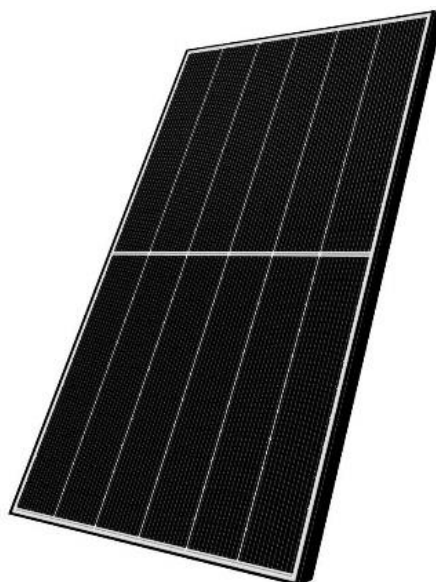


Рис. 3.15. Фотоелектрична панель «Hanwha Q-Cells Q. PEAK DUO ML-G9 390W»

Примітка: запозичено автором [94]

Додатковим елементом для виробництва електроенергії у системі ГСАДЕ використовуємо ВЕС «D-series 20 kW» із наступними параметрами:

- номінальна потужність – 20 кВт;
- максимальна потужність – 25 кВт;
- КВВП – 45%;
- висота ротора – 50 метрів;
- діаметр ротора – 10 метрів;
- стартова швидкість вітру – 2 м/с;
- номінальна швидкість вітру – 20 м/с;
- максимальна швидкість вітру – 30 м/с;
- строк використання обладнання – 25 років;
- коефіцієнт надійності – 99%;
- стартова швидкість установки – до 30 хвилин;
- вартість – 280 000 грн/шт. [86].

ВЕС відображено на рис. 3.16.



Рис. 3.16. Вітроустановка «D-series 20 kW»

Примітка: запозичено автором [86]

До ГСАДЕ включено СНЕ через її здатність зберігати надмірну електроенергію, що виробляється ВЕС і СЕС. СНЕ розряджається, коли ВЕС і СЕС більше не виробляють енергії. «Kijō LiFePO₄» – акумуляторна батарея, яка використовуватиметься в цьому проекті з номінальною напругою 12 Вт, номінальною ємністю 200 Ампер·годин (потужністю 2,4 кВт) і швидкістю розрядки 10 годин. Капітальні витрати однієї СНЕ становлять 15 300 грн із аналогічною ціною заміщення обладнання (строк використання обладнання – 25 років) [84]. Це акумуляторне сховище не потребує обслуговування, отже вартість обслуговування дорівнює нулю. СНЕ зазначено на рис. 3.17.



Рис. 3.17. Система накопичення електроенергії «Kijō LiFePO₄»

Примітка: запозичено автором [84]

До гібридної системи включено інвертор (контролер) «Solis» для перетворення постійного струму ВЕС, СЕС та СНЕ у змінний струм. Інвертор здатний працювати й у зворотному напрямку – перетворювати змінний струм у постійний струм для заряду батареї, – його вартість складає 2 925,60 грн за 20 кВт встановленої потужності [84]. Вартість проектних робіт і монтажу включена у вартість елементів ГСАДЕ.

Витрати на технічне обслуговування гібридної системи будуть становити 1 000 грн/рік.

3.3.5. Впровадження проекту електростанції в регіоні та формування моделі для аналізу

Для формування електростанції до впровадження у заміському котеджному комплексі Одеської області на основі об'єктів ВДЕ, змодельовано три бізнес-кейси з різними компонентами системи:

1. Електростанція включає СЕС для виробництва та управлінням розподілу електроенергії, СНЕ для зберігання надлишкової електроенергії та інвертор для перетворення електроенергії з постійного струму в змінний.

2. Електростанція включає ВЕС для виробництва електроенергії та управлінням розподілу електроенергії, СНЕ для зберігання надлишкової електроенергії та інвертор для перетворення електроенергії з постійного струму в змінний.

3. Електростанція включає СЕС і ВЕС для виробництва електроенергії та управлінням розподілу електроенергії, СНЕ для зберігання надлишкової електроенергії та інвертор для перетворення електроенергії з постійного струму в змінний.

Для цього в програму «HOMER PRO» вносимо дані із п. 3.3.1-3.3.4 даного Розділу 3: програмне забезпечення надає можливість здійснення апроксимування значень внесених потужностей та/або відповідних цін на компоненти гібридної системи в залежності від кількості. Отже, наявна можливість дискретно варіювати та моделювати потужності об'єктів електростанції у певному діапазоні:

- вітрова установка: 0 – 50 кВт з кроком 5 кВт;
- сонячна панель: 0 – 50 кВт з кроком 5 кВт;
- інвертор – 0 – 50 кВт з кроком 5 кВт;
- акумуляторна батарея: 0 – 300 шт. з кроком 10 шт.

Створена модель для моделювання у програмі «HOMER PRO» відображена на рис. 3.17.

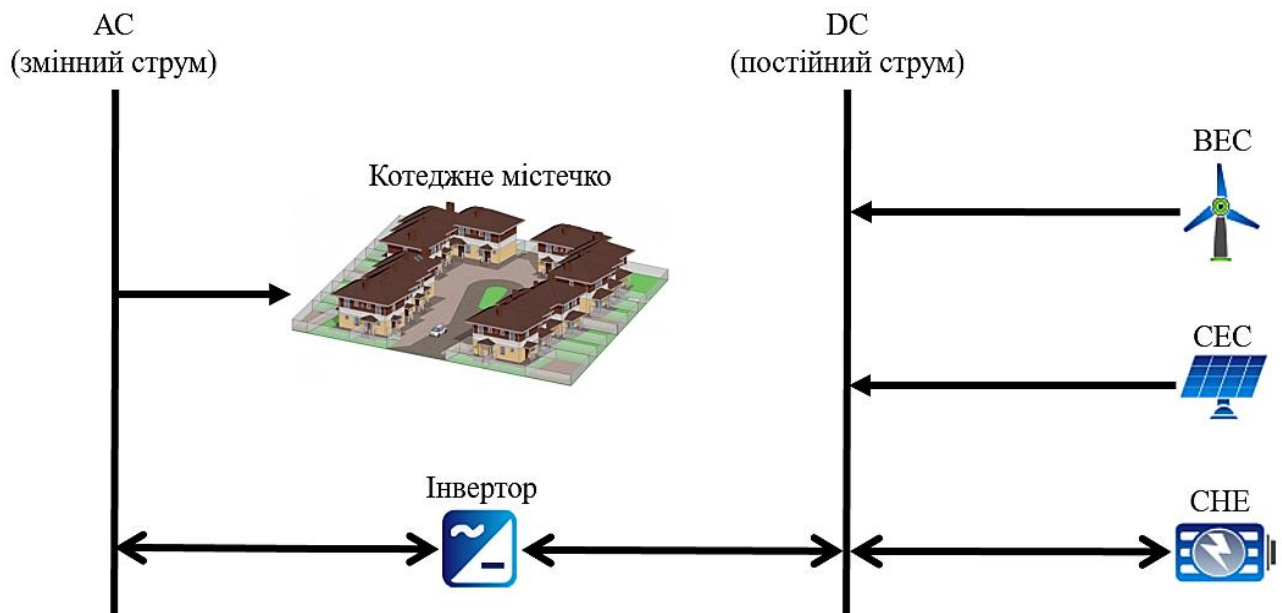


Рис. 3.17. Модель гібридної системи альтернативних джерел енергії
Примітка: розроблено автором

3.3.6. Результати моделювання в програмному забезпеченні «HOMER PRO»

У відповідності до значень проекту в п. 3.3.1-3.3.4 даного Розділу 3 та оптимізаційних параметрів роботи елементів ГСАДЕ у підрозділі 2.2 Розділу 2, виконаємо моделювання роботи ГСАДЕ за допомогою програмного забезпечення «HOMER PRO» та отримаємо порівняння можливих варіацій складу гібридної системи, а саме декілька варіантів енергосистем для електропостачання, які найбільш вигідні по своїм категоріям для впровадження (табл. 3.6).

Категорії різних варіантів електростанції «Одеська ГСАДЕ»

Параметри для порівняння / Бізнес-кейси	Бізнес-кейс №1 (СЕС + СНЕ)	Бізнес-кейс №2 (ВЕС + СНЕ)	Бізнес-кейс №3 (ВЕС + СЕС+ СНЕ)
<i>1. Встановлена потужність (кВт)</i>			
- СЕС	40	–	10
- ВЕС	–	50	30
- Інвертор	20		
<i>2. Кількість елементів (шт.)</i>			
- СЕС	103	–	26
- ВЕС	–	10	3
- СНЕ	201	129	78
<i>3. КВВП кожного об'єкта окремо (%)</i>			
- СЕС	23,10	–	23,1
- ВЕС	–	27,8	27,8
- Інвертор	25,9	27,2	26,9
- СНЕ	100,0	100,0	100,0

Примітка: авторська розробка

У відповідності до вищенаведеного по трьом бізнес-кейсам описаним в п. 3.3.5 Розділу 3 отримано наступні економічні показники електростанції «Одеська ГСАДЕ» за прогнозований строк у 25 років, які наведено у табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Результати моделювання електростанції «Одеська ГСАДЕ»

Економічні показники / Бізнес-кейси	Бізнес-кейс №1 (СЕС + СНЕ)	Бізнес-кейс №2 (ВЕС + СНЕ)	Бізнес-кейс №3 (ВЕС + СЕС + СНЕ)
Початкові капіталовкладення	1 294 827,52 грн	1 196 350,60 грн	852 044,83 грн
Нормована собівартість електроенергії (LCOE)	3,97 грн	2,53 грн	2,09 грн
Операційні витрати	514 510,92 грн	12 543,64 грн	136 178,92 грн
Чиста приведена вартість (NPV)	1 809 438,45 грн	1 208 894,00 грн	988 223,80 грн
Виробництво електроенергії	1 134 075,00 кВт·год	2 048 725,00 кВт·год	2 335 050,00 кВт·год

Примітка: авторська розробка

Згідно з наведеними результатами у табл. 3.7 найбільш доцільним для впровадження є бізнес-кейс №3, а саме електростанція, яка включає СЕС і ВЕС для виробництва електроенергії, а також СНЕ для зберігання надлишкової електроенергії та живлення заміського котеджного комплексу у Білгород-Дністровському районі Одеської області України. Також на рис. 3.19-3.20 відображені середні потужності об'єктів ГСАДЕ, які виробляють електроенергію за рік протягом 365 днів – окремо ВЕС і СЕС відповідно.

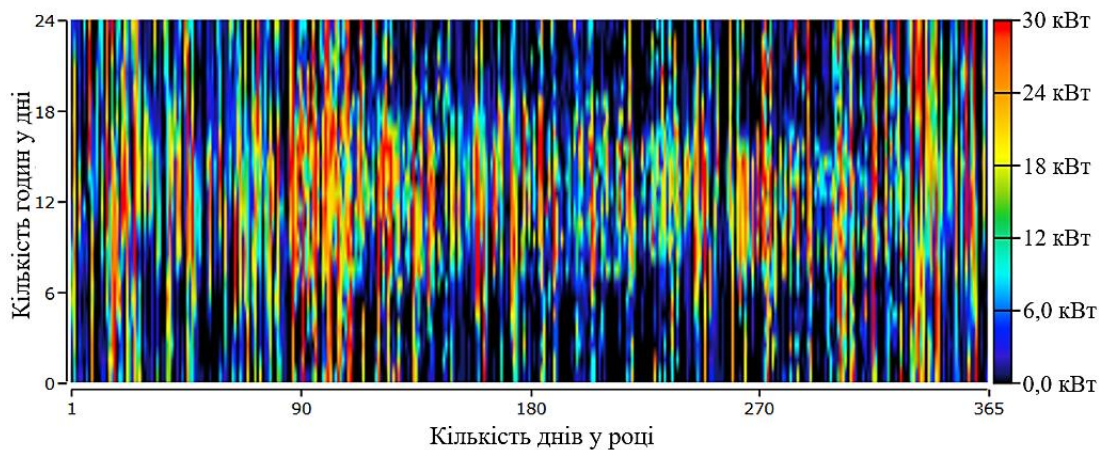


Рис. 3.19. Середня потужність ВЕС по годинам протягом 365 днів у гібридній установці «Одеська ГСАДЕ»
Примітка: сформовано автором

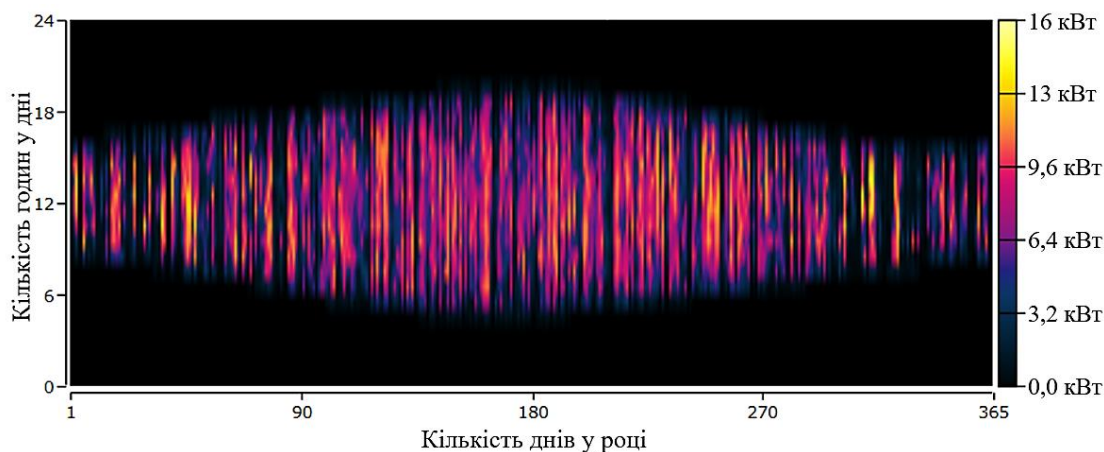


Рис. 3.20. Середня потужність СЕС по годинам протягом 365 днів у гібридній установці «Одеська ГСАДЕ»
Примітка: сформовано автором

На рис. 3.21 відображено загальна середньомісячна потужність гібридної установки «Одеська ГСАДЕ» бізнес-кейсу №3 для виробництва електроенергії.

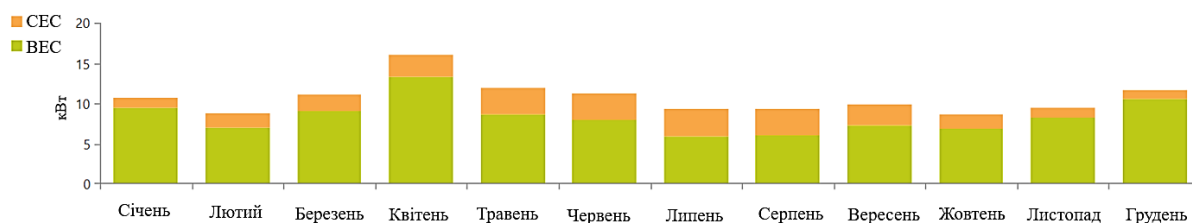


Рис. 3.21. Загальна середньомісячна потужність гібридної установки «Одеська ГСАДЕ»
Примітка: сформовано автором

Оскільки споживання електроенергії від мережі заміським котеджним комплексом становить 57 240 кВт·год на рік із вартістю до сплати 96 163,20 грн

по тарифам держави (вартість 1 кВт·год дорівнює 1,68 грн при споживанні електроенергії понад 250 кВт·год на місяць станом на 01.01.2022 р.), у табл. 3.8 наведено порівняння використання електроенергії від мережі та окремо від ГСАДЕ.

Таблиця 3.8

**Порівняння споживання електроенергії замиським котеджним комплексом
Одеської області з різних джерел енергозабезпечення**

Показники для порівняння (за 25 років)	Від мережі	Від ГСАДЕ (ВЕС + СЕС+ СНЕ)
Чиста приведена вартість (NPV)	–	988 223,80 грн
Сплата за електроенергію із мережі	2 404 080,00 грн	–
Отримання / виробництво електроенергії	1 431 000,00 кВт·год	2 335 050,00 кВт·год

Примітка: авторська розробка

Змодельована ГСАДЕ в регіоні (на прикладі авторського проекту гібридної електростанції «Одеська ГСАДЕ», Одеська область, Україна) для виробництва електроенергії з відновлюваних джерел замість споживання електроенергії з мережі має ефект економії коштів у розмірі 1 415 856,2 грн (41,11% при проведеному аналізі за період 25 років), а також можливо отримати на 61,28% (904 050 кВт·год) більше електроенергії від сталого енергозабезпечення ГСАДЕ та безперебійно-локальному енергопостачанні енергоустановкою.

Тобто, при встановленні ГСАДЕ та відключенні від мережі для сплати за електроенергію котеджного містечка в Білгород-Дністровському районі Одеської області України, гібридна установка буде мати термін окупності у 10,3 років (при середньорічній вартості за електроенергію від мережі у 961 643 грн), а також комбінація елементів ВЕС, СЕС й СНЕ буде створювати синергічний ефект збільшуючи КВВП всієї ГСАДЕ до 44,45% (наприклад, одна змодельована ВЕС має КВВП – 27,8%, а СЕС – 23,1%).

Окремі відновлювані джерела енергії не забезпечують стабільне та надійне електропостачання, тому остаточним рішенням є їх комбіноване використання для формування гібридних систем альтернативних джерел енергії та їх локальне впровадження в регіонах України.

Висновки до Розділу 3

1. Надано пропозиції з удосконалення механізмів державного регулювання розвитку альтернативної енергетики (механізми фінансово-бюджетного (економічного) регулювання, механізми регулювання цін та механізми регулювання державно-приватного партнерства) для стимулювання розвитку сфери ВДЕ та введення на законодавчому рівні в Україні.

Удосконалення механізмів державного регулювання розвитку сектору ВДЕ забезпечать ефективне скорочення використання традиційних (невідновлюваних) джерел енергії, парникових газів й шкідливих викидів, а також будуть сприяти підвищенню енергетичної безпеки держави.

Розвиток гібридних систем відновлюваної енергетики на основі відновлюваних джерел енергії та збільшення її частки в енергетичному балансі держави дозволить побудувати енергонезалежну економіку та виконати всі міжнародні зобов'язання за Угодою про асоціацію з ЄС та Паризькою угодою щодо клімату.

2. За результатами проведеного регресійного аналізу зростання частки відновлюваної енергетики в Україні наявні повільні темпи зростання частки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел за період 2012-2018 рр. (збільшення лише на 0,045% в рік).

Необхідно стимулювати до розвитку новітні технології в енергетичній сфері, а саме впровадження гібридних систем альтернативних джерел енергії, для досягнення затверджених національних і міжнародних енергетичних цілей, впровадження та грамотного управління інноваційними енергетичними об'єктами з більшим КВВП і сталим й безперебійним енергозабезпеченням.

3. Оцінений потенціал та особливості впровадження альтернативних джерел енергії в регіонах України підтверджують можливості заміщення традиційних (невідновлюваних) джерел енергії в енергетичному секторі держави на 93% відновлюваними джерелами енергії. Загальний річний інноваційний енергетичний потенціал ВДЕ в Україні з технологіями нашого часу становить 874 033 МВт, що складає близько 2 717 019 млн кВт·год/рік електроенергії

(наприклад, за весь 2021 р. в Україні було вироблено 156 576 млн кВт·год електроенергії).

Майбутнє енергетики буде ґрунтуватися на використанні відновлюваної енергетики, що знизить антропогенний вплив енергетики на навколишнє середовище, а також покращить соціально-політичне та економічне становище України.

4. Розроблено авторський проект гібридної електростанції «Одеська ГСАДЕ» в Білгород-Дністровському районі Одеської області та за допомогою програмного забезпечення «HOMER PRO» й «Microsoft Excel» змодельовано три бізнес-кейси гібридних електростанцій та найбільш перспективний й економічно обґрунтований варіант застосування ГСАДЕ обрано на базі ВЕС, СЕС та СНЕ для впровадження у регіоні.

Змодельований проект локальної та автономної енергоустановки демонструє можливість використання гібридних систем на основі ВДЕ для забезпечення локальним безперебійним електропостачанням домогосподарств, дозволяючи мати ефект економії коштів у розмірі 41,11% при споживанні електроенергії від ГСАДЕ (у порівнянні зі споживанням енергії від мережі) за проаналізований період у 25 років, а також отримувати на 61,28% більше електроенергії від ГСАДЕ із об'єктами ВДЕ, ніж від мережі.

Доведено, що гібридна установка буде мати термін окупності у 10,3 років при відключенні від мережі й забезпечення локального енергозабезпечення за допомогою ГСАДЕ, а також при об'єднанні енергетичних елементів комбінованої установки (ВЕС+СЕС+СНЕ) наявний синергічний ефект збільшуючи КВВП всієї уставки до 44,45% (наприклад, одна змодельована СЕС має КВВП – 23,10%, а ВЕС – 27,80%).

Розвиток гібридних систем ВДЕ в галузі відновлюваної енергетики сприятиме прискоренню економічного зростання, посиленню позитивного впливу на навколишнє середовище та залученню нових інвесторів. Крім того, інвестиції у сектор ВДЕ створюють робочі місця, зміцнюють економіку та прокладають шлях до безвуглецевого майбутнього України.

Основні результати авторських напрацювань по тематиці цього Розділу дисертації опубліковано в працях [70; 71; 178; 181; 182; 183].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі досліджено управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії, що дає змогу вирішити актуальні завдання розвитку галузі ВДЕ, сприяти децентралізації енергопостачання та європейської інтеграції України. При цьому отримано наступні наукові результати:

1. Обґрунтовано необхідність переходу від традиційних (невідновлюваних) джерел енергії до альтернативних (відновлюваних) джерел енергії:

- у зв'язку зі зростанням світового населення й збільшенням попиту на електроенергію необхідно впроваджувати інноваційні енергетичні потужності, адже у 2023 р. кількість світового населення досягла 8 млрд осіб, а до 2050 р. – 10 млрд осіб, у відповідності до чого необхідно буде збільшити споживання енергії на 30% і більше, ніж зараз. Нами рекомендовано розглядати до впровадження нові енергетичні потужності саме на альтернативних (відновлюваних) джерелах енергії, адже в світі йде виснаження запасів викопних ресурсів, тобто, при подальшому використанні традиційних (невідновлюваних) джерел енергії світові запаси викопних ресурсів закінчаться вже у найближчі 130 років: нафти через 42 роки, газу – 57 років, вугілля – 128 років;

- перехід на ВДЕ сприятиме боротьбі з кліматичними змінами, які в основному спричинені спаленням викопного палива, у відповідності до чого управління енергозабезпеченням за рахунок альтернативних джерел енергії, електрифікації та енергоефективності мають на меті забезпечити скорочення викидів на 90% до 2050 р. у світі, а також сприяти суспільному добробуту, збереженню навколишнього середовища тощо, згідно з затвердженими стратегіями, угодами та планами розвитку світових держав;

- все більше країн щорічно виробляють, продають і встановлюють технології на основі ВДЕ, що сприяє підвищенню соціально-економічних факторів в частині створення нових робочих місць та спеціалізацій у секторі

ВДЕ: на кінець 2020 р. в даному секторі працевлаштовано більше 12 млн осіб у світі та кількість працевлаштованих з кожним роком невідмінно зростає;

- вартість виробництва електроенергії з ВДЕ є дешевшим за технології на викопному паливі у світі: нормована вартість електроенергії із ВДЕ становить від 26 дол. США/МВт·год, в той час як, наприклад, газові електростанції – від 45 дол. США/МВт·год, вугільні електростанції – від 65 дол. США/МВт·год та атомні електростанції – від 131 дол. США/МВт·год. Також у світі продовжують надавати субсидії на технології, які працюють на викопному паливі та є застарілими з продовженими понаднормовими термінами експлуатації (наприклад, в Україні у 2021 р. було виділено 4 млрд грн на ремонт атомних/вугільних електростанцій та на початок 2022 р. 29 із 33 державних шахт є неприбутковими), а також за період 2016-2021 рр. Україна понад 35 млрд дол. США Україна витратила лише на імпорт енергоресурсів: нафтопродуктів, газу та нафти, оскільки виробництво електроенергії в Україні є залежним від роботи більшості застарілих атомних та вугільних електростанцій;

- хоча об'єкти відновлюваної енергетики вимагають початкових інвестицій для будівництва, вони можуть працювати за дуже низьких витрат (для більшості технологій відновлюваної енергетики «паливо» є безкоштовним), а також перехід на ВДЕ допоможе захистити споживачів електроенергії під час різкого зростання цін на викопне паливо;

- впровадження ВДЕ сприятиме розвитку економічної, енергетичної та екологічній безпеці в світі, задля стимулювання економічного відновлення після пандемії COVID-19. Також для України впровадження інноваційних енергетичних технологій буде вагомим драйвером відновлення держави після завершення військових дій на території України, для реалізації кліматично-нейтральних енергетичних потужностей.

2. Сформовано принципи управління альтернативними джерелами енергії та визначено три категорії технологій виробництва електроенергії (теплові, викопні та відновлювані) на основі різних джерел енергії та розвинуто принципи роботи альтернативних джерел енергії: вітрової енергетики, сонячної енергетики

(сонячна фотогальваніка), енергетика припливів, гідроенергетика, геотермальна енергетика, енергетика з біомаси (біогазу), сонячна енергетика (геліоконцентраторна), технологій майбутнього на основі ВДЕ (грозова, воднева, вулканічна енергетики, кріоенергетика, сонячна енергія з космосу). Розвиток інноваційних технологій на основі «зеленої» енергії буде сприяти ефективному виробництву та зберіганню енергії, сталому економічному розвитку країн і захисту від негативних кліматичних змін.

Альтернативні джерела енергії (СЕС, ВЕС, МГЕС тощо) не завдають шкоди навколишньому середовищу (в той час як, наприклад, інтенсивність викидів газових ТВЕ становить 411-487 гСО₂/кВт·год, вугільних 933-1 048 гСО₂/кВт·год тощо), мають менші капітальні витрати (наприклад, СЕС – 1 770-1 780 дол. США/кВт, вугільні ТВЕ – 3 900-3 950 дол. США/кВт) та вищі коефіцієнти надійності (наприклад, СЕС – 97-99%, вугільні ТВЕ – від 80%), а також інші техніко-економічні переваги над тепловими та викопними ТВЕ.

3. Проаналізовано зарубіжний та вітчизняний досвід управління використанням альтернативних джерел енергії і на основі якого доведено об'єктивну необхідність формування гібридних систем. Обґрунтовано необхідність впровадження гібридних систем альтернативних джерел енергії: окремі ВДЕ мають періодичні, щоденні та сезонні цикли з точки зору використання ресурсних потенціалів, наприклад, максимальний КВВП у СЕС досягається в окремий період денної доби, в той час як вночі він спадає до нуля. Аналогічно ВЕС мають періоди із мінливими поривами вітру, коли установка працює на мінімальній потужності, або зовсім зупинена. У зв'язку з цим комбінація двох або більше відновлюваних джерел енергії із системою накопичення електроенергії сприятиме підвищенню енергетичної безпеки держави та безперебійному локальному й регіональному енергозабезпеченню.

На основі аналізування наукових праць у сфері енергетики, удосконалено визначення категорії «гібридна система альтернативних джерел енергії» – як комбінація двох або більше відновлюваних джерел енергії із системою

накопичення електроенергії, яка забезпечує стаке виробництво електричної енергії та синергічний ефект від об'єднання різних елементів системи.

4. Проведено регресійний аналіз темпів зростання частки виробництва електроенергії з ВДЕ в Україні, який відображає повільні темпи зростання частки виробництва електроенергії: за період 2012-2018 рр. лише на 0,045% збільшення в рік, у зв'язку з цим зроблено висновки, що закладені показники у затверджених стратегіях, планах і офіційних документах держави є недосяжними у найближчі роки. У зв'язку зі вторгнення РФ на територію України від лютого 2022 року, російській війська захопили та знищили значну кількість об'єктів ВДЕ. Тому, після звільнення тимчасово окупованих територій від РФ необхідно буде відбудовувати та впроваджувати нові інноваційні технології для зміцнення сектору «зеленої» енергетики, а також задля досягнення енергетичних цілей, затверджених на законодавчому рівні України та сталого енергозабезпечення, оскільки розвиток відновлюваної енергетики є стрімко зростаючим глобальним трендом у світі.

5. Розраховано синергічний ефект у гібридних системах альтернативних джерел енергії. Сформовано економічні характеристики виробництва електроенергії гібридними установками, ключові регіональні й техніко-економічні переваги та обмеження виробництва енергії різними типами ВДЕ (джерела енергії: сонце, вітер, припливи, вода (гідро), біомаса та геотермальні джерела). Доступність різного типу технологій на основі альтернативної енергетики, науково-технічний прогрес людства та пошук нових інноваційних технологій виробництва енергії не виснажуючи природні джерела Землі, підвищують актуальність розвитку гібридизації різних типів відновлюваних джерел енергії у комбіновані системи, зменшуючи недоліки кожного типу системи й створюючи синергічний ефект від використання двох або більше елементів системи, в залежності від регіонального розміщення.

Досліджено та удосконалено основні переваги та обмеження використання різних типів ГСАДЕ: в частині переваг – це стаке (надійне) джерело живлення, оптимальне використання альтернативних джерел енергії (із системами

накопичення електроенергії, які акумулюють та зберігають вироблену електроенергію), низькі експлуатаційні витрати, підвищена ефективність, управління енергоспоживання за допомогою інвертору/контролеру («Smart Grid») та низький рівень викидів; в частині обмежень – це комплексний процес контролю роботи системи, висока вартість системи, термін роботи акумуляторних батарей, проектування системи. Оскільки піковий час роботи, наприклад, вітряних і сонячних систем припадає на різний час дня і року, за допомогою ГСАДЕ ймовірність мати сталі енергозабезпечення буде вищою у порівнянні з окремими ВДЕ.

6. Проаналізовано соціально-еколого-економічні чинники та їх вплив на визначення потужностей гібридних установок у регіонах, для сталого розвитку соціальних, екологічних та економічних сфер суспільства. Визначено, що кількість працівників у сфері відновлюваної енергетики з кожним роком зростає (у 2020 р. ця цифра становила 12 млн осіб та світовим лідером за кількістю працівників у сфері ВДЕ був Китай), а також працівники у сфері ВДЕ мають високу оплату праці, у порівнянні з іншими сферами праці. Також розвиток альтернативної енергетики та впровадження інноваційних проектів на прикладі ГСАДЕ сприятимуть створенню й розвитку нових спеціалізацій (наприклад, монтажники турбін або сонячних панелей, сервісні інженери-енергетики, сайт-менеджери/контент-менеджери тощо).

Трансформація сектору енергетики за рахунок ВДЕ у 2050 р. сприятиме збільшенню світового ВВП у 2,40 рази (в порівнянні з 2019 р.) вже із сукупним вигрешом з 2019 р. по 2050 р. у 98 трильйонів дол. США. При використанні альтернативних джерел енергії з інноваційними методами управління наявна можливість зменшити енергоємність ВВП країн із розвитком високого рівня екологічної прийнятності енерговиробництва за рахунок ВДЕ.

7. Здійснено порівняльний аналіз показників інвестиційної привабливості галузі альтернативних джерел енергії та доведено, що у секторі енергетики проекти ВДЕ: мають найбільшу інвестиційну привабливість у порівнянні з ТВЕ на основні викопного палива (наприклад, у 2021 р. у ВДЕ було інвестовано 366

млрд дол. США у світі, а у невідновлювані джерела енергії лише 164,43 млрд дол. США); найменші ризики впровадження у зв'язку зі збільшенням попиту на електроенергію та здешевленням вартості обладнання для об'єктів на основі ВДЕ; високу економічну ефективність (швидкий термін окупності); забезпечені державними механізмами підтримки (система аукціонів, «зелений» тариф тощо); мають успішний досвід у країнах світу в частині реалізації інноваційних проектів на основі ВДЕ (впровадження інноваційних проектів на основі ГСАДЕ мають стимулювати сталий розвиток економіки України та стати драйвером розвитку енергетичного сектору).

Україна володіє значним потенціалом для впровадження нових інноваційних потужностей на основі альтернативних джерел енергії, що сприятиме сталому управлінню енергозабезпечення регіонів держави.

8. Надано пропозиції з удосконалення механізмів державного регулювання розвитку альтернативної енергетики (механізми фінансово-бюджетного (економічного) регулювання, механізми регулювання цін та механізми регулювання державно-приватного партнерства) для стимулювання розвитку сфери альтернативних джерел енергії на законодавчому рівні в Україні.

Впровадження й удосконалення механізмів державного регулювання розвитку сектору ВДЕ мають забезпечити скорочення використання невідновлюваних джерел енергії, що призведе до зменшення викидів парникових і шкідливих викидів задля збереження довкілля та зупинення кліматичних змін, а також будуть сприяти підвищенню енергетичної безпеки держави.

Розвиток ГСАДЕ на основі ВДЕ та збільшення її частки в енергетичному балансі нашої держави сприятимуть розбудові енергонезалежної економіки та прискорять виконання міжнародних зобов'язань за Паризькою угодою щодо клімату та Угодою про асоціацію з Європейським Союзом.

9. Оцінено потенціал та особливості впровадження альтернативних джерел енергії в регіонах України щодо можливостей заміщення в енергетичному секторі держави невідновлюваних джерел енергії на 93% за рахунок ВДЕ. Обґрунтовано, що загальний річний інноваційний енергетичний потенціал

альтернативних джерел енергії в Україні з сучасними технологіями становить 874 033 МВт, що дорівнює 2 717 019 млн кВт·год виробництва електроенергії на рік (наприклад, у 2021 р. вироблено 156 576 млн кВт·год електроенергії в ОЕС України).

При використанні оціненого потенціалу нашої країни для впровадження об'єктів на основі ВДЕ, Україна пришвидшить децентралізацію регіонального енергопостачання, сформує наочний приклад для зарубіжних країн в частині локального використання ГСАДЕ, задля забезпечення безперебійного енергозабезпечення домогосподарств, селищ, ОТГ, міст і регіонів.

10. Розроблено авторський проект управління гібридною електростанцією «Одеська гібридна система альтернативних джерел енергії» в Білгород-Дністровському районі Одеської області України та за допомогою прикладних програм «HOMER PRO» й «Microsoft Excel» змодельовано три управлінські бізнес-кейси комбінованих установок і економічно обґрунтований, та найбільш перспективний варіант застосування ГСАДЕ обрано на основі вітрової, сонячної електростанцій та системи накопичення електроенергії для впровадження у визначеному регіоні.

У змодельованому проекті продемонстровано можливість використання локальних й автономних гібридних систем на основі альтернативних джерел енергії для забезпечення локальним безперебійним електропостачанням, при цьому маючи економічний ефект коштів у розмірі 41,11% при споживанні електроенергії від гібридної установки (у порівнянні зі споживанням енергії від мережі) за проаналізований період у 25 років (чиста приведена вартість ГСАДЕ становить 988 223,8 грн, вартість сплати за електроенергію від мережі при тарифах станом на 01.01.2022 р. – 2 404 080 грн), й отримувати на 61,28% більше електроенергії від гібридної установки із об'єктами ВДЕ, ніж від мережі.

Сформована ГСАДЕ має термін окупності 10,3 років наявний синергічний ефект при об'єднанні альтернативних джерел збільшуючи КВВП електростанції до 44,45% (при моделюванні КВВП у одній ВЕС становив 27,80%, а у СЕС – 23,10%).

За підсумками проведеного дослідження щодо управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії можна зробити висновки, що розвиток сектору альтернативної енергетики сприятиме пришвидшенню економічного зростання нашої держави, залученню нових інвестицій, створенню нових робочих місць, забезпеченню регіональної децентралізації енергопостачання, а також захисту від негативних кліматичних змін та збереженню навколишнього середовища, на шляху до вуглецево-нейтрального майбутнього України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ажаман, І. А., & Гордєєв, О. Ю. (2021). Стан та тенденції розвитку системи енергозабезпечення в Україні. *Журнал стратегічних економічних досліджень*.
2. Ажаман, І. А., & Ширяєва, Н. Ю. (2018). Критерії діагностування управлінської діяльності будівельних бізнес-організацій. *Причорноморські економічні студії*, (34), 107-110.
3. Акіліна О. В., Ільч Л. М. Підручник «Економіка праці та соціально-трудова відносини». – 2020.
4. Асоціація «Український Ядерний Форум». Експорт та імпорт електроенергії у 2021 році. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.atomforum.org.ua/news/2022/eksport ta import elektroenergiyi u 2021](http://www.atomforum.org.ua/news/2022/eksport%20ta%20import%20elektroenergiyi%20u%202021) (дата звернення: 11.05.2022).
5. Артемчук, В., Білан, Т., Блінов, І., Декуша, О., Запорожець, А., Іванов, Г., ... & Яцишин, Т. (2017). Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики: Монографія. *НАН України*.
6. АТ «НАК «Нафтогаз України». [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.naftogaz.com/> (дата звернення: 01.12.2022).
7. Барановська, І. В. (2018). Фактори модернізації економіки України: монографія.
8. Барило, А. А., Бенменні, М., Будько, М. О., Будько, В. І., Васько, П. Ф., Головка, В. М., ... & Яценко, Л. В. (2020). Відновлювані джерела енергії (монографія).
9. Борукаєв, З., Блінов, І., Остапченко, К., Чемерис, О., & Шкарупило, В. (2022). Моделі та засоби автоматизації систем організаційного управління енергоринком: монографія. *Publishing house «European Scientific Platform»*.

10. Вамболь, С. О., Строков, О. П., Вамболь, В. В., & Кондратенко, О. М. (2015). Сучасні способи підвищення екологічної безпеки експлуатації енергетичних установок: монографія.

11. Всесвітня організація охорони здоров'я. Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.who.int/> (дата звернення: 24.01.2022).

12. Всеукраїнська екологічна ліга. Екологічна енциклопедія. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ecoleague.net/diialnist/vydannia-vel/ekolohichna-entsyklopediia> (дата звернення: 07.06.2020).

13. Ганущак-Єфіменко, Л. М., & Єрмошенко, М. М. (2010). Механізм розвитку інноваційного потенціалу кластерооб'єднаних підприємств: монографія. *К.: Національна академія управління*, 236.

14. Ганущак-Єфіменко, Л. М., & Єрмошенко, М. М. (2011). Економіка та управління інноваційною діяльністю: навчальний посібник. *К.: Національна академія управління*.

15. Готра, В. В. (2015). Аналіз зарубіжного досвіду забезпечення інноваційного розвитку економіки. *Проблеми і перспективи економіки та управління*, (2 (2)), 235-243.

16. Готра, В. В. (2022). ОСОБЛИВОСТІ СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ РЕГІОНАЛЬНОЮ ЕКОНОМІКОЮ В СУЧАСНИХ УМОВАХ. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка»*, (2 (60)), 66-70.

17. Готра, В. В., Проскура, В. Ф., & Білак, Г. Г. (2023). СТРАТЕГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМ КАПІТАЛОМ. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка»*, (1 (61)), 39-43.

18. Грищенко, І. М., Каплун, В. В., Дяченко, М. В., Власенко, О. В., Каплун, Р. В., & Жулай, Г. С. (2013). Управління енергоспоживанням у вищих навчальних закладах.

19. Грищенко, І. М., Федоренко, В. Г., & Воронкова, Т. Є. (2017). Економіка України в глобальному і внутрішньому вимірі: монографія. *ТОВ «ДКС центр»*.

20. ГО «Екодія». Відновлювана енергія для українців: що може зробити політик. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2019/11/VDEdlyaUa-web2.pdf> (дата звернення: 13.03.2020).

21. ГО «Екодія». Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ecoaction.org.ua/> (дата звернення: 09.10.2022).

22. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://saee.gov.ua> (дата звернення: 29.07.2022).

23. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Дорожня карта розвитку відновлюваної енергетики України на період до 2020 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://saee.gov.ua/uk/pressroom/1133> (дата звернення: 01.12.2019).

24. Державне підприємство «Гарантований покупець». Актуальна інформація щодо розрахунків з виробниками електроенергії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gpee.com.ua/main/news?id=342> (дата звернення: 22.02.2022).

25. Державне підприємство «Енергоатом». Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.energoatom.com.ua/> (дата звернення: 01.12.2021).

26. Державна податкова служба України. Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tax.gov.ua/> (дата звернення: 04.06.2022).

27. Державна служба статистики України. Викиди забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферу від пересувних джерел. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/07/Arch_vikid_bl.htm (дата звернення: 01.06.2022).

28. Державна служба статистики України. Економічна статистика / Економічна діяльність / Енергетика. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до

ресурсу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm (дата звернення: 30.05.2022).

29. Дзядикевич, Ю. В., Язлюк, Б. О., Гевко, Р. Б., Гайда, Ю. І., Розум, Р. І., Пиріг, Г. І., ... & Гевко, Б. Р. (2016). Економіка доквілля і природних ресурсів: монографія.

30. Дячук, О., Чепелєв, М., Подолець, Р., Трипольська, Г., Венгер, В., Саприкіна, Т., & Юхимець, Р. (2017). Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року; за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої. Київ: Вид-во ТОВ «АРТ КНИГА».

31. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Розвиток атомної енергетики та об'єднаних енергосистем [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-4/part-1/section-1> (дата звернення: 01.12.2019).

32. Європейсько-Українське Енергетичне Агентство. Створення робочих місць у сферах енергоефективності та відновлюваної енергетики в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://reform.energy/media/1463/b46d83bca4c4d68ed98f1807262d702c.pdf> (дата звернення: 05.09.2021).

33. Європейсько-Українське Енергетичне Агентство. 6 глобальних результатів та тенденцій інвестування відповідно до BloombergNEF. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://euea-energyagency.org/uk/novyny-ta-podiyi/novyny-rynku/6-globalnyh-rezultativ-ta-tendentsij-investuvannya-vidpovidno-do-bloombergnef/> (дата звернення: 03.07.2020).

34. Єрохін, С. А. (2020). Цифровізація України в індексах. *За загальною редакцією*, 22.

35. Єрохін, С. А., & Володіна, В. О. (2014). Ефективність функціонування ринку інноваційних ідей в національній економіці. *Актуальні проблеми економіки*, (5), 67-75.

36. Житомир.info. У Баранівці запустили міні-ГЕС, яку інвестори побудували за 21 млн грн. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://www.zhitomir.info/news_168621.html (дата звернення: 03.09.2020).

37. Закон України №555-IV від 01.01.2023 «Про альтернативні джерела енергії» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, № 24, ст. 155). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/main/555-15> (дата звернення: 01.01.2023).

38. Закон України №810-IX від 01.01.2023 «Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2020, № 50, ст. 456). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/810-20#Text> (дата звернення: 01.01.2023).

39. Закон України №2019-VIII від 31.03.2023 «Про ринок електричної енергії» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 27-28, ст. 312). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 31.03.2023).

40. Закон України №2046-IX від 15.02.2022 «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку установок зберігання енергії». [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2046-IX#Text> (дата звернення: 19.03.2022).

41. Інтернет-видання «Без Табу». Відмова Швейцарії від атомної енергетики. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://beztabu.net/v-shvejcarii-mogut-otkazatsya-ot-atomnoj-energetiki_n19588

42. Інтернет-видання «Економічна правда». Відновлювана енергетика: завдання на 2022. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/01/11/681321/> (дата звернення: 10.12.2019).

43. Інтернет-видання «НикВести». Миколаївщина є одним із найперспективніших регіонів для розвитку сонячної енергетики. [Електронний

ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://nikvesti.com/news/politics/142401> (дата звернення: 19.03.2020).

44. Інтернет-видання «Українська енергетика». За 5 років Україна витратила 35 млрд дол. на імпорт енергоресурсів – АГКУ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ua-energy.org/uk/posts/za-5-rokiv-ukraina-vytratyla-35-mlrd-dol-na-import-enerhoresursiv-ahku> (дата звернення: 22.04.2021).

45. Інтернет-видання «BBC News Україна». Як брудне повітря впливає на смертність від коронавірусу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-52357143> (дата звернення: 26.04.2020).

46. Інтернет-видання «Elektrovesti». Китай розпочав розробку першої космічної сонячної електростанції. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://elektrovesti.net/64582_kitay-pristupil-k-razrobotke-pervoy-kosmicheskoy-solnechnoy-elektrostantsii (дата звернення: 23.02.2020).

47. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ive.org.ua/?p=2418> (дата звернення: 09.09.2022).

48. Коронавірус в Україні. Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://covid19.gov.ua/> (дата звернення: 03.05.2021).

49. Кудря С.О., Будько В.І. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Курс лекції – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 387 с.

50. Ляшенко, В. І., & Вишневецький, О. С. (2018). Цифрова модернізація економіки України як можливість проривного розвитку: монографія. *Institut ekonomiky promyslovosti*.

51. Міністерство енергетики України. Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://mpe.kmu.gov.ua/> (дата звернення: 23.02.2022).

52. Міністерство енергетики України. Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:

http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=35081

(дата звернення: 23.02.2022).

53. Міністерство освіти і науки України. Офіційний вебсайт. URL: <https://mon.gov.ua/> (дата звернення: 23.02.2022).

54. Міністерство розвитку громад та територій України. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai--ni.pdf> (дата звернення: 17.04.2021).

55. Нараєвський, С. В. (2014). Залежність собівартості електроенергії від вартості грошових ресурсів для різних видів генерації. *Економіка та держава*, (12), 101-105.

56. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Загальноукраїнська інформація та статистична інформація європейських інституцій у сфері електричної енергії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/energetichni-pidpriyemstva/zagalnoukrayinska-informaciya-ta-statistichna-informaciya-yevropejskih-institucij-u-sferi-elektrichnoyi-energiyi> (дата звернення: 03.12.2021).

57. Національна рада з відновлення України від наслідків війни. Проект Плану відновлення України: Матеріали робочої групи «Енергетична безпека». [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf> (дата звернення: 03.08.2022).

58. Національний інститут стратегічних досліджень. Низьковуглецева енергетика: стан та стратегічні пріоритети розвитку в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2019-12/analit-bobro-1.pdf> (дата звернення: 22.01.2021).

59. Олешко, А. А. (2009). Теоретичні аспекти антикризового регулювання національної економіки. *Економіка та держава*, (11), 86-87.

60. Олешко, А. А., & Салтанюк, Н. С. (2020). Управління прибутком підприємства в умовах фінансової нестабільності. *EDITORIAL BOARD*, 284.

61. Павлик, А. В. (2019). Еколого-економічне оцінювання ефективності використання відновлюваних джерел енергії (*Doctoral dissertation, Сумський державний університет*).

62. Павлова, О. М., Павлов, К. В., Писанко, С. В., & Матійчук, Л. П. (2023). Регулювання інвестиційно-інноваційної активності в електроенергетичній галузі України (монографія).

63. ПАТ «НЕК «Укренерго». Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.energy/> (дата звернення: 09.02.2022).

64. Представництво ООН в Україні. Національна доповідь «Цілі Сталого Розвитку: Україна», 15 вересня 2017 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.un.org.ua/ua/tsili-rozvytku-tysiacholittia/tsili-staloho-rozvytku> (дата звернення: 29.11.2019).

65. Розпорядження Кабінету Міністрів України №902-2014-р від 01.10.2014 «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року». [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80> (дата звернення: 18.01.2020).

66. Розпорядження Кабінету Міністрів України №605-2017-р від 18.08.2017 «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80> (дата звернення: 11.03.2021).

67. Рудаченко, О. О., & Клебнова, Т. С. (2023). Розвиток регіональних соціально-економічних систем в умовах кризи: аналіз, оцінка, прогнозування: монографія.

68. Сабіщенко, О.В. (2022). Актуальність розвитку альтернативної енергетики в Україні для забезпечення сталого освітнього процесу в умовах

воєнного стану. *Матеріали Всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації «Освітній процес в умовах воєнного стану в Україні»* (м. Одеса, Україна, 3 травня - 13 червня 2022 р.), 386-388.

69. Сабіщенко, О. В. (2020). Сталий розвиток енергетичного сектору за рахунок використання гібридних систем відновлюваних джерел енергії. *Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті»* (м. Київ, Україна, 14-15 травня 2020 р.), 77-80.

70. Сабіщенко, О. В., & Скрипник, А. В. (2018). Моделювання карти ризиків бізнес-проекту у вітроенергетиці. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Міжнародна безпека у світлі сучасних глобальних викликів»* (м. Вільнюс, Литва, 11 червня 2018 р.), 373-380.

71. Сабіщенко, О. В., Скрипник, А. В., & Корецький, С. Л. (2014). Вітроенергетичні установки як альтернатива енергозощаджуючих технологій та енергозабезпечення. *Науковий журнал «Енергетика та автоматика»*, (3), 134-140.

72. Сабіщенко, О. В., Скрипник, А. В., & Нам'ясенко, Ю. О. (2018). Енергетичний Сектор України: Крах чи Виживання. *Науковий журнал «Проблеми економіки»*, (1 (35)), 122-134.

73. Сотник, М. І., Теліженко, О. М., Жулавський, А. Ю., Сотник, І. М., Коплик, І. В., Дрозденко, О. О., ... & Сохань, А. О. (2020). Модель системи управління ефективністю та прогнозування використання електричної енергії. *Сумський державний університет*.

74. Сотник, І. М. (2010). Управління ресурсозбереженням: соціо-еколого-економічні аспекти (монографія). *Vydavnyts'vo SumDU*.

75. Сохнич, А. Я., Якимчук, А. Ю., & Казаченко, Л. М. (2020). Управління територіями, на яких розташовані відновлювані джерела енергії. *Вісник економічної науки України*.

76. ТОВ «ВІНД ПАВЕР ДЖІ ЕС АЙ». Звіт з оцінки впливу на довкілля Будівництво і експлуатація вітрової електростанції Львівська обл., Яворівський

р-н, на землях Терновицької та Залузької сільських рад (за межами населених пунктів). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/1909/reports/63b4c409e9a667ac0bf8212836f3a86f.pdf> (дата звернення: 09.09.2021).

77. ТОВ «ДТЕК». Тарифи на електроенергію в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dtek-kem.com.ua/ua/services-tariffs> (дата звернення: 23.01.2022).

78.. ТОВ «МінфінМедіа». Станом на 01 січня 2022 р. курс 1 грн становив 30,58 євро. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://index.minfin.com.ua/ua/exchange/archive/2022-01-01/> (дата звернення: 11.01.2022).

79. ТОВ «ІКНЕТ». Виробництво біогазу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://iknet.com.ua/uk/articles/useful-to-know/biogas-production/> (дата звернення: 16.12.2020).

80. ТОВ «КУА «ЕКОЦЕНТР». Загальна інформація про вітрові електростанції. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ecosvit.net/ua/vitrogeneratori> (дата звернення: 14.08.2022).

81. ТОВ «МінфінМедіа». Статистичні дані. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://minfin.com.ua/> (дата звернення: 21.02.2022).

82. ТОВ «НОВИННА ГРУПА УКРАЇНА». Калькуляція вартості кіловата: як формуються платіжки в Україні та Європі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://hub.segodnya.ua/ua/hub/economics/kalkulyaciya-stoimosti-kilovatta-iz-chego-sostoyat-platezhki-v-ukraine-i-evrope-1583687.html> (дата звернення: 28.11.2021).

83. ТОВ «ТОП ЛІД». Довідник «Енергетика України». [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://businessviews.com.ua/the-infographics-report-energy-of-ukraine-2020/> (дата звернення: 11.04.2022).

84. ТОВ «УАПРОМ». Електрообладнання. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://prom.ua/ua/Elektrooborudovanie> (дата звернення: 15.08.2022).

85. ТОВ «Фьючер Медіа». Галузі майбутнього: розвиток «зеленої» енергетики. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://mind.ua/publications/20189674-galuzi-majbutnogo-rozvitok-zelenoyi-energetiki> (дата звернення: 22.12.2019).

86. ТОВ «All-Biz». Поновлювані джерела енергії України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.all.biz/uk/ponovlyuvani-dzherela-energiyi-bgr1517> (дата звернення: 14.08.2022).

87. Українське національне інформаційне агентство «Укрінформ». Будівництво нової ГЕС коштуватиме 13,47 мільярдів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2191790-budivnictvo-novoi-ges-kostuvatime-1347-mlrdgrn-teo.html> (дата звернення: 19.12.2019).

88. Фонд імені Гайнріха Бьоля. Клімат та енергетика. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.boell.org/uk/klimat-ta-energetika> (дата звернення: 03.06.2022).

89. Храпкіна, В. В., Устименко, В. А., Біла, С. О., Болдирєва, Л. М., Вольська, О. М., Дятлова, В. В., ... & Потапенко, Т. П. (2019). Детермінанти сталого розвитку економіки: міжнародна колективна монографія. *Інститут економіко-правових досліджень НАН України; Національний Університет «Києво-Могилянська Академія»; Комратський державний університет.*

90. Шкода, М. С. (2012). Світовий досвід використання логістичних підходів для ефективного управління розвитком підприємства й адаптація їх до вітчизняних реалій. *Актуальні проблеми економіки*, (10), 31-36.

91. Шкода, М. С. (2016). Активізація інноваційної політики як чинник підвищення конкурентоспроможності національної економіки. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Економічні науки*, (1), 55-63.

92. Abdul-Rahman, S., & Badran, A. (2017). Analysis of an Off-Grid Photovoltaic-Wind Hybrid Power System for Disi Water Pumping Project. *Int. J. of Thermal & Environmental Engineering*, 14(1), 41-48.

93. Alternative Energy Tutorials. Betz Limit. [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/wind-energy/betz-limit.html> (дата звернення: 13.02.2020).

94. Amazon. Outdoor Generators & Portable Power. [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: https://www.amazon.com/polycrystalline-solar-panel/s?k=polycrystalline+solar+panel&i=lawngarden&rh=n%3A2972638011%2Cn%3A552808&dc&ds=v1%3Af%2F%2FU0znQkomxxh6%2FpI4P1G3og2F%2BeSuED2vrvYyLwuc&qid=1661185714&ref=sr_ex_n_1 (дата звернення: 17.08.2022).

95. Arellano-Escudero, N. (2019). Research notes about History of the Solar Energy Technologies (XIX-XX): Heritage, Archives & Memory. *Quaderns d'història de l'enginyeria*, 17, 175-186.

96. Arnström, S. (2020). The Nuclear Option: A Global Sustainability Appraisal of Civil Nuclear Energy.

97. Ashtiani, M. N., Toopshekan, A., Astarai, F. R., Yousefi, H., & Maleki, A. (2020). Techno-economic analysis of a grid-connected PV/battery system using the teaching-learning-based optimization algorithm. *Solar Energy*, 203, 69-82.

98. Bayar, Y., & Gavriletea, M. D. (2019). Energy efficiency, renewable energy, economic growth: evidence from emerging market economies. *Quality & Quantity*, 53(4), 2221-2234.

99. Baxter, J., Walker, C., Ellis, G., Devine-Wright, P., Adams, M., & Fullerton, R. S. (2020). Scale, history and justice in community wind energy: An empirical review. *Energy Research & Social Science*, 68, 101532.

100. Bezpartochnyi, M., Britchenko, I., & Bezpartochna, O. (2023). Current issues of the management of socio-economic systems in terms of globalization challenges (monograph).

101. Breeze, P. (2019). Power generation technologies (book). *Newnes*.

102. Chapman, P. F., & Roberts, F. (2013). Metal Resources and Energy: Butterworths Monographs in Materials. *Elsevier*.

103. Chowdhury, N., Akram Hossain, C., Longo, M., & Yaïci, W. (2020). Feasibility and Cost Analysis of Photovoltaic-Biomass Hybrid Energy System in Off-Grid Areas of Bangladesh. *Sustainability*, 12(4), 1568.

104. Climate Change News. Tidal lagoon energy could replace 80 coal power plants worldwide. [Электронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.climatechangenews.com/2015/05/12/tidal-lagoon-energy-could-replace-80-coal-power-plants-worldwide/> (дата звернення: 05.03.2020).

105. Climate Home News. Renewables overtake fossil fuels in EU electricity generation. [Электронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.climatechangenews.com/2020/07/22/renewables-overtake-fossil-fuels-eu-electricity-generation/> (дата звернення: 30.05.2021).

106. Collins, C. (1996). Local economy (monograph).

107. Culea, L. C. (2020). Comparative Analysis of the Causes and Consequences of the Nuclear Accidents from Fukushima and Chernobyl. In *International Scientific Conference "Strategies XXI"* (pp. 63-71)." Carol I" National Defense University.

108. Diffen. AC (Alternating Current) vs. DC (Direct Current). [Электронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://www.diffen.com/difference/Alternating_Current_vs_Direct_Current (дата звернення: 29.06.2021).

109. Doherty, R., & O'Malley, M. (2005). A new approach to quantify reserve demand in systems with significant installed wind capacity. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(2), 587-595.

110. Ecoaction. Water is coming: sea level rise in Ukraine caused by climate change. [Электронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://en.ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2019/04/water-is-coming-eng-short.pdf> (дата звернення: 17.03.2020).

111. ElectrifyMe. Офіційний вебсайт. [Электронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://electrifyme.org/dynamiccharts/> (дата звернення: 11.10.2021).

112. Ember. Coal to Clean Energy Policy: Global Electricity Review 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2020/03/Ember-2020GlobalElectricityReview-Web.pdf> (дата звернення: 01.02.2021).

113. Ember. European Electricity Review 2022. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2022/01/Report-EER.pdf> (дата звернення: 09.03.2022).

114. Enerdata. Global Energy Trends – 2021 Edition. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.enerdata.net/> (дата звернення: 06.03.2022).

115. EnergyMag. Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://energymag.net/> (дата звернення: 17.06.2021).

116. ESI Africa's Power and Energy Journal. US and China: Hybrid Power Solutions Market to cross \$60bn by 2024. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.esi-africa.com/industry-sectors/renewable-energy/hybrid-power-solutions-market-to-cross-60bn-by-2024/> (дата звернення: 17.01.2021).

117. European Commission. REpowerEU. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131 (дата звернення: 26.07.2022).

118. Feldman, E. R., & Hernandez, E. (2021). Synergy in mergers and acquisitions: Typology, lifecycles, and value. *Academy of Management Review*, (ja).

119.

107. Foss, N. J. (1996). Research in strategy, economics, and Michael Porter. *Journal of Management Studies*, 33(1), 1-24.

120. Fox, D. (2000). Economy and semantic interpretation (Vol. 35). *MIT press*.

121. Google. Google Maps. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.google.com.ua/maps/> (дата звернення: 19.01.2022).

122. Gryshchenko, I., Shcherbak, V., & Shevchenko, O. (2017). A procedure for optimization of energy saving at higher educational institutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.

123. Gryshchenko, I., Tarasenko, I. O., Tsymbalenko, N., Nefedova, T., & Tarasenko, O. (2019). Model of investments optimization in improving economic potential of university. *Revista Espacios*.

124. Gryshchenko, I., Hanushchak-Yefimenko, L., Scherbak, V., & Volianyk, O. (2021). МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ УНІВЕРСИТЕТУ В СИСТЕМІ ЕНЕРГОХАБА ЗНАНЬ. *Journal of Strategic Economic Research*, (5), 34-43.

125. Haupt, S. E., McCandless, T. C., Dettling, S., Alessandrini, S., Lee, J. A., Linden, S., & Wiener, G. (2020). Combining Artificial Intelligence with Physics-based Methods for Probabilistic Renewable Energy Forecasting. *Energies*, 13(8), 1979.

126. Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S., & Alonso-Gómez, V. (2019). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy*, 188, 426-440.

127. HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources). Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.homerenergy.com/> (дата звернення: 02.01.2022).

128. IB Centre Inc. Офшорна вітроенергетика Великої Британії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ibcentre.org/> (дата звернення: 27.12.2021).

129. International Energy Agency. Oil Market Report – April 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://webstore.iea.org/oil-market-report> (дата звернення: 17.05.2020).

130. International Energy Agency. Data and statistics. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iea.org/data-and-statistics> (дата звернення: 17.09.2022).

131. International Hydropower Association. Офіційна сторінка. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.hydropower.org/> (дата звернення: 17.09.2022).

132. International Renewable Energy Agency. Офіційна сторінка. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.irena.org/> (дата звернення: 23.08.2022).

133. International Renewable Energy Agency. Energy subsidies: Evolution in the global energy transformation to 2050. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Energy-Subsidies-2020> (дата звернення: 17.06.2021).

134. International Renewable Energy Agency. Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf (дата звернення: 12.04.2020).

135. International Renewable Energy Agency. Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020> (дата звернення: 19.05.2020).

136. International Renewable Energy Agency. Investment Trends. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Finance-and-Investment/Investment-Trends> (дата звернення: 17.09.2022).

137. International Renewable Energy Agency. Post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Post-COVID-Recovery> (дата звернення: 11.08.2020).

138. International Renewable Energy Agency. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.irena.org/publications/2021/Oct/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2021> (дата звернення: 29.12.2021).

139. International Renewable Energy Agency. Synergies between renewable energy and energy efficiency. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Aug/IRENA_REmap_Synergies_REEE_2017.pdf (дата звернення: 30.11.2019).

140. International Renewable Energy Agency. Scaling up investments in ocean energy technologies. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Scaling-up-investments-in-ocean-energy-technologies> (дата звернення: 27.04.2023).

141. Islam, M. S., Akhter, R., & Rahman, M. A. (2018). A thorough investigation on hybrid application of biomass gasifier and PV resources to meet energy needs for a northern rural off-grid region of Bangladesh: A potential solution to replicate in rural off-grid areas or not? *Energy*, 145, 338-355.

142. Kaldellis, J. K., & Zafirakis, D. (2011). The wind energy (r) evolution: A short review of a long history. *Renewable energy*, 36(7), 1887-1901.

143. Keane, A., Milligan, M., Dent, C. J., Hasche, B., D'Annunzio, C., Dragoon, K., & O'Malley, M. (2010). Capacity value of wind power. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26(2), 564-572.

144. KNESS Group. KNESS став першим національним промисловим виробником сонячних панелей в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://kness.energy/news/> (дата звернення: 23.04.2021).

145. Kumar, N. M., Chopra, S. S., Chand, A. A., Elavarasan, R. M., & Shafiullah, G. M. (2020). Hybrid renewable energy microgrid for a residential community: a techno-economic and environmental perspective in the context of the SDG7. *Sustainability*, 12(10), 3944.

146. LePoire, D. J., & Chandrankunnel, M. (2020). Energy flow trends in Big History. In *The 21st Century Singularity and Global Futures* (pp. 185-200). Springer, Cham.

147. LLC Fuhrlaender Wind Technology. УКРАЇНСЬКА ENERGETИКА: В Україні вперше налагодили виробництво мегаватних вітротурбін. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://fwt.com.ua/ukra%D1%97nska->

[energetika-novini-v-ukra%D1%97ni-vpershe-nalagodili-virobnictvo-megavatnix-vitroturbin/](#) (дата звернення: 15.10.2020).

148. Lüth, A., Weibezahn, J., & Zepter, J. M. (2020). On Distributional Effects in Local Electricity Market Designs - Evidence from a German Case Study. *Energies*, 13(8), 1993.

149. Maisanam, A. K. S., Biswas, A., & Sharma, K. K. (2021). Integrated socio-environmental and techno-economic factors for designing and sizing of a sustainable hybrid renewable energy system. *Energy Conversion and Management*, 247, 114709.

150. Maslow, A. H. (1998). Maslow on management. *John Wiley & Sons*.

151. Microsoft. Microsoft Excel. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/excel> (дата звернення: 04.01.2020).

152. Miernicki, E. A., Heald, A. L., Huff, K. D., Brooks, C. S., & Margenot, A. J. (2020). Nuclear waste heat use in agriculture: History and opportunities in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 121918.

153. Mills, A. D., & Rodriguez, P. (2020). A simple and fast algorithm for estimating the capacity credit of solar and storage. *Energy*, 210, 118587.

154. Mintzberg, H. (1973). Strategy-making in three modes. *California management review*, 16(2), 44-53.

155. Mintzberg, H. (1989). Mintzberg on management: Inside our strange world of organizations. *Simon and Schuster*.

156. Mintzberg, H. (1996). Managing government, governing management. *Harvard business review*, 74(3), 75.

157. Mir-Artigues, P., del Río, P., & Caldés, N. (2019). Short History, Recent Facts, and the Prospects of Concentrating Solar Power Generation. In *The Economics and Policy of Concentrating Solar Power Generation* (pp. 23-84). *Springer*, Cham.

158. Mohr, S., Kurth, S., Pistner, C., Breuer, J., Thomas, S., Borre, T. V., ... & Haverkamp, J. (2014). Lifetime Extension of Ageing Nuclear Power Plants: Entering a New Era of Risk. *Zurich, Switzerland: Greenpace Switzerland*.

159. Möllerström, E., Gipe, P., Beurskens, J., & Ottermo, F. (2019). A historical review of vertical axis wind turbines rated 100 kW and above. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 1-13.
160. Muro, M., Tomer, A., Shivaram, R., & Kane, J. (2019). Advancing inclusion through clean energy jobs.
- 161.. Murphy, K. M. (2020). Time and the Hydroelectric Dam. *KronoScope*, 20(1), 102-120.
162. NOAA Climate.gov. Офіційна сторінка. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.climate.gov/> (дата звернення: 19.05.2022).
163. Norwood, Z., Goop, J., & Odenberger, M. (2017). The future of the European electricity grid is bright: cost minimizing optimization shows solar with storage as dominant technologies to meet European emissions targets to 2050. *Energies*, 10(12), 2080.
164. NASA. Climate Time Machine. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://climate.nasa.gov/interactives/climate-time-machine> (дата звернення: 19.05.2022).
165. NASA. Global Climate Change: Vital Signs of the Planet. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://climate.nasa.gov/> (дата звернення: 19.05.2022).
166. NASA. NASA Surface Meteorology. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://power.larc.nasa.gov/> (дата звернення: 19.05.2022).
167. National Geographic. Climate Change. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nationalgeographic.com/environment/climate-change/> (дата звернення: 19.05.2022).
168. Obaidullah, S. M. (2020). Global Oil Crisis and its Impact on Shipping Sector of Pakistan. *Policy Perspectives*, 17(1), 162-164.
169. Porter, M. E. (1981). The contributions of industrial organization to strategic management. *Academy of management review*, 6(4), 609-620.
170. Porter, M. E. (1989). From competitive advantage to corporate strategy (pp. 234-255). *Macmillan Education UK*.

171. Porter, M. E. (1998). Clusters and the new economics of competition (Vol. 76, No. 6, pp. 77-90). *Boston: Harvard Business Review*.

172. Porter, M. E. (2000). Location, competition, and economic development: Local clusters in a global economy. *Economic development quarterly*, 14(1), 15-34.

173. Ray, P. K., Subudhi, B., Putrus, G., Marzband, M., & Ali, Z. (2022). Forecasting of global solar insolation using ensemble Kalman filter based clearness index model. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*.

174. Recharge (Global news and intelligences for the Energy Transition). No, President Trump, wind turbines cannot cause health problems: long-term study. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://www.rechargenews.com/wind/no-president-trump-wind-turbines-cannot-cause-health-problems-long-term-study/2-1-795319?fbclid=IwAR1QMw25ligWFunNUHZzsZdKpyV3k5eAr4KAQ0_rz4fSWQZeqLQZPWeE1M (дата звернення: 20.02.2021).

175. REN21. Renewables Global Status Report. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ren21.net/reports> (дата звернення: 19.08.2022).

176. RENER Group of Energy Companies. Бельгія відмовляється від атомної енергетики. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://rener.com.ua/news/428> (дата звернення: 19.05.2022).

177. RENER Group of Energy Companies. Франція стане першою державою світу, що відмовиться від ТЕЦ – Макрон. – Режим доступу: <http://rener.com.ua/news/432> (дата звернення: 23.10.2020).

178. Sabishchenko, O. (2020). Business Model Canvas for a Renewable Electricity Developer in Ukraine. *Public communication in science: philosophical, cultural, political, economic and IT context: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (May 15, 2020; Houston, USA)*, Vol. 1, 7-10.

179. Sabishchenko, O. (2020). Opportunities for Synergy Management Between Renewable Energy Sources. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en*

el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΑΙΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica (24 de abril de 2020; Barcelona, España), Vol. 1, 22-24.

180. Sabishchenko, O. (2022). Regional and technical and economic features of electricity generation by renewable energy sources. *Науковий журнал «Економіка та суспільство»*, № 43.

181. Sabishchenko, O., Rębilas, R., Sczygiol, N., & Urbański, M. (2020). Ukraine Energy Sector Management Using Hybrid Renewable Energy Systems. *Energies*, 13(7), 1776.

182. Sabishchenko, O., Skrypnyk, A., Klymenko, N., Voloshyn, S. & Holiachuk, O. (2023). Global and Regional Externalities of the Ukrainian Energy Sector. *International Journal of Energy Sector Management*, Vol. 17, No. 1, pp. 145-166.

183. Sabishchenko, O., Skrypnyk, A. & Namiasenko, Y. (2018). Renewable Energy as an Alternative of the Decentralization Energy Supply in Ukraine. *International Journal of Innovative Technologies in Economy* (1 (13)), 120-127.

184. Sabishchenko, O., & Yerohin, S. (2021). Managing the Economic Benefits of Hybrid Renewable Energy Systems in Ukraine. *Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers «ΑΙΟΓΟΣ» with Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference (March 19, 2021; Cambridge, United Kingdom)*, Vol. 1, 61-65.

185.. Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Ang, T. Z., Nazari, M. A., & Prabakaran, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100939.

186. Sevostianov, V., Sevostianova, A., & Savina, O. (2022). Особливості проєктів в сфері відновлювальної енергетики та специфіка управління ними. *Bulletin of the National Technical University" KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management*, (1 (5)), 62-69.

187. Shaaban, M., Scheffran, J., Böhner, J., & Elsobki, M. S. (2018). Sustainability assessment of electricity generation technologies in Egypt using multi-criteria decision analysis. *Energies*, 11(5), 1117.
188. Sidorov, D., Panasetzky, D., Tomin, N., Karamov, D., Zhukov, A., Muftahov, I., & Li, Y. (2020). Toward Zero-Emission Hybrid AC/DC Power Systems with Renewable Energy Sources and Storages: A Case Study from Lake Baikal Region. *Energies*, 13(5), 1226.
189. Simão, M., & Ramos, H. M. (2020). Hybrid Pumped Hydro Storage Energy Solutions towards Wind and PV Integration: Improvement on Flexibility, Reliability and Energy Costs. *Water*, 12(9), 2457.
190. Sotnyk, I., Shvets, I., Momotiuk, L., & Chortok, Y. (2018). Management of renewable energy innovative development in Ukrainian households: problems of financial support.
191. Subramaniam, U., Vavilapalli, S., Padmanaban, S., Blaabjerg, F., Holm-Nielsen, J. B., & Almakhlis, D. (2020). A Hybrid PV-Battery System for ON-Grid and OFF-Grid Applications—Controller-In-Loop Simulation Validation. *Energies*, 13(3), 755.
192. Sundaraja, C. S., Hine, D. W., & Lykins, A. (2020). Confronting the palm oil crisis: Identifying behaviours for targeted interventions. *Environmental Science & Policy*, 103, 99-106.
193. Tan, Q., Kamran, H. W., Nawaz, M. A., Baloch, Z. A., Albashar, G., & Hameed, J. (2022). A multi-perspective assessment approach of renewable energy production: policy perspective analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 24(2), 2164-2192.
194. Taylor, F. W. (2004). Scientific management. *Routledge*.
195. The Enerdata Yearbook. Total energy consumption in 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html> (дата звернення: 26.07.2020).

196. The European Bank for Reconstruction and Development. Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ebrd.com/who-we-are.html> (дата звернення: 23.11.2021).

197. The Guardian. How much do we spend on nuclear waste? [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.theguardian.com/environment/2012/nov/16/nuclear-waste-sellafield> (дата звернення: 30.09.2021).

198. The National Renewable Energy Laboratory. Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://atb.nrel.gov/> (дата звернення: 28.06.2022).

199. The World Bank Group. Poverty. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.worldbank.org/en/topic/poverty> (дата звернення: 17.01.2022).

200. The World Bank Group. Ending Poverty, Investing in Opportunity (2019). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://documents.worldbank.org/curated/en/156691570147766895/pdf/The-World-Bank-Annual-Report-2019-Ending-Poverty-Investing-in-Opportunity.pdf> (дата звернення: 24.11.2021).

201. The World Counts. How to sustain a world population of 10 billion people? Without destroying the planet. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.theworldcounts.com/> (дата звернення: 11.04.2022).

202. Tokar.ua. За три місяці ще 1100 українських домогосподарств перейшли на сонячні панелі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tokar.ua/read/26400> (дата звернення: 18.08.2020).

203. Trading Economics. Ukraine Inflation Rate. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tradingeconomics.com/ukraine/inflation-cpi> (дата звернення: 11.02.2022).

204. Tuchynskyi, V., Kudria, S., Tochenyi, V., & Ivanchenko, I. (2020). Математична Модель Аналізу Чутливості Економічної Ефективності Інвестиційного Проекту Вітрової Електростанції. *Vidnovlyvana energetika*, (3 (62)), 42-50.

205. Tutiempo Network, S.L. Weather/Climate in Odesa [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://en.tutiempo.net/> (дата звернення: 17.03.2022).
206. UAEnergy. Офіційний вебсайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://uaenergy.com.ua/> (дата звернення: 16.01.2022).
207. United Nations. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change (1998). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (дата звернення: 18.03.2020).
208. United Nations Industrial Development Organization. Sustainable Energy. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.unido.org/unido-sustainable-energy> (дата звернення: 28.10.2021).
209. United Nations. The Paris Agreement within the United Nations Framework Convention on Climate Change (2015). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf (дата звернення: 23.12.2019).
210. Van Mierlo, J., Kebede, A. A., Kalogiannis, T., & Bercebar, M. (2022). A comprehensive review of stationary energy storage devices for large scale renewable energy sources grid integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112213.
211. WallStreetMojo. Scientific Notation in Excel. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wallstreetmojo.com/scientific-notation-in-excel/> (дата звернення: 21.09.2021).
212. Worldometer. Provider of global statistics. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.worldometers.info/> (дата звернення: 11.04.2022).
213. Xia, J., Ma, X., Wu, W., Huang, B., & Li, W. (2020). Application of a new information priority accumulated grey model with time power to predict short-term wind turbine capacity. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118573.

214. Yang, H., Yu, Q., Liu, J., Jia, Y., Yang, G., Ackom, E., & Dong, Z. Y. (2020). Optimal wind-solar capacity allocation with coordination of dynamic regulation of hydropower and energy intensive controllable load. *Ieee Access*, 8, 110129-110139.

215. ZAXID.NET. На Львівщині запрацював перший завод з виробництва біодизелю. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zaxid.net/news/> (дата звернення: 15.10.2020).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Публікації у зарубіжних та наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз:

1. Сабіщенко, О. В., Скрипник, А. В., & Корецький, С. Л. (2014). Вітроенергетичні установки як альтернатива енергозощаджуючих технологій та енергозабезпечення. *Науковий журнал «Енергетика та автоматика»*, (3), 134-140. (0,29 д.а.). (*Google Scholar, AGRIS, MIAR, BASE, Research Bible, DRJI, Ulrichsweb Global Serials Directory*). *Особистий внесок автора: проаналізовано розвиток та освоєння альтернативних джерел енергії на прикладі вітроенергетики.* (0,17 д.а.).

2. Сабіщенко, О. В., Скрипник, А. В., & Нам'ясенко, Ю. О. (2018). Енергетичний Сектор України: Крах чи Вживання. *Науковий журнал «Проблеми економіки»*, (1 (35)), 122-134. (0,54 д.а.). (*ProQuest, Research Bible, Google Scholar, J-Gate, Library Hub Discover, WorldCat, OpenAIRE, BASE, GetInfo, Open Academic Journals Index, Advanced Science Index, Academic Journals Database, EBSCOhost, Index Copernicus, Directory of Open Access Journals, Research Papers in Economics, Ulrichsweb Global Serials Directory*). *Особистий внесок автора: запропоновано варіант розвитку енергетичного сектору України в частині стимуляції сектору відновлюваної енергетики шляхом усунення обмеження максимальної потужності для користувачів «зеленого» тарифу й обґрунтування зростання тарифів за енергетику в найближчій перспективі* (0,25 д.а.).

3. Sabishchenko, O., Rebilas, R., Sczygiol, N., & Urbański, M. (2020). Ukraine Energy Sector Management Using Hybrid Renewable Energy Systems. *Energies*, 13(7), 1776. (0,83 д.а.). (*Scopus, PMC, PubMed, MEDLINE, Google Scholar,*

Crossref, OASPA, SPARC Europe, COPE, DOAJ). Особистий внесок автора: надано пропозиції з удосконалення механізмів державного регулювання розвитку альтернативної енергетики та проведено регресійний аналіз темпів зростання частки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел в Україні (0,49 д.а.).

4. Sabishchenko, O. (2022). Regional and technical and economic features of electricity generation by renewable energy sources. *Науковий журнал «Економіка та суспільство»*, № 43. (0,25 д.а.). (*Vernadsky National Library, Google Scholar, Index Copernicus, CiteFactor, Eurasian Scientific Journal Index, Directory of Open Access Journals*).

5. Sabishchenko, O., Skrypnyk, A., Klymenko, N., Voloshyn, S. & Holiachuk, O. (2023). Global and Regional Externalities of the Ukrainian Energy Sector. *International Journal of Energy Sector Management*, Vol. 17, No. 1, pp. 145-166. (0,92 д.а.). (*Scopus, Google Scholar, Directory of Open Access Journals, British Library, Crossref*). Особистий внесок автора: виконано аналіз діючих тарифів на електроенергію на енергетичному ринку України та розроблена оптимізаційна модель виробництва електроенергії. (0,27 д.а.).

2. Опубліковані наукові праці апробаційного характеру:

6. Сабіщенко, О.В. (2022). Актуальність розвитку альтернативної енергетики в Україні для забезпечення сталого освітнього процесу в умовах воєнного стану. *Матеріали Всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації «Освітній процес в умовах воєнного стану в Україні»* (м. Одеса, Україна, 3 травня - 13 червня 2022 р.), 386-388. (0,14 д.а.).

7. Сабіщенко, О. В. (2020). Сталий розвиток енергетичного сектору за рахунок використання гібридних систем відновлюваних джерел енергії. *Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті»* (м. Київ, Україна, 14-15 травня 2020 р.), 77-80. (0,14 д.а.).

8. Сабіщенко, О. В., & Скрипник, А. В. (2018). Моделювання карти ризиків бізнес-проекту у вітроенергетиці. *Матеріали Міжнародної науково-*

практичної конференції «Міжнародна безпека у світлі сучасних глобальних викликів» (м. Вільнюс, Литва, 11 червня 2018 р.), 373-380. (0,35 д.а.). *Особистий внесок автора: побудовано карту ризиків щодо реалізації бізнес-проекту у вітроенергетиці на території України.* (0,20 д.а.).

9. Sabishchenko, O. (2020). Business Model Canvas for a Renewable Electricity Developer in Ukraine. *Public communication in science: philosophical, cultural, political, economic and IT context: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (May 15, 2020; Houston, USA), Vol. 1, 7-10. (0,14 д.а.).

10. Sabishchenko, O. (2020). Opportunities for Synergy Management Between Renewable Energy Sources. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica* (24 de abril de 2020; Barcelona, España), Vol. 1, 22-24. (0,14 д.а.).

11. Sabishchenko, O., Skrypnyk, A. & Namiasenko, Y. (2018). Renewable Energy as an Alternative of the Decentralization Energy Supply in Ukraine. *International Journal of Innovative Technologies in Economy* (1 (13)), 120-127. (0,33 д.а.). *Особистий внесок автора: виконано аналіз необхідності переходу на відновлювані джерела енергії.* (0,15 д.а.).

12. Sabishchenko, O., & Yerohin, S. (2021). Managing the Economic Benefits of Hybrid Renewable Energy Systems in Ukraine. *Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference* (March 19, 2021; Cambridge, United Kingdom), Vol. 1, 61-65. (0,25 д.а.). *Особистий внесок автора: обґрунтовано економічні переваги впровадження гібридних систем альтернативних джерел енергії.* (0,14 д.а.).

**ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ У
СПІЛЦІ ПІДПРИЄМЦІВ МАЛИХ, СЕРЕДНІХ І ПРИВАТИЗОВАНИХ
ПІДПРИЄМЦІВ УКРАЇНИ**

**СПІЛКА
ПІДПРИЄМЦІВ
МАЛИХ, СЕРЕДНІХ І
ПРИВАТИЗОВАНИХ
ПІДПРИЄМСТВ
УКРАЇНИ**



**THE UNION OF THE
ENTREPRENEURS OF
SMALL, MEDIUM-SIZED
AND PRIVATIZED
ENTERPRISES OF
UKRAINE**

№ 146/1
07.12.2022р.

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Сабіщенка Олександра Володимировича
на тему:
«УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ СТАЛОГО
РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГІБРИДНИХ
СИСТЕМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ»

Спілка підприємців малих, середніх і приватизованих підприємств України активно бере участь у розробленні стратегій, програм і проектів, що стосуються галузі енергетики з метою раціонального використання енергетичних ресурсів, підвищення енергоефективності та енергобезпеки підприємств України.

На сьогоднішній день гібридні системи альтернативних джерел енергії необхідні задля забезпечення безперебійним, автономним та локальним енергопостачанням малих, середніх та приватизованих підприємств держави.

Зважаючи на необхідність розвитку сталого енергозабезпечення регіонів України завдяки новим технологіям, провідному світовому досвіду, а також залученню іноземних інвестицій в енергетичний сектор держави, потрібно відзначити, що практичні рекомендації та пропозиції, подані Сабіщенком О.В. у дисертаційному дослідженні, особливо актуальні для впровадження та можуть бути використані у роботі Спілки підприємців малих, середніх і приватизованих підприємств України.

Окремі результати дисертаційного дослідження були враховані при розробці та реалізації Програми дій Ради та виконавчої дирекції Спілки підприємців малих, середніх і приватизованих підприємств України по реалізації Основних напрямків розвитку Спілки, а також регіональних програм розвитку підприємництва.

**Перший віце-президент,
генеральний директор**



Вячеслав БИКОВЕЦЬ

01601, м.Київ, Бульварно-Кудрявська, 22, оф.37
тел./факс +38(044) 486-38-82, office@smpu.kiev.ua, http://www.spmppu.kiev.ua
п/р26008243268 в ПАТ АБ "Укргазбанк" м.Києва, МФО 320478, ЄДРПОУ 20076330

**ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ У
ПРАТ «ВНЗ «НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ»**



**ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ"**

Україна, 03153, м.Київ, вул. Ушинського, 15
Internet: www.nam.kiev.ua

тел./факс: (044) 242 2464, (044) 242 2446
E-mail: office@nam.kiev.ua

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Ректор
ВНЗ «Національна академія управління»
доктор економічних наук, професор



Сергій ЄРОХІН

АКТ

**про впровадження результатів наукового дослідження
САБІЩЕНКА Олександра Володимировича
на тему «Управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку
із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії»
в освітній процес ВНЗ «Національна академія управління»**

Комісія у складі: завідувача кафедри маркетингу, управління та адміністрування д.е.н., професора М.М. Єрмошенка, завідувача кафедри міжнародних економічних відносин к.е.н., доцента В.Р. Костюка та завідувача кафедри фінансів, обліку та фундаментальних економічних дисциплін д.е.н. П.А.Овчар склали цей акт про те, що розроблені за результатами дисертаційної роботи Сабіщенко О.В. на тему: «Управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії» наукові висновки та пропозиції використовуються в освітньому процесі на денній та заочній формах здобуття освіти у ВНЗ «Національна академія управління» під час викладання дисциплін «Регіональна економіка», «Інноваційний розвиток підприємства» та «Стратегічне управління» в частині науково-методичних підходів, теоретичних основ і практичних рекомендацій щодо управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії.

Представлені в дисертаційному дослідженні Сабіщенко О.В. напрацювання, висновки та результати щодо необхідності переходу від традиційних (невідновлюваних) джерел енергії до альтернативних (відновлюваних) джерел енергії із дослідженням гібридних систем, а також змодельований приклад впровадження гібридної системи альтернативних джерел енергії в регіоні України, актуальні на сьогоднішній день та мають практичне значення для сталого та безперервного енергозабезпечення регіонів нашої держави.

В якості рекомендованих джерел використовуються такі публікації автора:

1. Сабіщенко, О.В. (2022). Актуальність розвитку альтернативної енергетики в Україні для забезпечення сталого освітнього процесу в умовах воєнного стану. Матеріали Всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації «Освітній процес в умовах воєнного стану в Україні» (м. Одеса, Україна, 3 травня - 13 червня 2022 р.), 386-388. http://www.matmodel.puet.edu.ua/files/advanced_training_OLA.pdf#page=386
2. Sabishchenko, O. (2022). Regional and technical and economic features of electricity generation by renewable energy sources. Фахове видання в Україні «Економіка та суспільство», № 43. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-43-75>
3. Sabishchenko, O., Skrupnyk, A., Klymenko, N., Voloshyn, S. & Holiachuk, O. (2022). Global and Regional Externalities of the Ukrainian Energy Sector. International Journal of Energy Sector Management, ISSN: 1750-6220. <https://doi.org/10.1108/IJESM-05-2021-0005> (стаття індексується в Scopus).
4. Sabishchenko, O., & Yerohin, S. (2021). Managing the Economic Benefits of Hybrid Renewable Energy Systems in Ukraine. Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference (March 19, 2021; Cambridge, United Kingdom), Vol. 1, 61-65. <https://doi.org/10.36074/logos-19.03.2021.v1.20>
5. Сабіщенко, О. В. (2020). Сталий розвиток енергетичного сектору за рахунок використання гібридних систем відновлюваних джерел енергії. Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті» (м. Київ, Україна, 14-15 травня 2020 р.), 77-80. https://www.ive.org.ua/?page_id=2294
6. 3. Sabishchenko, O. (2020). Opportunities for Synergy Management Between Renewable Energy Sources. Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica, (24 de abril de 2020; Barcelona, España), Vol. 1, 22-24. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v1.06>
7. Sabishchenko, O., Rebilas, R., Sczygiol, N., & Urbański, M. (2020). Ukraine Energy Sector Management Using Hybrid Renewable Energy Systems. Energies, 13(7), 1776. <https://doi.org/10.3390/en13071776> (стаття індексується в Scopus).
8. Sabishchenko, O. (2020). Business Model Canvas for a Renewable Electricity Developer in Ukraine. Public communication in science: philosophical, cultural, political, economic and IT context: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (May 15, 2020; Houston, USA), Vol.1, 7-10. <https://doi.org/10.36074/15.05.2020.v1.01>
9. Сабіщенко, О. В., & Скрипник, А. В. (2018). Моделювання карти ризиків бізнес-проекту у вітроенергетиці. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Міжнародна безпека у світлі сучасних глобальних викликів»: Збірник наукових праць (м. Вільнюс, Литва, 11 червня 2018 р.), 373-380. <https://repository.mruni.eu/handle/007/16339>
10. Сабіщенко, О. В., Скрипник, А. В., & Нам'ясенко, Ю. О. (2018). Енергетичний Сектор України: Крах чи Вживання. Науковий журнал «Проблеми економіки», (1 (35)), 122-134. https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2018-1_0-pages-122_134.pdf

11. Sabishchenko, O., Skrypnyk, A. & Namiasenko, Y. (2018). Renewable Energy as an Alternative of the Decentralization Energy Supply in Ukraine. International Journal of Innovative Technologies in Economy, (1 (13)), 120-127. <https://rsglobal.pl/index.php/ijite/article/view/632>

12. Сабіщенко, О. В., Скрипник, А. В., & Корецький, С. Л. (2014). Вітроенергетичні установки як альтернатива енергозощаджуючих технологій та енергозабезпечення. Науковий журнал «Енергетика та автоматика», (3), 134-140. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/3511/3434>

Завідувач кафедри маркетингу,
управління та адміністрування
доктор економічних наук, професор



Микола ЄРМОШЕНКО

Завідувач кафедри міжнародних
економічних відносин
кандидат економічних наук, доцент



Валентин КОСТЮК

Завідувач кафедри фінансів, обліку
та фундаментальних економічних
дисциплін
доктор економічних наук, доцент



Петро ОВЧАР

ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ У АСОЦІАЦІЇ ФЕРМЕРІВ ТА ПРИВАТНИХ ЗЕМЛЕВЛАСНИКІВ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Асоціація фермерів та
приватних землевласників
Дніпропетровської області



DNEPROPETROVSK REGIONAL
ASSOCIATION OF THE FARMERS

Адреса представництва: 49000, м. Дніпро, проспект Пушкіна 11а офіс 66, тел. 0673930558, ЄДРПОУ 40521177 www.farmer.dp.ua

Вих. № 7

25 січня 2023 року

ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ САБИЩЕНКА ОЛЕКСАНДРА ВОЛОДИМИРОВИЧА

Здійснена фахівцями та членами Асоціації фермерів та приватних землевласників Дніпропетровської області оцінка доцільності впровадження результатів наукового дослідження, які отримані Сабіщенком О.В. під час підготовки дисертаційної роботи на тему «Управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 051 «Економіка», свідчить про те, що окремі положення даного дисертаційного дослідження мають значний потенціал для практичного застосування.

Основні положення та висновки дисертаційного дослідження мають практичне значення для вдосконалення механізмів державного регулювання розвитку альтернативної енергетики та впровадження інноваційних енергетичних систем на основі альтернативних джерел енергії, а саме, гібридних систем альтернативних джерел енергії.

Після завершення повномасштабної війни необхідно буде відбудовувати та вдосконалювати енергетичну інфраструктуру й драйвером відновлення мають стати саме відновлювані джерела енергії. Вже зараз наявні можливості для точкової реалізації зелених проектів з покращення енергоефективності, впровадження альтернативних джерел та адаптації до змін клімату в тилкових, опорних та деокупованих регіонах України.

Проаналізовані матеріали дисертаційної роботи дають підставу вважати, що отримані авторські результати та пропозиції можуть сприяти подальшому розвитку сектору альтернативної енергетики, забезпеченню енергетичної безпеки, конкуренції бізнесу в енергетичній сфері та сталому розвитку економіки України.

Голова
ГО «Асоціація
фермерів та приватних
землевласників
Дніпропетровської області
(оновлена)»



Гайворонський А.І.

ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ У ТОВАРИСТВІ З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «РА.ДА»

Товариство з обмеженою відповідальністю «РА.ДА»

Україна, 04116, м. Київ,
вул. Коперника, 18
телефон: (063)224-37-40

ЄДРПОУ 37268691
rada.company
info@rada.company

№ 13/06/23

13 червня 2023 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Сабіщенка Олександра Володимировича
за темою «Управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку
із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії»

Довідка видана здобувачу наукового ступеня доктора філософії спеціальності 051 «Економіка» Сабіщенку Олександрю Володимировичу в тому, що результати дисертаційної роботи на тему: «Управління енергозабезпеченням сталого регіонального розвитку із використанням гібридних систем альтернативних джерел енергії» було впроваджено та використовуються у діяльності ТОВ «РА.ДА».

Запропоновані Сабіщенком О.В пропозиції, щодо впровадження механізмів управління альтернативних джерел енергії із сформованими регіональними й техніко-економічними перевагами та обмеженнями виробництва енергії мають практичну цінність для розбудови та післявоєнного відновлення енергетичного сектору України. Також у науковій праці розкрито необхідність впровадження саме гібридних систем альтернативних джерел енергії, які сприятимуть сталому соціально-економічному розвитку нашої держави.



Директор ТОВ «РА.ДА»

Андрій ПРОХОРОВСЬКИЙ