

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Факультет міжнародних економічних відносин та туристичного бізнесу
Кафедра міжнародних економічних відносин імені Артура Голікова

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: **«РОЛЬ ІННОВАЦІЙ НА СВІТОВОМУ РИНКУ
АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ»**

Виконала:

студент 2 курсу, групи УО-61
спеціальності «Міжнародні
економічні відносини»
освітньої програми «Міжнародні
економічні відносини»
другого (магістерського) рівня
вищої освіти



Веремко О.В.

Керівник:



к.е.н., доц. Гончаренко Н. І.

Рецензент:

Харків – 2023 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет міжнародних економічних відносин та туристичного бізнесуКафедра міжнародних економічних відносин імені Артура ГоліковаРівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 292 - «Міжнародні економічні відносини»Освітня програма – «Міжнародні економічні відносини»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри міжнародних
економічних відносин
імені Артура Голікова
Надія КАЗАКОВА

« ____ » _____ 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Веремку Олександр Вікторовичу

1. Тема роботи: «Роль інновацій на світовому ринку альтернативних джерел енергії»керівник роботи: Гончаренко Наталія Іванівна, кандидат економічних наук, доцент

затверджені наказом по університету від «03» лютого 2023 року № 4002-5/248

2. Строк подання студентом роботи 19.10.23

3. Перелік питань, які потрібно розробити: - узагальнити теоретичні основи дослідження інновацій у системі світового господарства; визначити передумови трансформації енергоспоживання і впровадження інноваційних технологій на світовому енергетичному ринку; систематизувати методи дослідження інновацій на світовому ринку альтернативних джерел енергії; охарактеризувати тенденції трансформації світового енергетичного ринку; провести аналіз сценаріїв енергетичного переходу і впровадження енергозберігаючих інноваційних технологій на світовому ринку альтернативних джерел енергії; провести факторний аналіз впливу енергетичних ресурсів на економічний розвиток країни; виокремити стратегічні напрямки впровадження інноваційних систем на світовому ринку альтернативних джерел енергії; визначити перспективи розвитку ринку альтернативних джерел енергії в Україні.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1.	Розділ 1. Теоретико-методичні засади дослідження інновацій на світовому ринку альтернативних джерел енергії
2.	Розділ 2. Роль енергозберігаючих інноваційних технологій на світовому ринку альтернативних джерел енергії
3.	Розділ 3. Інновації як імпульс енергетичного переходу на світовому ринку альтернативних джерел енергії

5. Дата видачі завдання 13.02.23

Студент



Веремко О.В.

Керівник роботи



Гончаренко Н.І.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. Теоретико-методичні засади дослідження інновацій на світовому ринку альтернативних джерел енергії	8
1.1. Теоретичні основи дослідження інновацій у системі світового господарства	8
1.2. Передумови трансформації енергоспоживання і впровадження інноваційних технологій на світовому енергетичному ринку	14
1.3. Методи дослідження інновацій на світовому ринку альтернативних джерел енергії	20
Висновки до першого розділу	27
РОЗДІЛ 2. Роль енергозберігаючих інноваційних технологій на світовому ринку альтернативних джерел енергії	29
2.1. Тенденції трансформації світового енергетичного ринку	29
2.2. Аналіз сценаріїв енергетичного переходу і впровадження енергозберігаючих інноваційних технологій на світовому ринку альтернативних джерел енергії	40
2.3. Факторний аналіз впливу енергетичних ресурсів на економічний розвиток країни	55
Висновки до другого розділу	64
РОЗДІЛ 3. Інновації як імпульс енергетичного переходу на світовому ринку альтернативних джерел енергії	66
3.1. Стратегічні напрямки впровадження інноваційних систем на світовому ринку альтернативних джерел енергії	66
3.2. Перспективи розвитку ринку альтернативних джерел енергії в Україні	75
Висновки до третього розділу	85
ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92
ДОДАТКИ	102

ВСТУП

Актуальність дослідження. Енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності - актуальний напрям енергетичних стратегій різних країн світу, що дозволяє раціонально використовувати енергетичні ресурси, знижувати негативний вплив на довкілля та підвищувати інноваційний потенціал розвитку галузей.

Енергоефективні технології викликають інтерес у представників промисловості, споживачів та інвесторів. На ринку з'являються інноваційні технології енергозбереження, які активно впроваджуються в сучасне життя. Стратегія енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності надає безліч можливостей для розвитку окремих компаній, енергетичного сектора та загалом світової економіки, що обґрунтовує інтерес до неї держав та приватних інвесторів.

Ступінь вивчення проблеми. Дослідженню проблем розвитку світового ринку енергоресурсів, зокрема, ринку альтернативних джерел енергії, присвячено роботи багатьох українських вчених, а саме: О. Білоруса, Б. Буркинського, В. Бурлака, О. Власюка, М. Гнідого, А. Голікова, Б. Губського, В. Микитенко, А. Румянцева, О. Павленка, О. Підчоси, та інших.

Дослідження інновацій на світовому енергетичному ринку, а також особливостей впровадження енергозберігаючих технологій на світовому ринку альтернативних джерел енергії стали предметом уваги і зарубіжних вчених, зокрема Дж. Брауна, П. Джеймса, Дж. Макліна, В. Ноуленда, Ф. Парра, Дж. Пейна, Р. Робертсона, Д. Стерна, Ф. Тревіза, Д. Чемпмена та інших.

Мета та завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є визначення ролі інновацій на світовому ринку альтернативних джерел енергії.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено наступні **завдання:**

- узагальнити теоретичні основи дослідження інновацій у системі світового господарства;
- визначити передумови трансформації енергоспоживання і впровадження інноваційних технологій на світовому енергетичному ринку;
- систематизувати методи дослідження інновацій на світовому ринку альтернативних джерел енергії;
- охарактеризувати тенденції трансформації світового енергетичного ринку;
- провести аналіз сценаріїв енергетичного переходу і впровадження енергозберігаючих інноваційних технологій на світовому ринку альтернативних джерел енергії;
- провести факторний аналіз впливу енергетичних ресурсів на економічний розвиток країни;
- виокремити стратегічні напрямки впровадження інноваційних систем на світовому ринку альтернативних джерел енергії;
- визначити перспективи розвитку ринку альтернативних джерел енергії в Україні.

Об'єктом дослідження є процеси розвитку світового ринку альтернативних джерел енергії.

Предмет дослідження – передумови і особливості впровадження енергозберігаючих інноваційних технологій на світовому ринку альтернативних джерел енергії.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та вирішення завдань дослідження при виконанні кваліфікаційної роботи використовувалися сучасні наукові методи. Зокрема, загальнонаукові та спеціальні методи аналізу економічних явищ і процесів, а саме: системний підхід; індукції та дедукції; комплексний аналіз та синтез; тренд-аналіз;

статистичні методи; економіко-математичне моделювання; графічний і табличний.

Інформаційну базу дослідження становлять матеріали й аналітичні звіти міжнародних організацій (IRENA, ЮНІДО, ОПЕК, МЕА, МВФ, ОЕСР, Європейської комісії) та аналітичних агенцій (British Petroleum, U. S. Energy Information Administration, International Energy Agency та Organization of the Petroleum Exporting Countries), законодавчі акти та нормативні документи Верховної Ради та Кабінету Міністрів України, публікації з питань видобутку, споживання енергетичних ресурсів, енергетичної безпеки українських й іноземних авторів, офіційні матеріали Державної служби статистики України, матеріали офіційних сайтів міжнародних громадських організацій у сфері енергетики.

Практичне значення роботи полягає в тому, що основні положення і висновки, викладені у дослідженні, є базисом для вдосконалення енергетичної політики країн світу і можуть бути використані при розробці енергетичної стратегії. Результати дослідження відкривають нові можливості більш глибокого розуміння особливостей енергетичного переходу і впровадження інноваційних технологій на світовий ринок альтернативних джерел енергії.

Апробація результатів дослідження. Робота пройшла апробацію на XII міжнародній науково-практичній конференції “INNOVATIONS AND PROSPECTS IN MODERN SCIENCE”, Стокгольм, Швеція, 2023.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків; містить 103 сторінки тексту, 22 рисунки, 12 таблиць, 1 додаток. Список джерел включає 96 найменувань літератури.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙ НА СВІТОВОМУ РИНКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1. Теоретичні основи дослідження інновацій у системі світового господарства

Інновації у сфері енергетики можуть виникати в різних аспектах, таких як технологічні, операційні, управлінські, транзакційні та інші сфери діяльності. Визначення сфер інноваційної активності має важливе значення для процесу нормотворчої діяльності, оскільки це дозволяє визначити області, які також потребують правового регулювання.

У цьому контексті можна виділити особливий вид інновацій, таких як процесні інновації у доставці (постачанні) енергії. Однак важливо зазначити, що "інновації" в галузі енергетики можливі лише при наявності суспільного попиту на них, готовності здійснювати значні початкові інвестиції, тимчасових самообмежень та "прийнятної ціни".

Стверджувати, що енергетичні компанії будуть активно підтримувати заходи щодо стимулювання інновацій, за умови поступового переходу до відновлюваних джерел енергії серед населення або бізнесу, є сумнівним. Це становить одну з труднощів у впровадженні інновацій у сфері енергетики. Суттєвим є забезпечення попиту та знаходження споживача для альтернативної енергетики.

Умови ринку визначають прості умови для інновацій, такі як конкурентні переваги для споживача, особливо у ціновій різниці та потенційному прибутку. Без політичної волі, державної підтримки та жорстких правових заходів, а також стимулювання на початкових етапах витратних проєктів альтернативної енергетики, виникнення нових технологій є малоімовірним [6].

Цілі сталого розвитку (ЦСР), ухвалені Генеральною Асамблеєю ООН (ГА ООН) у 2015 році, забезпечують потужну основу для міжнародного співробітництва для досягнення сталого майбутнього для планети. 17 цілей розвитку та їх 169 цілей, які є основою «Порядку денного до 2030 року», визначають шлях до подолання крайньої бідності, боротьби з нерівністю та несправедливістю та захисту навколишнього середовища планети. Стала енергетика є ключовим фактором успіху Порядку денного на період до 2030 року. Глобальна ціль у сфері енергетики – ЦСР 7 – охоплює три ключові цілі: забезпечення доступного, надійного та універсального доступу до сучасних енергетичних послуг; суттєво збільшити частку відновлюваної енергії у світовому енергетичному балансі; і подвоїти глобальні темпи підвищення енергоефективності [1]. Різні цілі ЦСР 7 сприяють досягненню інших цілей ЦСР, і останнім часом це було в центрі уваги все більшої кількості досліджень [2–7]. Попередній аналіз майбутніх енергетичних шляхів показує, що технічно можливо досягти покращеного доступу до енергії, якості повітря та енергетичної безпеки одночасно, уникаючи небезпечної зміни клімату. Насправді існує ряд альтернативних комбінацій ресурсів, інноваційних технологій і політики, здатних досягти цих цілей [69]. Хоча успішна трансформація технічно можлива, вона вимагатиме швидкого запровадження політики та фундаментальних політичних змін у напрямку узгоджених та скоординованих зусиль для інтеграції глобальних проблем, таких як зміна клімату, у місцеві та національні політичні пріоритети (наприклад, здоров'я та забруднення, доступ до енергії та енергетична безпека).

Відсутність інтеграції в оцінці ресурсів і виробленні політики призводить до непослідовних стратегій і неефективного використання ресурсів. Цілісне уявлення про клімат, землекористування, енергетичні та водні стратегії може допомогти усунути деякі з цих недоліків [70]. Глобальний енергетичний перехід і впровадження інноваційних технологій терміново потрібні для досягнення цілей обмеження підвищення середньої глобальної температури поверхні нижче 2°C. Наслідки Паризької угоди для

енергетичного сектору будуть настільки глибокими, що ще не повністю охоплені існуючими енергетичними сценаріями [28]. Перехід від викопного палива до рішень з низьким вмістом вуглецю відіграватиме важливу роль, оскільки пов'язані з енергетикою викиди вуглекислого газу (CO₂) складають дві третини всіх парникових газів (ПГ) [8]. Цей енергетичний перехід стане можливим завдяки технологічній інновації, зокрема у сфері відновлюваної енергії. Рекордне збільшення встановленої потужності відновлюваної енергії можна пояснити швидким падінням витрат і конкурентоспроможності, особливо для сонячної фотоелектричної (PV) і вітрової енергії. У 2022 році чверть усієї електроенергії в усьому світі була вироблена з відновлюваних джерел. Однак перехід відбувається недостатньо швидко: після трьох років постійних викидів CO₂ вони зросли в 2022 році на 1,4% [9–12]. Передбачити час і ступінь енергетичних переходів непросто.

Останні приклади інших прогнозів, які не виявилися точними, включають завищені прогнози щодо природного газу та структурну недооцінку зростання відновлюваної енергетики [15–17]. Досвід показує, що енергетичний перехід вимагає часу, як правило, півстоліття від першого охоплення ринку до більшої частки ринку для енергетичного переходу [18]. Попередні енергетичні переходи були зумовлені технологічними змінами, економікою, доступом до ресурсів або кращими енергетичними послугами для споживачів [19]. Таким чином, бізнес-можливості, вигоди від енергетичного переходу або самовизначення людей були в основі змін [20,21].

Наративи національного енергетичного переходу включають уроки як з успіхів, так і з невдач. Історії успіху показують, що енергетичні переходи, які базуються на сприятливих структурах енергетичної політики, розроблених урядами, можуть прискорити енергетичні переходи та визначити їхній напрямок. Добре розроблена політика переходу враховує характеристики енергетичних систем і охоплює пропозицію та попит на енергію [22]. Уроки кількох країн і регіонів є прикладом цього. У Бразилії програму Proalcool

було започатковано в 1975 році, і для задоволення потреб як попиту, так і пропозиції було використано поєднання інструментів політики, які розвивалися з часом. У Німеччині Energiewende є результатом національного консенсусу щодо відмови від ядерної енергетики та скорочення викидів парникових газів (ПГ) на 80% до 2050 року шляхом прискореного використання відновлюваних джерел енергії [24,25]. Проте, Energiewende все ще залишається як політика переходу в енергетичний сектор з незначним впливом на вугільну генерацію та для прискорення переходу в секторах теплопостачання та транспорту [78]. У Данії також існує консенсус щодо кліматичних цілей у поєднанні з негласною політикою підтримки промисловості відновлюваних джерел енергії [26]. Амбіції щодо досягнення цілей у відновлюваній енергетиці постійно підвищуються в багатьох країнах з інших причин. Наприклад, Європейський Союз скоригував свою обов'язкову ціль на 2030 рік у 27%, яка була встановлена ще в 2014 році, до 32% у червні 2018 року.

Незважаючи на неоднорідність енергетичного сектору та чіткі відмінності та пріоритети кожного суб'єкта, що ставить під загрозу окремі енергетичні ринки, які регулюються в кожному з 50 штатів США і з понад 3000 комунальних підприємств, Сполучені Штати пропонують успішну історію енергетичного переходу. Внутрішнє виробництво природного газу та рішучі політичні зусилля на федеральному рівні та рівнях штатів, що керуються такими механізмами, як податкові пільги для відновлюваних джерел енергії, змінили енергетичний сектор країни. Згідно з останніми даними Управління енергетичної інформації США за 2017 рік, 11% загальної потреби в енергії та 17% усієї генерованої електроенергії в Сполучених Штатах забезпечується за рахунок відновлюваних джерел енергії [81].

Цьому також сприяли мережеве планування та інновації. Наприклад, Гаваї в Сполучених Штатах прагнуть досягти 70% енергетичної незалежності до 2030 року, з яких 40% буде представлено відновлюваною енергією. Випадок зі Сполученими Штатами також показує важливість постійного

оновлення та вдосконалення політики переходу на енергетику, де сектори електроенергетики та транспорту демонструють схожість у тому, що масштаби їх політики неодноразово розширювалися, а їхні часові рамки були розширені за межі початкових цілей [79].

Як найбільший виробник і споживач енергії, Китай відіграє вирішальну роль у глобальному енергетичному переході. Китай звернувся до відновлюваних джерел енергії, щоб задовольнити зростаючий попит на енергію та зменшити забруднення повітря. Китай також встановив цілі щодо скорочення викидів вуглецю на одиницю валового внутрішнього продукту на 60–65% до 2030 року порівняно з рівнями 2005 року, де відновлювані джерела енергії відіграватимуть ключову роль. Цільова частка невикопного палива в загальному попиті на енергію становить 20% до 2030 року [75]. У 2023 році на Китай припадає більше половини всіх глобальних доданих сонячних фотоелектричних потужностей у розмірі 94 ГВт. Однак у 2018 році уряд Китаю ввів квоти на розгортання сонячних фотоелектричних установок і вирішив поступово скасувати тарифи на пільгові тарифи, що, як очікується, призведе до скорочення встановленої потужності. [80]. Кілька інших великих споживачів енергії беруть участь у глобальному енергетичному переході.

Як країна з економікою, що розвивається, Туреччина також шукає шляхи збільшення частки сонячної та вітрової енергії з терміною потребою скоротити імпорт енергії, що компрометує три чверті дефіциту поточного рахунку країни. Щоб реалізувати короткострокові цілі щодо використання відновлюваної енергії до 2024 року, були запроваджені тарифи, які виявилися успішними для сонячної фотоелектричної системи, щоб досягти цільової встановленої потужності. Однак нечіткість у плануванні після 2023 року та зростаюча вага великих масштабні аукціони потужностей, які в першу чергу спрямовані на створення місцевої галузі обладнання для відновлюваної енергетики, витісняють дрібних гравців за межі ринку, які страждають від браку фінансування [74].

На думку А. Голікова, О. Довгаль та ін.. авторів, в даний час реформування енергетики принаймні на регіональному рівні призвело до роздроблення фінансових активів енергетичних компаній, але не до створення конкурентного ринку [94].

А. Голіков зазначає, що на показник енергоємності великий вплив має структурний фактор. Надання кредитних ресурсів з метою реалізації проектів підвищення енергетичної ефективності переважно реалізується з участю міжнародних фінансових інститутів [95].

Іншим фінансовим продуктом, що дозволяє отримати кошти з боку кредитних організацій, є лізинг енергозберігаючого устаткування. Як показує практика, з використанням схеми лізингу термін окупності менший, ніж при придбанні обладнання за рахунок власних коштів.

Незважаючи на те, що використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) швидко зростає, це недостатньо для вирішення зростаючого попиту на електроенергію у всьому світі. У 2023 році глобальні викиди CO₂, пов'язані з енергетикою, зросли на 2,5%, але менше, ніж у 2021 році (+6%), хоча швидше, ніж у період 2010-2019 років (+1% на рік). Навіть при глобальному економічному спаді кількість викидів досягла рекордного рівня, перевищивши 33,8 Гт CO₂ [2].

У всьому світі 30% вуглекислого газу, пов'язаного з енергетикою, виробляється внаслідок вироблення електроенергії з вугілля, що залишається найбільшим джерелом енергії. Рівень енергоефективності економік, як ПЕР-забезпечених країн, так і країн-імпортерів, визначає розвиток економіки, задоволення ростучих потреб у теплі, електроенергії, паливі, а також забезпечення енергетичної безпеки та поліпшення екологічної ситуації.

В умовах постійного зростання цін на паливно-енергетичні ресурси держави вивчають можливості переорієнтації економіки на енергозберігаючі техніки та технології. Підвищення енергоефективності стає ключовою умовою сталого та інноваційного розвитку, а також збільшення конкурентоспроможності на ринках.

Незважаючи на різноманіття підходів країн до вирішення енергетичних проблем, загальною тенденцією стає прийняття політики енергозбереження та енергоефективності. Країни вдосконалюють законодавство та впроваджують заходи для стимулювання енергозбереження та охорони довкілля. Україна також визнає важливість енергоефективних заходів як одного із ключових напрямків модернізації економіки. Ефективне використання енергії дозволяє зменшити витрати та сприяє сталому розвитку економіки.

1.2. Передумови трансформації енергоспоживання і впровадження інноваційних технологій на світовому енергетичному ринку

Постійне постачання енергії необхідне для економічного розвитку країни, що покращує якість життя. Але це призвело до однієї з найбільших проблем, з якими сьогодні стикається світова спільнота. За оцінками, рівень виробництва електроенергії в 21,6 трильйонів кіловат-годин (Т-кВт-год) у 2012 році та 25,8 Т-кВт-год у 2022 році досягне 36,5 Т-кВт-год до 2040 року. Оскільки ресурси для виробництва енергії здебільшого базуються на викопному паливі (вугілля, нафта та газ), така незмінна швидкість виробництва енергії прискорює скорочення співвідношення запасів/виробництва викопного палива (R/P ratio), а також створює небезпеку глобального потепління. від збільшення викидів парникових газів (ПГ), головним чином від CO₂. Підраховано, що для повного згоряння 1 тонни вугілля-СО виробництво становитиме приблизно 2,86 тонни. Таким чином, різні типи схем відновлюваної енергії (ВДЕ) пропонуються в усьому світі з використанням різних технологічних інновацій для досягнення сталого розвитку.

Пленарна сесія Генеральної Асамблеї ООН розглянула це питання сталого розвитку, рекомендувавши глобальну стратегію та визначивши її як «стратегію розвитку, яка зможе задовольнити потреби сьогодення, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти власні потреби, як щодо енергії, так і щодо сировини».

Основний принцип свідчить, що:

- Кожне покоління має вимагати різноманітності бази ресурсів, щоб це не обмежувало надмірно можливості, доступні майбутнім поколінням.
- Кожне покоління має підтримувати загальні якості планети, щоб вона не потрапила в гірший стан, ніж отримано.
- Члени кожного покоління повинні мати однакові права на доступ до спадщини минулого покоління і повинні зберегти цей доступ для майбутнього покоління [21].

Оскільки дослідження також включає якісну та кількісну оцінку негативних наслідків впливу на навколишнє середовище, воно також може бути використано для надання числової позначки щодо сигнатури впливу на навколишнє середовище будь-якого продукту.

Інноваційні енергоефективні промислові технології потребують менше енергії для виконання тієї ж або подібної функції, що й поточні технології. Особливо важливою можливістю підвищення енергоефективності є розробка технологій відновлення, зберігання та/або використання відпрацьованого тепла. У 2018 році 12 квадрильйонів британських теплових одиниць («квадроциклів») теплової енергії було використано на місці у виробничому секторі в 2018 році, при цьому 7 квадрильйонів загальної енергії було втрачено як відходи, згідно з аналізом виробництва енергії та вуглецевого сліду. Хоча втрати енергії неможливо звести до нуля, обмеження втрат і зменшення кінцевого попиту на енергію пропонують шляхи до декарбонізації виробництва та зниження витрат.

У 2020 році на промисловий сектор США припадало близько 1/3 споживання первинної енергії в країні та пов'язаних з енергією викидів CO₂. Згідно з даними Агентства енергетичної інформації, без втручання попит на енергію в промисловому секторі може зрости на 30% до 2050 року, збільшивши викиди CO₂ на 17%. Ось чому зниження попиту на первинну енергію є ключовим для досягнення короткострокових цілей щодо викидів і досягнення нульового чистого викиду в економіці до 2050 року.

Впровадження енергоефективних промислових технологій дозволяє виробникам:

- Зменшити їхній вуглецевий слід
- Знизити витрати, підвищити продуктивність і підвищити акціонерну вартість
- Поліпшити продуктивності
- Створити енергоефективні продукти та ринкові можливості
- Поліпшити свою конкурентну позицію
- Залучити кращих талантів, які хочуть працювати в компанії, яка відповідає їхнім цінностям
- Забезпечити кращі відносини з громадою та загальну репутацію серед споживачів.

IEDO підтримує дослідження, розробки та демонстрацію (RD&D) технологій, які зменшують попит на первинну енергію та мінімізують втрати.

Сфери технологій, якими займається IEDO, включають:

- Інтенсифікація процесу для об'єднання операцій окремих агрегатів у єдину технологію, що призводить до більш ефективного, чистішого та економічнішого процесу виробництва.
- Енергоефективні технології із застосуванням у багатьох галузях промисловості, які використовують паливо та джерела енергії з низьким вмістом вуглецю або чисту електроенергію.
- Технології процесу з низьким або нульовим нагріванням, які отримують кінцеві продукти, подібні до поточних процесів,

використовуючи значно менше теплової енергії, такі як механічне розділення або електрохімічні процеси.

- Гнучке комбіноване тепло та електроенергія (CHP), яке виробляє електроенергію та тепло на місці та дозволяє змінювати співвідношення електроенергії та тепла за потреби.
- Промислові теплові насоси, які можуть підвищувати відпрацьоване тепло до корисної температури, використовуючи відносно невелику кількість енергії, що в кінцевому підсумку призводить до чистої економії енергії.

З точки зору виробництва електроенергії, відновлювані джерела енергії становлять більше половини всіх глобальних доданих потужностей з 2012 року. У 2022 році нові встановлені потужності відновлюваної електроенергії у світі досягли нового рекорду в 197 ГВт. Це був ще один рекордний рік, коли понад 60% усіх нових потужностей електроенергії було отримано з відновлюваних джерел. Потужність сонячної фотоелектричної енергії зросла більше, ніж будь-яке інше джерело виробництва електроенергії [10]. Нові глобальні інвестиції у відновлювані джерела енергії склали 241,6 мільярда доларів США у 2022 році. Основою цього прискорення є суттєве скорочення витрат на відновлювані технології [9]. Нормована вартість електроенергії від сонячних фотоелектричних установок впала на вражаючі 73% між 2010 і 2022 роками, а вартість електроенергії від наземних вітрових установок впала на 23%. За оцінками IRENA, до 2024 року всі технології відновлюваної енергетики, які зараз використовуються в комерційних цілях, будуть конкурентоспроможними з викопним паливом у багатьох частинах світу, а в багатьох випадках навіть будуть значно нижчими. Механізми політики, такі як аукціони, сприяли зниженню цін. Останні світові тендери призвели до рекордних цін: в останні роки масштабні сонячні фотоелектричні та берегові вітрові проекти пропонуються за 2–3 центи США за кВт-год за найкращих умов. Ці ціни нижчі, ніж у традиційних викопних і ядерних джерел, а в деяких випадках навіть нижчі за експлуатаційні витрати існуючих

традиційних електростанцій. Згідно з аналізом REmap, для декарбонізації енергетичного сектора частка відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії повинна збільшитися приблизно з однієї чверті у 2015 році до приблизно 60% до 2030 року та 85% до 2050 року.

Значні річні темпи зростання відновлюваних джерел енергії в загальній генерації протягом останніх п'яти років у 0,7% мають подвоїтися, щоб реалізувати це [27]. Країни в усьому світі перебувають у середині енергетичного переходу, який, здається, надає перевагу електроенергії як кінцевому носії енергії. Це сприятливо як з точки зору відновлюваних джерел енергії, так і з точки зору енергоефективності. Електроенергія є ефективним носієм енергії, і вона стає чистим джерелом енергії, коли вона отримується з відновлюваних джерел. Частка електроенергії в загальному глобальному кінцевому споживанні енергії (TFEC) становить близько однієї п'ятої, але вона набагато вища в країнах з високим рівнем доходу і швидко зростає в країнах, що розвиваються [43]. Особливо в житловому секторі можливий перехід на повністю електричні рішення [44]. Електрика для приготування їжі, опалення води та приміщень, а також охолодження доступні сьогодні. Легка промисловість і сектори послуг є сферами, де електроенергія може досягти подібних значних успіхів [45]. Однак у важкій промисловості використання електроенергії обмежується певними процесами, такими як плавка або електроліз. Як правило, нові електричні рішення є технічно здійсненними, але часто неекономічними [46]. У транспорті значне зростання використання електроенергії колись здавалося далеким шансом. Але за останні пару років спостерігається стрімкий прогрес електромобілів (EV). У 2016 році близько 1% усіх продажів автомобілів становили електромобілі. Темпи зростання продажів електромобілів є високими, і сьогодні в дорозі їздить майже 2 мільйони електромобілів [47]. Крім того, кількість електричних дво- та триколісних транспортних засобів стрімко зростає, у всьому світі їх експлуатується близько 300 мільйонів [48]. На легкових автомобілі припадає близько половини енергоспоживання

транспорту, тому електрифікація може значно скоротити викиди парникових газів [49]. Іншу половину складають вантажівки, авіація, судноплавство та залізниця. У той час як електричні вантажівки для вантажних перевезень прокладають собі дорогу, такого рішення немає за роgom для авіації, морських перевезень або вантажівок на великі відстані. Для цього знадобляться технологічні проривні рішення в області зберігання електроенергії. Проте чітко простежується тенденція до паливних елементів з електроприводом для вантажівок і суден [50].

З огляду на центральну роль енергетичного переходу в пом'якшенні зміни клімату, який базується на двох стовпах енергоефективності та відновлюваних джерелах енергії, завданнями мають бути:

- Визначення технічних характеристик поточного глобального енергетичного переходу з акцентом на відновлювані джерела енергії;
- Розробка сценаріїв енергетичного переходу для сталого розвитку від теперішнього часу до 2050 року та визначення ролі, яку відновлювана енергетика може відігравати в такому глобальному енергетичному переході, використовуючи найновіші набори даних для відновлюваної енергії та порівнюючи сценарії переходу з різних джерел;
- Оцінка вартості і переваг прискореного енергетичного переходу;
- Окреслити синергію між прискореною енергоефективністю та розгортанням відновлюваних джерел енергії;
- Ідентифікація основних викликів і пріоритетів дослідження, що виникають.

Результати додуть новий погляд на наукові дебати щодо поточного глобального енергетичного переходу, визначаючи сфери дій та інноваційні прогалини на технологічному та галузевому рівнях.

Декарбонізація може стимулювати зайнятість та економічне зростання. Якщо використовувати синергію між енергетичною, кліматичною та іншими економічними політиками, це може призвести до загального підвищення ВВП і мати позитивний чистий вплив на зайнятість.

Не можна заперечувати, що енергоефективність є питанням все більшого стратегічного значення в усіх секторах економіки. Машинобудівні компанії не є винятком і можуть навіть стати ключовими у переході до більш стійкої економіки. Згідно з нещодавнім дослідженням BCG (Boston Consulting Group) щодо «Зеленої фабрики майбутнього», промислові підприємства спричиняють приблизно половину глобальних викидів парникових газів від споживання палива, причому 40% надходить безпосередньо від виробництва та 10% від логістики.

Нові розробки, такі як Європейська зелена угода, перегляд директиви ЄС щодо нефінансової звітності та оновлення ISO 50001 (стандарт для систем управління енергією) створюють ще більший тиск на виробничі компанії, щоб збирати вичерпні дані про вплив їхньої діяльності на навколишнє середовище, і вжити конкретних заходів для мінімізації цього впливу. На щастя, інвестиції в екологічні практики також мають економічну вигоду, як підкреслюється в спільному дослідженні VDMA (Асоціації промисловості машинобудування) і BCG під назвою «Для машинобудівників зелені технології створюють зелений бізнес». Вони оцінюють ринковий потенціал декарбонізації для машинобудівників у 10 трильйонів євро до 2050 року.

1.3. Методи дослідження інновацій на світовому ринку альтернативних джерел енергії

У 21 столітті дослідження сталого споживання в основному проводяться з точки зору розвитку, аналізу факторів впливу та побудови моделей споживання і енергозберігання. Дослідження сприяння сталому споживанню в основному включають систему індексів оцінки та вимірювання сталого споживання. З точки зору факторів, що впливають на стале споживання споживачів і енергозберігання, дослідження на макрорівні вважають, що

економічні, екологічні та соціальні аспекти є важливими факторами, що впливають на стале споживання споживачів. Дослідження на мікрорівні виявили, що Інтернет, ціна продукту, характеристики сім'ї, особисті характеристики та ставлення до навколишнього середовища є факторами, які впливають на стале споживання споживачів. Вивчаючи моделі сталого споживання, вчені вважають, що на моделі споживання споживачів впливають державна політика, інституційні механізми та інші фактори. Для кількісної оцінки впливу споживання на екологічне середовище аналіз надзвичайних ситуацій, системна динаміка, екологічний аналіз слідів є основними методами, що використовуються.

Метод екологічного сліду може перетворити інформацію про споживання та діяльність людей у кількісні дані, виміряні за площею землі, щоб відобразити вплив діяльності людини на навколишнє середовище. Наразі його застосовують до окремих осіб, родин, регіонів, країн і навіть світу. У 1992 році Вільям Піс запропонував концепцію екологічного сліду [28], і згодом багато експертів і вчених удосконалили теорію та метод екологічного сліду. З точки зору застосування моделі, в основному проводяться такі дослідження: модель екологічного сліду використовується для аналізу впливу споживання на навколишнє середовище, аналізується споживання природного капіталу, просторовий гетерогенність екологічного сліду аналізується за допомогою ГІС [42].

Один із найважливіших видів аналізу даних називається регресійним аналізом. Регресійний аналіз включає кілька варіантів, наприклад лінійний, багатолінійний і нелінійний. Найпоширенішими моделями є прості лінійні та багатолінійні. Нелінійний регресійний аналіз зазвичай використовується для більш складних наборів даних, у яких залежні та незалежні змінні демонструють нелінійний зв'язок.

Регресійний аналіз пропонує численні застосування в різних дисциплінах, включаючи фінанси. Регресійний аналіз – припущення лінійної моделі.

Аналіз лінійної регресії базується на шести основних припущеннях [26]:

1. Залежні та незалежні змінні показують лінійну залежність між нахилом і перетином.

2. Незалежна змінна не є випадковою.

3. Значення нев'язки (похибки) дорівнює нулю.

4. Значення залишку (похибки) є постійним для всіх спостережень.

5. Значення залишку (похибки) не корелюється між усіма спостереженнями.

6. Залишкові (помилкові) значення відповідають нормальному розподілу.

Регресійний аналіз – проста лінійна регресія

Проста лінійна регресія — це модель, яка оцінює зв'язок між залежною змінною та незалежною змінною. Проста лінійна модель виражається за допомогою наступного рівняння:

$$Y = a + bX + \epsilon, \text{ де} \quad (1.1)$$

Y – залежна змінна

X – незалежна (пояснювальна) змінна

a – Перехоплення

b – нахил

ϵ – Залишок (помилка).

Множинний лінійний регресійний аналіз по суті подібний до простої лінійної моделі, за винятком того, що в моделі використовуються кілька незалежних змінних. Математичне представлення множинної лінійної регресії таке:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + \epsilon, \text{ де} \quad (1.2)$$

Y – залежна змінна

X_1, X_2, X_3 – незалежні (пояснювальні) змінні

a – Перехоплення

b, c, d – Схили

ϵ – Залишок (помилка)

Множинна лінійна регресія відповідає тим самим умовам, що й проста лінійна модель. Однак, оскільки в множинному лінійному аналізі є кілька незалежних змінних, існує ще одна обов'язкова умова для моделі:

Неколінеарність: незалежні змінні повинні демонструвати мінімальну кореляцію одна з одною. Якщо незалежні змінні сильно корелюють одна з одною, буде важко оцінити справжні зв'язки між залежною та незалежною змінними.

Таким чином, регресійний аналіз — це спосіб математичної сортування, які з цих змінних справді мають вплив. Він відповідає на запитання: які фактори мають найбільше значення? Які можна ігнорувати? Як ці фактори взаємодіють один з одним? І, можливо, найголовніше, наскільки впевнені щодо всіх цих факторів?

Крім того, при проведенні аналізу трансформації світового енергетичного ринку нами було використано індексні методи, а саме рейтинг індексів енергетичного переходу (ETI), публікований Всесвітнім економічним форумом (World Economic Forum, WEF) [26], який ґрунтується на трьох основних принципах: економічне зростання та розвиток, екологічна стійкість, енергетична безпека. Індекс енергетичного переходу (Energy Transition Index, ETI) — це показник, який відстежує ефективність енергетичних систем на рівні країни. Порівняльний аналіз енергетичних систем країн світу проводиться щороку.

ETI 2023 містить переглянута структуру для ефективного прийняття рішень у глобальному енергетичному ландшафті, що розвивається.

ETI забезпечує керовану даними структуру для вимірювання та розуміння продуктивності енергетичних систем і готовності до переходу на енергетику в країнах, зосереджуючись на переході. Враховуючи новий

ландшафт і його потенційні наслідки для прийняття рішень щодо переходу на енергетику, структуру ЕТІ (рис. 1.1.) було оновлено, щоб забезпечити доречність і корисність для прийняття рішень. Незважаючи на те, що енергетичний трикутник залишається дійсним – зі збалансованим підходом до трьох пріоритетів справедливості, безпеки та стійкості – оновлена структура ЕТІ визначає конкретні компоненти цих вимірів.

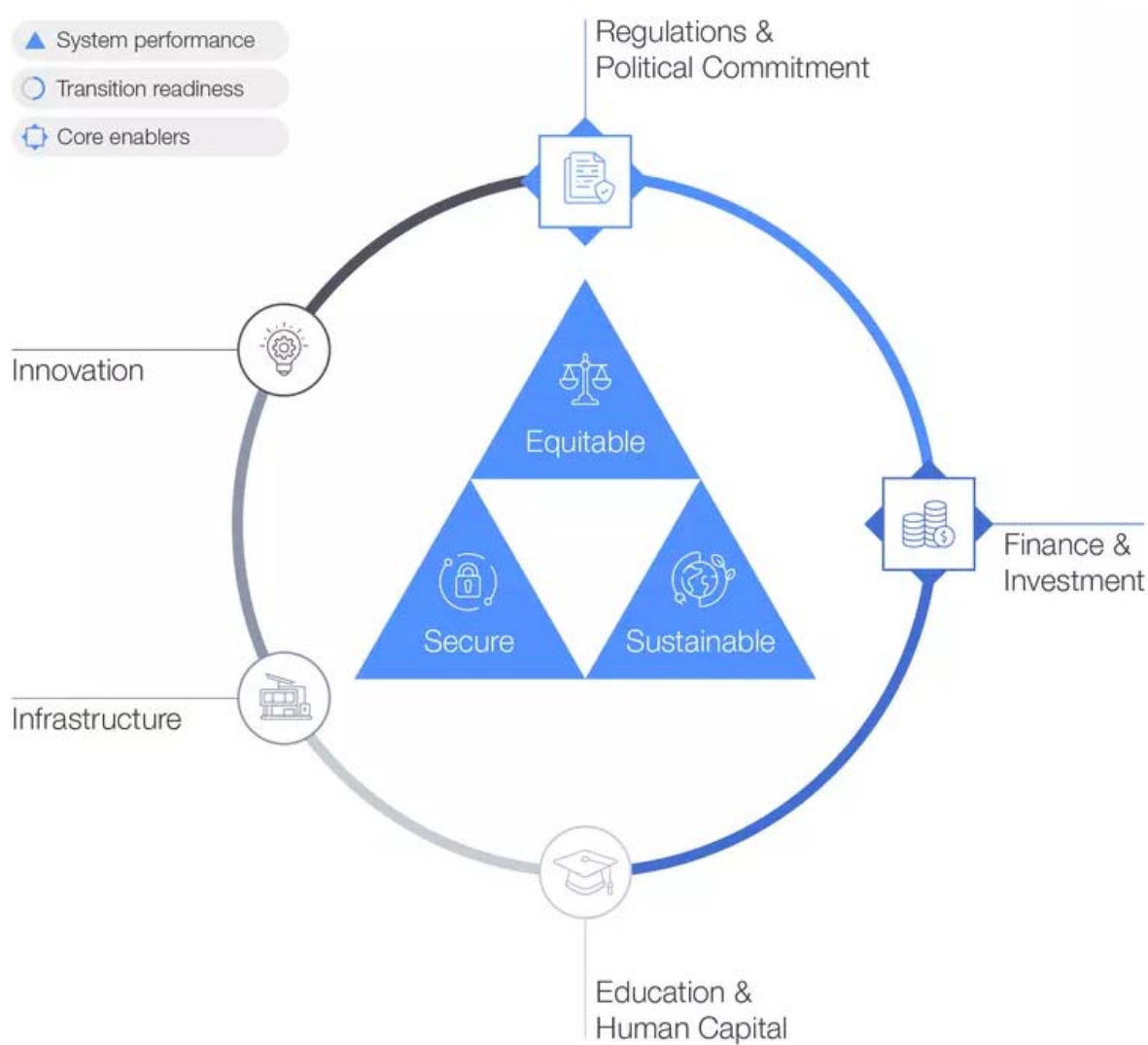


Рис. 1.1. Структура Індексу енергетичного переходу (Energy Transition Index) [26]

Розрахунок індексу включає макроекономічні, інституційні, соціальні та геополітичні аспекти, які забезпечують сприятливі умови для ефективного

енергетичного переходу (всього 40 аспектів, об'єднаних у певні групи (рис. 1.1)).

Справедливий вимір енергетичного трикутника ґрунтується на кількох аспектах. Він спрямований на забезпечення доступного доступу до сучасних і чистих видів енергії для всіх. Він спрямований на забезпечення безперервності економічної діяльності через конкурентні ціни на енергію. Він також наголошує на підтримці ціноутворення на енергію, що відображає витрати, одночасно впроваджуючи механізми захисту вразливих споживачів і малого бізнесу. Крім того, він використовує імпульс зеленого зростання для створення спільного процвітання.

Уроки нещодавньої енергетичної кризи відображені у визначенні безпечного виміру. Безпека постачання через диверсифікацію залишається важливою для трьох важелів диверсифікації – у структурі енергетичного балансу, у їхніх партнерів по торгівлі енергією та в джерелах виробництва електроенергії. Стійкість як у постачанні газу, так і в енергетичній системі є важливою для енергетичної безпеки. Крім того, оскільки в результаті децентралізації збільшується кількість і асортимент активів для виробництва та управління електроенергією, надійність мереж стає критичною. Майбутні ітерації можуть включати інші джерела стійкості, такі як безпечне постачання критично важливих корисних копалин, різні форми накопичення енергії, підключення до мереж і реагування на попит за наявності надійних, своєчасних і послідовних даних.

Показники попиту та пропозиції становлять стійкий вимір. Сталість на стороні постачання вимагає зменшення інтенсивності постачання CO₂ та метану. На додаток до заходів з боку пропозиції, зусилля щодо зниження енергоємності економіки (кількість енергії, необхідної на одиницю продукції або продукту – основний показник енергоефективності), заохочення відповідального споживання шляхом зниження рівня енергії та викидів на душу населення, а також збільшення частки чистої енергії в кінцевому попиті є важливими [41].

Прогрес у енергетичному переході визначається ступенем, до якого можна створити надійне сприятливе середовище. Надійна нормативно-правова база та здатність залучати та використовувати капітал у великих масштабах залишаються ключовими компонентами сприятливого середовища. На додаток до всеосяжної політичної основи для відновлюваної енергетики, енергоефективності та доступу до енергії, нормативні рамки повинні бути узгоджені з надійною, амбітною та надійною дорожньою картою до чистого нуля, що підтримується ефективним ціноутворенням на вуглець. Інвестиційний клімат, який характеризується низькою вартістю капіталу, ліквідністю на внутрішніх ринках і привабливістю для прямих іноземних інвестицій, є сильним фактором мобілізації зростаючого капіталу для енергетичного переходу. Крім того, країни з розвиненою економікою повинні виконати зобов'язання щодо мобілізації 100 мільярдів доларів щорічного фінансування боротьби з кліматом для країн, що розвиваються. Готовність до енергетичного переходу дедалі більше визначає стратегію конкурентоспроможності країн, оскільки вони формують нові галузі для підтримки майбутнього економічного зростання. Важливими є такі фактори, як кваліфікована робоча сила, інновації та фізична та цифрова інфраструктура, які чітко визнаються частиною переглянутої структури ЕТІ [26].

Окрім покращення продуктивності системи за допомогою збалансованого енергетичного трикутника та створення надійного сприятливого середовища, послідовний прогрес є важливим для своєчасного та ефективного переходу. У цьому звіті пропонується «імпульс» як така міра енергетичного переходу, щоб надати країнам додатковий рівень порівняльного аналізу з аналогічними економіками. Ідея імпульсу враховує різні вихідні точки, особливості країни та структуру енергетичної системи та зосереджується на короткострокових історичних темпах зростання справедливого, безпечного та стійкого вимірів енергетичної системи.

Індекс може бути використаний як інструмент для осіб, які приймають рішення в галузі енергетики, а також для того, щоб дати можливість політикам та підприємствам намітити курс на успішний перехід до сталої енергетики. Ключовими факторами переходу до сталої енергетики на думку експертів Всесвітнього економічного форуму є проникнення відновлюваних джерел енергії в систему енергопостачання, початок електрифікації та вдосконалення системи зберігання енергії.

Багато розвинених країн, що розвиваються, активно пропагують напрям енергозбереження та енергоефективності у своїх енергетичних стратегіях. Енергозбереження та енергоефективність дозволяє економити енергоресурси, часто без додаткових інвестицій та капіталовкладень, одночасно знижуючи викиди забруднюючих речовин та парникових газів, що впливають на атмосферне повітря та інші компоненти навколишнього середовища. Окрім того, енергоефективні технології значно підвищують рівень технологічного розвитку енергетичного сектора.

Висновки до першого розділу

1. Практично всі високорозвинені країни світу, такі як Японія, США, Канада, Велика Британія, Німеччина, Франція та ін., усвідомили необхідність розробки відповідних законопроектів у сфері організації та управління енергозбереженням.

У силу того, що в енергоефективність надає найкращі можливості для більш повного використання наявних ресурсів, підтримки економічного зростання та зниження витрат на енергію, його прийнято називати «п'ятим паливом» економіки. Згідно з практикою, у більшості випадків дешевше буває вжити заходів щодо економії енергії або уникнути її використання, ніж збільшити її виробництво. Таким чином, зростання енергоефективності є головним енергетичним ресурсом.

2. Впровадження енергоефективних промислових технологій дозволяє виробникам:

- Зменшити їхній вуглецевий слід
- Знизити витрати, підвищити продуктивність і підвищити акціонерну вартість
- Поліпшити продуктивності
- Створити енергоефективні продукти та ринкові можливості
- Поліпшити свою конкурентну позицію
- Залучити кращих талантів, які хочуть працювати в компанії, яка відповідає їхнім цінностям
- Забезпечити кращі відносини з громадою та загальну репутацію серед споживачів.

3. З огляду на центральну роль енергетичного переходу в пом'якшенні зміни клімату, який базується на двох стовпах енергоефективності та відновлюваних джерелах енергії, завданнями мають бути:

- Визначення технічних характеристик поточного глобального енергетичного переходу з акцентом на відновлювані джерела енергії;
- Розробка сценаріїв енергетичного переходу для сталого розвитку від теперішнього часу до 2050 року та визначення ролі, яку відновлювана енергетика може відігравати в такому глобальному енергетичному переході, використовуючи найновіші набори даних для відновлюваної енергії та порівнюючи сценарії переходу з різних джерел;
- Оцінка вартості і переваг прискореного енергетичного переходу;
- Окреслити синергію між прискореною енергоефективністю та розгортанням відновлюваних джерел енергії;
- Ідентифікація основних викликів і пріоритетів дослідження, що виникають.

РОЗДІЛ 2. РОЛЬ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА СВІТОВОМУ РИНКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

2.1. Тенденції трансформації світового енергетичного ринку

Глобальна енергетика переживає етап трансформації, відомий як енергетичний перехід або енергоперехід (Energy Transition - англійською). Основними моторами цього процесу є енергетичні стратегії різних країн та новаторські технології, які виникають як результат науково-технічного прогресу людства. Глобальні енергетичні стратегії динамічно розвиваються, враховуючи стан світової економіки, тенденції розвитку енергетики та враховуючи національні особливості.

Забезпечення енергетичної безпеки за допомогою доступної енергії за адекватною ціною лишається основною метою. Протягом останнього десятиліття значущість екологічних аспектів значно зросла в прийнятті стратегічних рішень у сфері енергетики. Декарбонізація та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема на кліматичні умови, та збереження природного біорізноманіття розглядаються при розробці майже всіх енергетичних стратегій. Розвиток науково-технічного прогресу та впровадження нових технологій в енергетичному секторі стали важливим стимулом для реалізації енергопереходу, а застосування відновлюваних джерел енергії стало технологічно доступним та економічно обґрунтованим.

Зміна клімату та місцеве забруднення повітря є одними з ключових рушійних сил енергетичного переходу в усьому світі. Місцеве забруднення повітря є основним фактором у таких країнах, як Китай та Індія. Але також у Європі зростає увага до шкідливого впливу забруднення повітря на здоров'я, що значною мірою пов'язане з постачанням та використанням енергії. У той час як місцеве забруднення повітря в певних випадках може бути вирішено за допомогою технологій кінцевих труб, це не стосується основної частини

викидів CO₂ від використання енергії. Близько двох третин глобальних викидів парникових газів припадає на постачання та використання енергії з викопного палива [8]. Узгоджена паризька кліматична ціль значно нижче 2° передбачає нульові викиди CO₂ протягом наступних п'ятдесяти років. Більш амбітна ціль лише на 1,5° передбачає ще більш швидке скорочення. Енергетичний перехід має суттєво скоротити викиди, одночасно забезпечуючи наявність достатньої кількості енергії для економічного зростання. Аналіз показує, що інтенсивність викидів CO₂ у результаті глобальної економічної діяльності має бути зменшена на 85% (рис. 2.1) між 2015 та 2050 роками, а викиди CO₂ мають зменшитися більш ніж на 70% порівняно з контрольним сценарієм у 2050 році. Результатом є щорічне зниження на викиди CO₂, пов'язані з енергетикою, у середньому на 2,6%, або на 0,6 гігатонн (Гт) в абсолютному вимірі, що призведе до 9,7 Гт викидів CO₂ на рік у 2050 році.

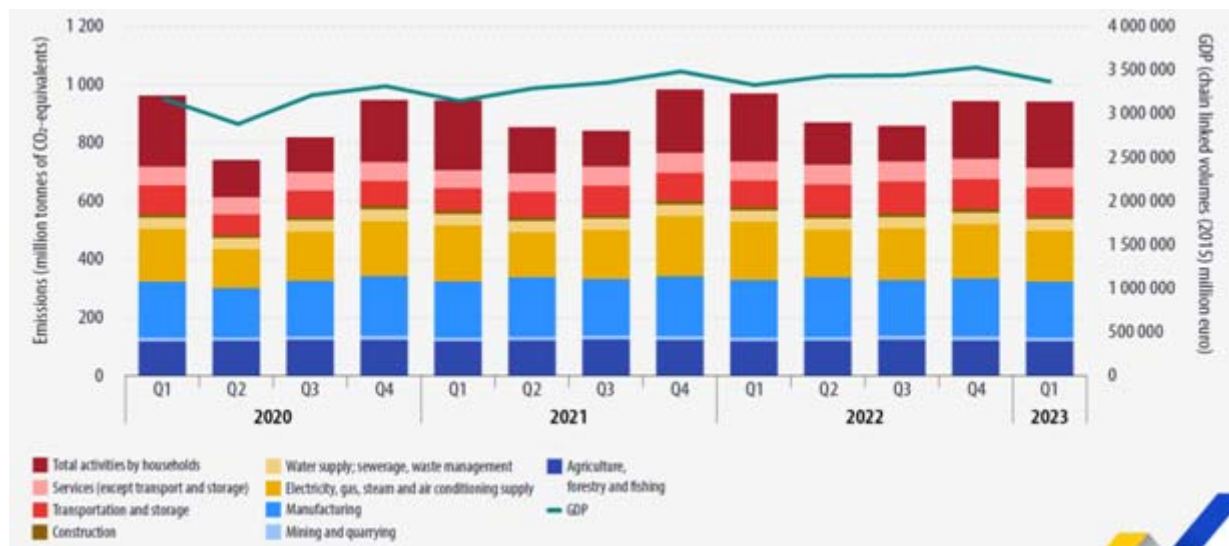


Рис. 2.1. Кількість викидів CO₂ секторами економіки в країнах ЄС, 2020-2023 рр., млн. тонн [26]

Динаміка енергопереходу у різних країнах світу відрізняється кардинально (рис. 2.2).

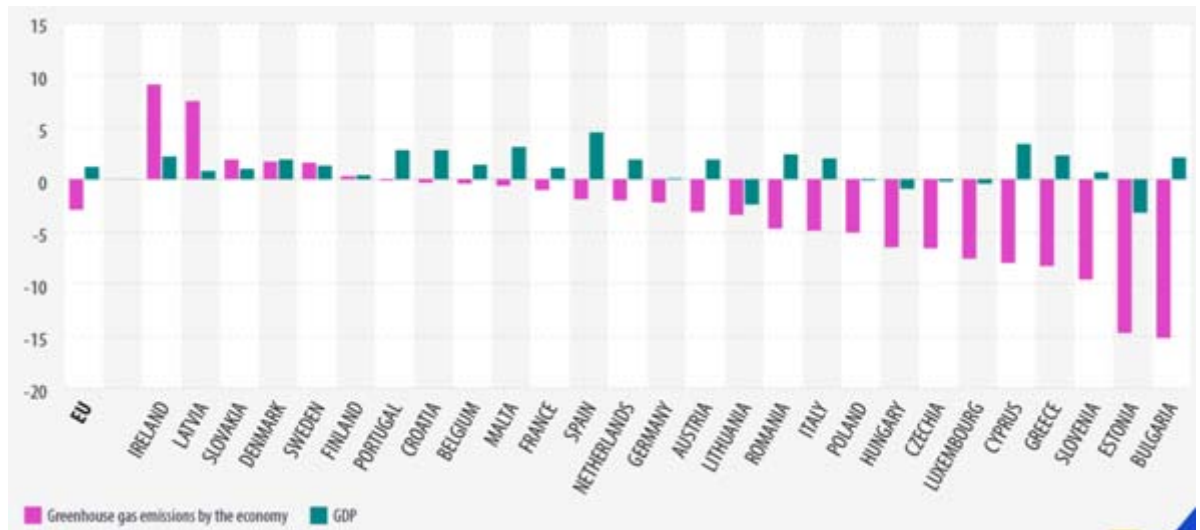


Рис. 2.2. Зростання викидів CO₂ у 2023, % до попереднього року [26]

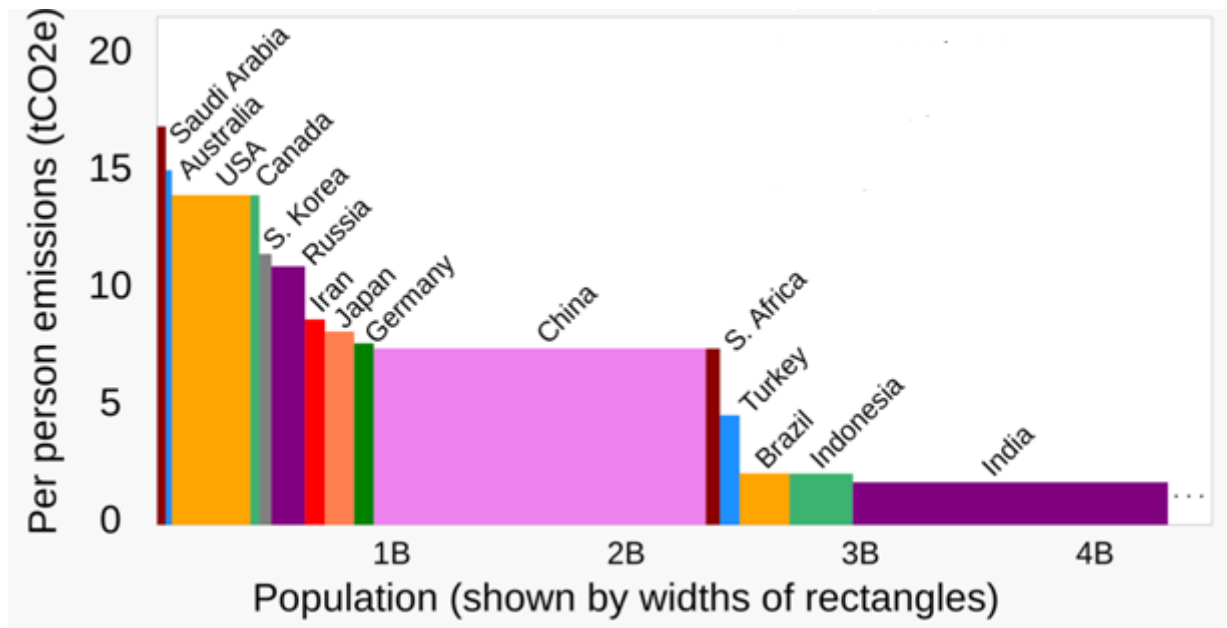


Рис. 2.3. Викиди CO₂ на душу населення, 2023, т [26]

Результати складання рейтингу за 2023 рік показують, що 75 % країн (із 115 країн – учасників) покращили свою екологічну стійкість. Лідерські позиції займають країни Північної Європи, Німеччина – на 20 місці, США – на 32 (рис. 2.4).

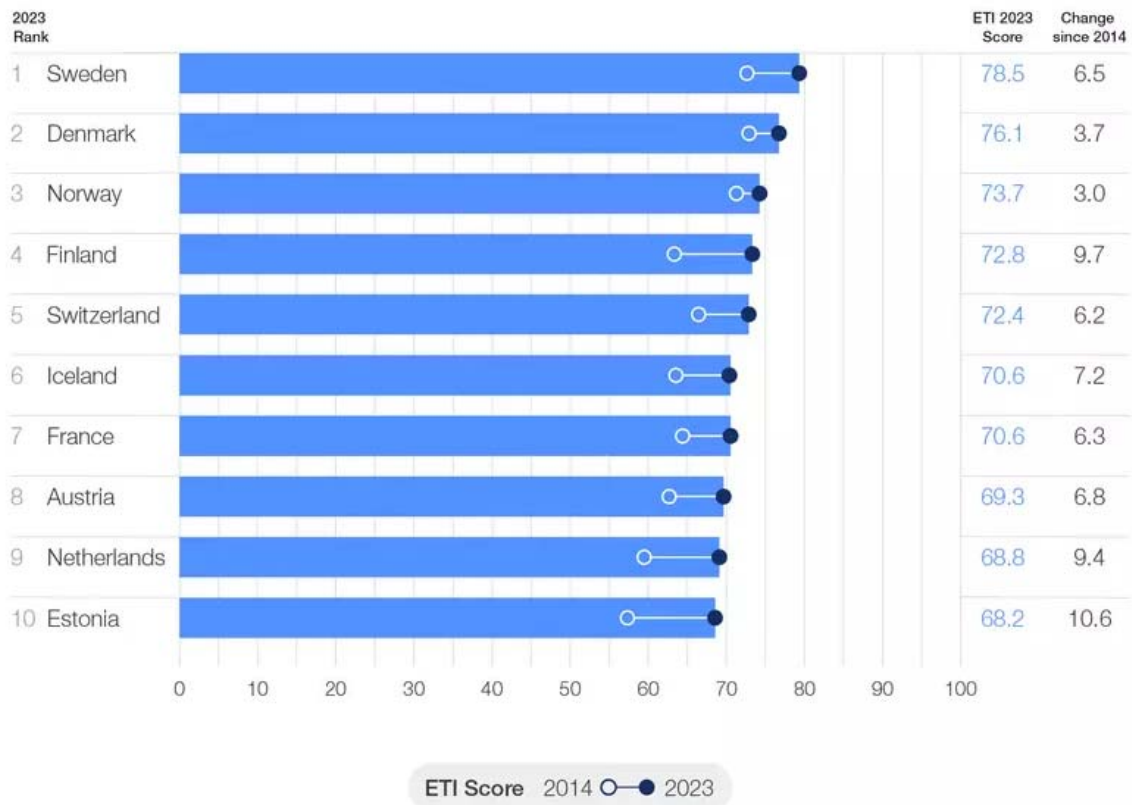


Рис. 2.4. Лідери енергетичної трансформації згідно з ЕТІ рейтингом у 2023 році [26]

Шляхом впровадження стратегій з енергозбереження та використання енергоефективних технологій з 2000 року зафіксовано глобальне збавлення темпів зростання споживання енергії — від 3,1% у період 1950-2000 років до 2% у період 2000-2022 років. [14]. Зменшення використання ресурсів на одиницю виробництва та відповідне зниження екологічного впливу, що виникає від використання ресурсів або економічної діяльності, що відоме як ефект декаплінгу, дозволяє досягти рівноваги між технологічним та економічним розвитком людства та можливостями відновлення екосистеми Землі.

Фахівці згодні, що глобальна трансформація енергетичних систем, відома як енергоперехід, включає чотири основні напрями: підвищення енергоефективності та три "д" - декарбонізація, децентралізація та діджиталізація [14]. Таким чином, розвиток світової економіки стає неможливим на даному етапі розвитку світового енергетичного сектора без

акценту на енергозбереженні та підвищенні енергетичної ефективності як стратегічного напрямку розвитку глобального енергетичного комплексу.

Глобальний перехід до низьковуглецевого розвитку суттєво вплине на економіку країн, які є власниками природних вуглеводневих ресурсів. Енергоперехід залишає все менше місця на ринку вуглеводневих органічних палив, оскільки декарбонізація передбачає поступовий відмов від традиційних вуглеводневих ресурсів, таких як вугілля, нафта та природний газ. Прогнозується повна відмова від використання органічних енергетичних ресурсів до 2050-2060 років [9, 15].

У 2022 році частка нових джерел енергії з використанням вітроенергетики, сонячної та біоенергетики у загальній генерації електроенергії в країнах Євросоюзу досягла 25,5%, порівняно з 2% в 2000 році. У шести країнах ЄС цей показник перевищив 35% (рис. 2.5). Данія має рекордні 78%, а в Німеччині, яка є найбільшою європейською економікою, цей показник становить 42%. Десятиліття 2030-х років є ключовим для досягнення стратегічної мети ЄС щодо повної декарбонізації економіки до 2050 року.

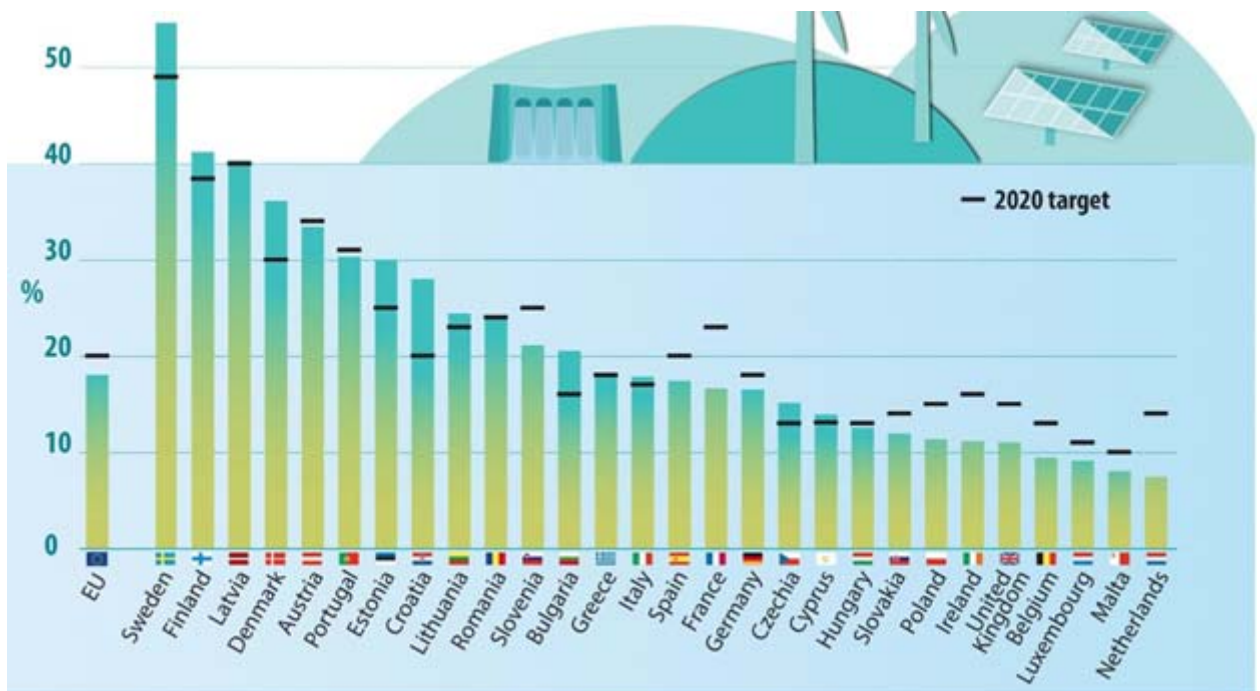


Рис.2.5. Доля альтернативних джерел енергії в країнах ЄС, 2020-2022 р. [26]

Аналіз динаміки виробництва та споживання електроенергії в країнах-членах Євросоюзу в історичній перспективі показує, що попит на електроенергію сягнув піку у 2008 р. і з того часу стагнує. Більше того, у 2018 р. вкотре намітилася тенденція до повільного зниження попиту на електроенергію, яка була підкріплена негативним впливом екзогенного шоку COVID-19.

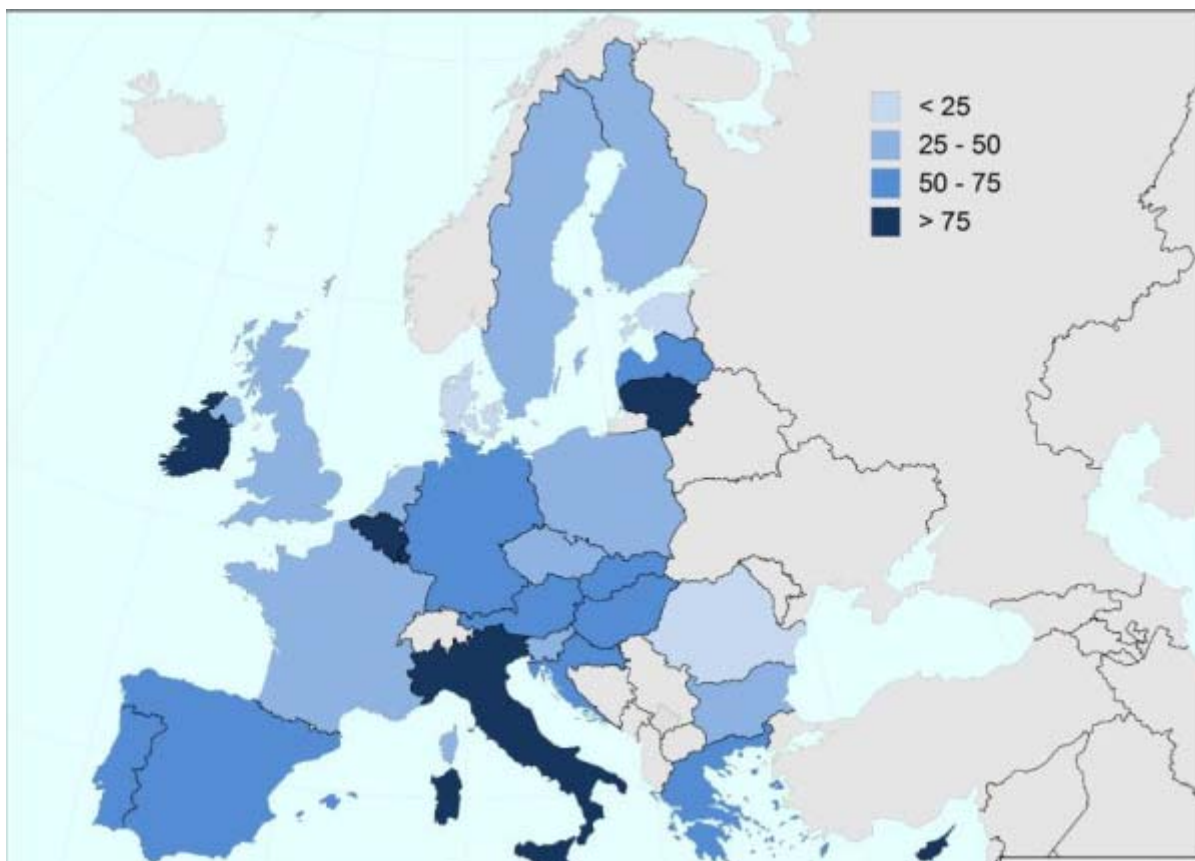


Рис. 2.6. Динаміка генерації та споживання електроенергії в ЄС, 2022 р., ТВт/год [26]

Протягом періоду 2000-2022 років середньорічні темпи зростання ВВП країн Європейського Союзу обмежувалися на рівні всього 1,4%, але характеризувалися системністю у динаміці попиту на електроенергію. Згідно з прогнозами Міжнародного валютного фонду (МВФ), після періоду відновлення у 2021-2022 роках, від 2023 року темпи економічного росту в країнах ЄС повернуться до низької траєкторії, утримуючись на рівні середнього 1,8% протягом 2023-2026 років.

Країни з високим середньодушовим ВВП, такі як Німеччина, Нідерланди, Швеція та інші, активно прагнуть створити нові ринки для електроенергії у теплоенергетиці та промисловості, прискорюючи електрифікацію цих секторів та підтримуючи електрифікацію транспорту. Це досягається за допомогою різних інструментів, включаючи бюджетні, інвестиційні та податкові заходи. Однак не всі країни ЄС можуть дозволити собі значні ресурси на неринкове стимулювання електрифікації економіки. У той же час в регіоні спостерігається загальна тенденція до зниження питомого споживання енергії, включаючи електроенергію, що значно підвищує рівень невизначеності стосовно перспективної динаміки попиту на електроенергію в Євросоюзі в цілому.

Необхідно відзначити, що ще одним кроком у подоланні існуючої енергетичної кризи та запобіганні майбутнім проблемам є впровадження технологій відновлюваної енергії. У 2021 році в ЄС вперше було зафіксовано зниження споживання відновлюваної енергії (рис. 2.7).

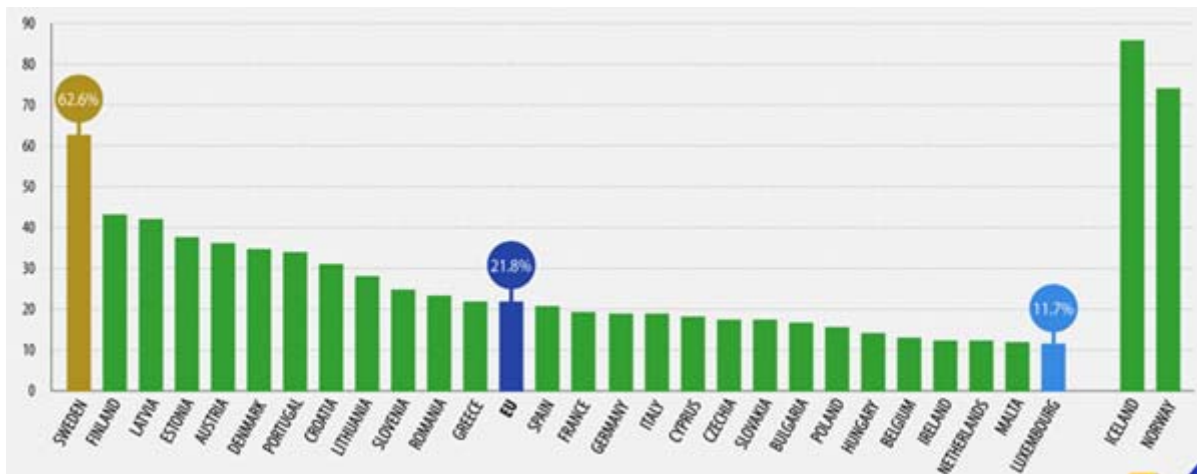


Рис. 2.7. Споживання відновлюваної енергії в країнах ЄС, 2021, % [26]

Метою Європейської зеленої угоди (COM(2019) 640 final) є стати першим кліматично нейтральним континентом у світі до 2050 року. Це амбітний пакет заходів, спрямованих на забезпечення сталого екологічного переходу для європейських громадян і підприємств.

Використання відновлювальних джерел енергії має численні переваги, зокрема екологічність, яка виражається у зменшенні викидів парникових газів та відмові від інших енергоносіїв, таких як нафта та газ. Заохочення розвитку відновлювальної енергетики може сприяти створенню нових робочих місць у цій галузі [46].

Таблиця 2.1

Частка відновлюваної енергії в деяких країнах світу (2016-2021), %

Н/п	Країна	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Ісландія	75,3	74,1	77,2	78,6	83,7	85,8
2	Норвегія	69,2	70,0	71,6	74,4	77,4	74,1
3	Швеція	52,6	53,4	53,9	55,8	60,1	62,6
4	Фінляндія	38,9	40,9	41,2	42,8	43,9	43,1
5	Латвія	37,1	39,0	40,0	40,9	42,1	42,1
6	Албанія	37,0	35,8	36,6	38,0	45,0	41,4
7	Чорногорія	41,5	39,7	38,8	37,7	43,8	39,9
8	Естонія	29,2	29,5	30,0	31,7	30,1	38,0
9	Австрія	33,4	33,1	33,8	33,8	36,5	36,4
10	Данія	31,7	34,4	35,2	37,0	31,7	34,7
11	Португалія	30,9	30,6	30,2	30,6	34,0	34,0
12	Хорватія	28,3	27,3	28,0	28,5	31,0	31,3
13	Литва	25,6	26,0	24,7	25,5	26,8	28,2
14	Сербія	21,1	20,3	20,3	21,4	26,3	25,3
15	Словенія	22,0	21,7	21,4	22,0	25,0	25,0
16	Румунія	25,0	24,5	23,9	24,3	24,5	23,6
17	Молдова	26,9	27,8	27,5	23,8	25,1	22,3
18	Греція	15,4	17,3	18,0	19,6	21,7	21,9
19	ЄС	18,0	18,4	19,1	19,9	22,0	21,8
20	Іспанія	17,0	17,1	17,0	17,9	21,2	20,7

Складено автором за матеріалами : [26].

У 2021 році Швеція мала найвищу частку використання енергії з відновлювальних джерел серед держав-членів ЄС, досягнувши 62,6% у

валовому кінцевому споживанні енергії. Це випереджає Фінляндію (43,1%) і Латвію (42,1%). З іншого боку, Люксембург, Мальта і Нідерланди мали найнижчі частки використання відновлювальних джерел енергії, з рівнями 11,7%, 12,2% і 12,3% відповідно.

Подана таблиця 2.1 відображає першу двадцятку країн за найвищою часткою використання відновлюваної енергії в загальній структурі споживання. Протягом останніх п'яти років найбільші досягнення у збільшенні частки використання енергії з відновлюваних джерел продемонстрували Швеція та Естонія. Середній показник зростання в Європейському Союзі за цей період становив 3,8%. У Чорногорії та Молдові ситуація залишається негативною. Це може бути пояснено меншим рівнем економічного розвитку цих країн та високими витратами на впровадження "зелених" технологій, які потребують значних інвестицій.

Незважаючи на значні запаси вуглеводнів, Норвегія активно впроваджує зелені технології та інвестує у розвиток відновлюваних джерел енергії. Ісландія, серед усіх європейських країн, лідирує у досягненні кліматичної нейтральності. Практично усю електроенергію в Ісландії виробляють з використанням відновлюваних джерел, зокрема, 73% з гідроелектростанцій та 26,8% з геотермальної енергії, що становить понад 99% загального споживання електроенергії в країні.

Існує значна кількість наукових та прикладних досліджень, які стверджують, що перехід до енергетичної системи Європейського союзу, що ґрунтується виключно на відновлюваних джерелах енергії, є реальною метою. Більшість цих робіт детально розглядають ключові аспекти енергетичного переходу, включаючи оптимальну структуру генерації за первинними енергоджерелами, необхідну ціну на викиди парникових газів, масштаби розвитку систем зберігання електроенергії та вимоги до характеристик електромереж внутрішньо та між країнами ЄС.

У багатьох з цих досліджень детально вивчається проблематика побудови декарбонізованої енергосистеми на основі відновлюваних джерел

енергії (НВДЕ). За аналізом сценаріїв визначено, що для досягнення вуглецевої нейтральності в електроенергетиці ЄС необхідно майже у дев'ять разів збільшити потужність генерації до 2 ТВт (порівняно з 1 ТВт у 2020 році). Крім того, важливо збільшити пропускну спроможність транскордонних вузлів експорту та імпорту електроенергії, забезпечити інтеграцію гнучко керованої інфраструктури для зарядки електромобілів та електронагрівального обладнання, а також масово розширити використання біоенергії.

У такому контексті важливо розвивати вітрову та сонячну енергетику в країнах і регіонах з найбільш сприятливими кліматичними умовами. Це передбачає створення єдиної системи управління перетіканням електроенергії між країнами. Забезпечення надійної інтеграції генерації енергії з різноманітних джерел, таких як гідроенергетика, та розгортання промислових систем зберігання електроенергії є ключовими умовами для підтримки переривчастого енергетичного потоку, що виникає внаслідок використання НВДЕ.

Прогноз розвитку електроенергетики ЄС на довгостроковий період, представлений Міжнародним енергетичним агентством у його останньому щорічному огляді світової енергетики, також передбачає значний ріст внеску НВДЕ у загальне виробництво електроенергії. Прогнозуються питомі частки відновлюваних джерел енергії на рівні 60-66% до 2030 року та 75-85% до 2050 року, в залежності від сценарію (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Структура генерації електроенергії у розрізі первинних енергоджерел в
ЄС-27, %

ВДЕ	2022 факт	2030 сценарний прогноз			2050 сценарний прогноз		
		I	II	III	I	II	III
Вітрова	14	27	32	32	38	54	54
Сонячна	5	13	15	21	15	10	14
Вугільна	14	3	1	1	0	0	0

Газова	20	17	13	13	10	1	1
Атомна	25	19	19	19	15	12	12
Інші ВДЕ	20	20	20	13	22	22	17
Інші	2	1	0,3	0,3	0,2	1	1
Всього	100	100	100	100	100	100	100
Доля ВДЕ	39	60	66	66	75	85	85

* Сценарій I – заявлені політики; Сценарій II – прискорення декарбонізації; Сценарій III – сталий розвиток.

Складено автором за матеріалами : [26].

Проведений аналіз вказує на те, що важливий вплив на темпи прогресу країн Євросоюзу у досягненні повної декарбонізації електроенергетики відчутний через економічні фактори. Навіть за умов збереження або посилення політичного зацікавлення у групі провідних країн, що відзначаються активністю у зеленій енергетиці (Німеччина, Данія, Нідерланди, Іспанія, Італія, Португалія), швидкість впровадження нових відновлюваних джерел енергії може сповільнитися. Це може відбуватися тимчасово через ефект бази та внаслідок зростання вартості нових можливих криз, обумовленої стохастично непередбачуваним обсягом енергетичного потоку, що суттєво залежить від погодних умов.

Не дивлячись на різні підходи до декарбонізації між двома групами країн ЄС, передбачається, що це не суттєво вплине на кліматичну та енергетичну політику Євросоюзу в найближчі роки. До 2024 року, згідно з планами, країни ЄС мають представити оновлені інтегровані національні плани щодо енергетики та клімату Єврокомісії. Ці плани мають бути узгоджені та набрати чинності до середини 2024 року. Лідери ЄС, ймовірно, намагатимуться досягти узгодженості в питанні порядку денного декарбонізації до цього моменту, використовуючи можливості для спільного просування в сфері використання нових відновлюваних джерел енергії.

2.2. Аналіз сценаріїв енергетичного переходу і впровадження енергозберігаючих інноваційних технологій на світовому ринку альтернативних джерел енергії

У науковій літературі виділяється декілька основних сценаріїв енергетичного переходу і впровадження енергозберігаючих технологій в умовах глобальних трансформацій. Перший сценарій порівнюється з еталонним випадком, який представляє зміни у використанні енергії та її поєднання, якщо світ дотримується політики, яка зараз діє та розглядається. Згідно з базовою лінією, або так званим еталонним випадком Міжнародного агентства з відновлюваної енергії (IRENA), викиди CO₂ в енергетиці збільшуються на 6% з 33 Гт у 2015 р. до 35 Гт у 2050 р. (рис. 2.8).

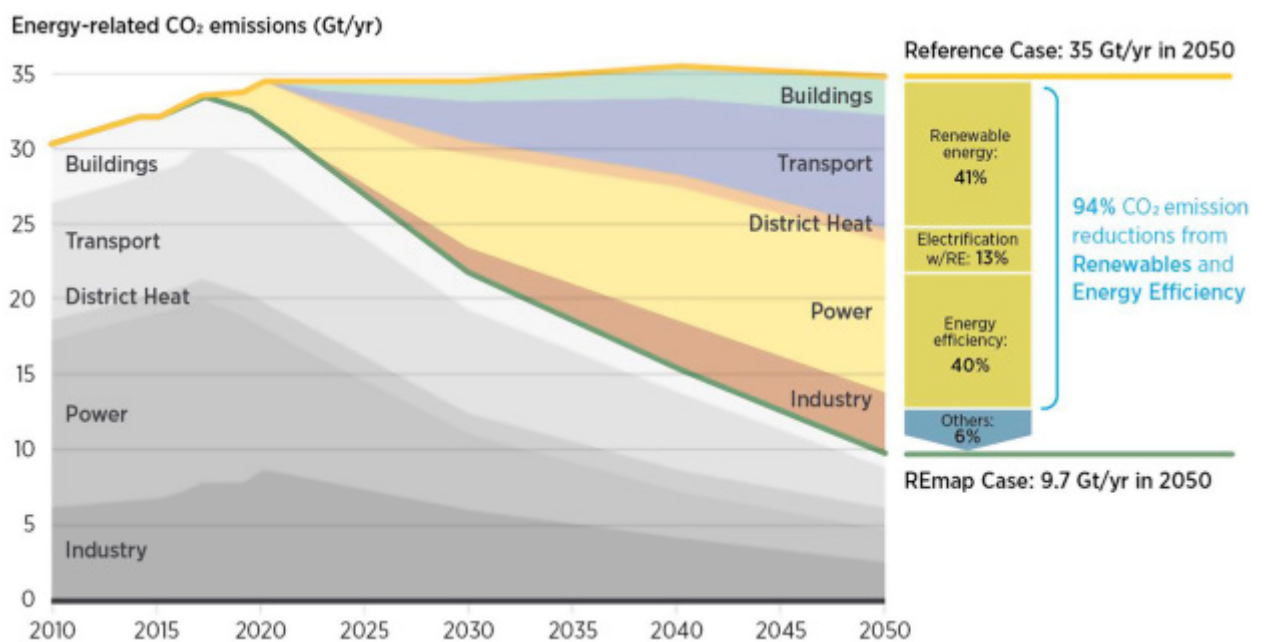


Рис. 2.8. Прогноз викидів CO₂ за секторами економіки, 2010-2050 рр., Гт [26]

На рисунку 2.8 показано, що відновлювані джерела енергії та заходи з енергоефективності потенційно можуть досягти 94% необхідного скорочення викидів до 2050 року порівняно з базовим сценарієм. Решта 6% буде досягнуто за допомогою інших варіантів скорочення пов'язаних з

енергетикою викидів CO₂, тобто переходу на викопне паливо, подальшого використання ядерної енергії та уловлювання та зберігання вуглецю (CCS) [28] (рис. 2.8). Від 41% до 54% загального скорочення можна безпосередньо віднести на відновлювані джерела енергії. Діапазон вказує на внесок електрифікації на основі збільшення використання відновлюваної електроенергії, що одночасно підвищує енергоефективність і частку відновлюваної енергії. Потенціал CCS розглядається лише для промислового сектору, де деякі викиди з енергоємних галузей дуже складно зменшити, наприклад, виробництво заліза та сталі або виробництво цементу. CCS не розглядається як варіант для енергетичного сектору. Енергетичний сектор сприяв би більш ніж 10 Гт скорочення викидів на 25 Гт у 2050 році. Решта буде пояснено скороченням прямих викидів від будівель, промисловості та транспорту та меншою мірою від централізованого теплопостачання (рис. 2.8). На країни G20 припадатиме 85% розгортання відновлюваних джерел енергії, включаючи Китай 26%, США 15%, Індію 12%, Європейський Союз 9%. Ця обмежена кількість акторів відіграє вирішальну роль для енергетичного переходу. Частка відновлюваної енергії в загальному обсязі первинної енергії зросте з 14% у 2015 році до 63% у 2050 році. Це еквівалентно середньорічному темпу зростання в 1,4%, що є шестикратним збільшенням порівняно з останніми роками. У той же час частка викопного палива знизиться з 86% до 37%. Споживання енергії буде майже постійним між 2015 і 2050 роками, тоді як економічна активність зросте майже втричі (рис. 2.9).

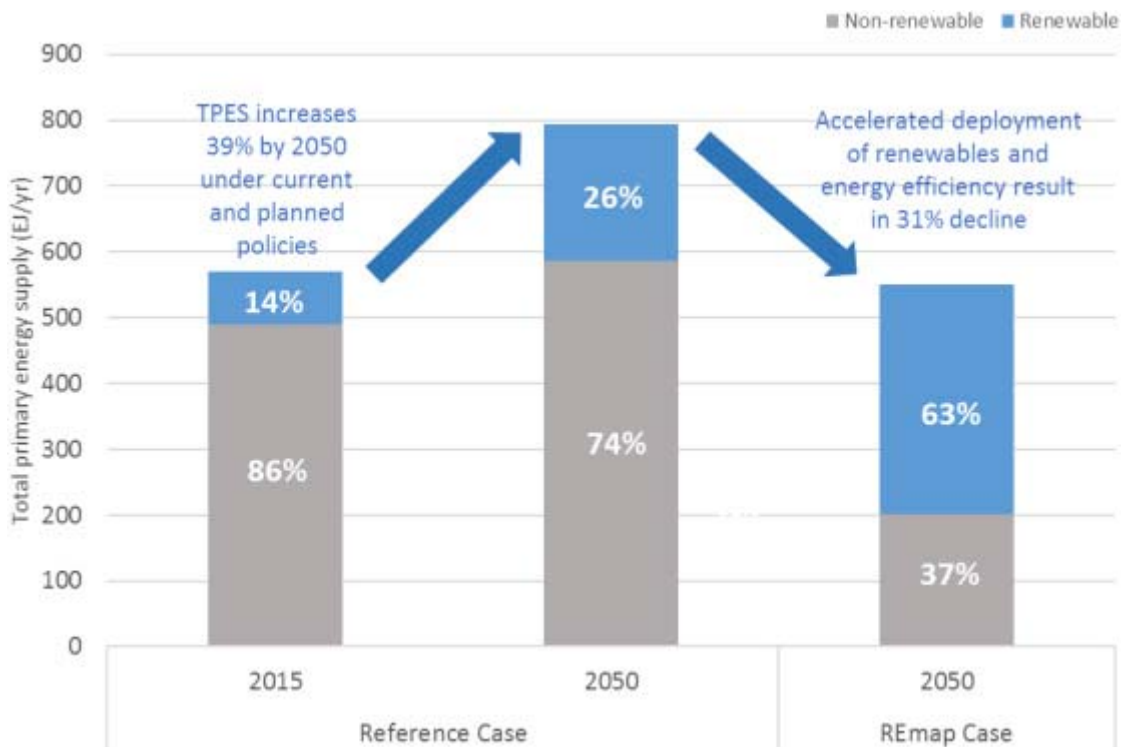


Рис. 2.9. Експертний прогноз споживання традиційних та відновлюваних видів енергії за різними сценаріями у 2050 р., % [26]

Перспективи відновлюваної енергетики на рівні країни можуть сильно відрізнятися [27,28]. Це результат забезпеченості енергетичними ресурсами, прогнозованого попиту на енергію, поточної частки відновлюваної енергії та інших факторів. Однак для всіх економік частка відновлюваних джерел енергії має суттєво зрости. Вирівнювання первинного енергопостачання можливе шляхом прискорення підвищення енергоемності з нинішнього рівня 1,8% до 2,8% на рік до 2030 року. Це узгоджується з цільовим показником енергоефективності ЦСР далі до 2050 р. Поліпшення енергоемності відбуватиметься завдяки запровадженню заходів з енергоефективності (включаючи електрифікацію), а також економії енергії за рахунок більш ефективних технологій відновлюваної енергії. Кілька недавніх незалежних досліджень прийшли до тих самих висновків, з незначними відмінностями [28,52]. На рис. 2.10 наведено розбивку розгортання відновлюваних джерел енергії. Загалом використовується 222 ЕДж (ЕДж) відновлюваної енергії в кінцевому вираженні енергії. На енергетику припадає 58%. Це включає

зростання споживання відновлюваної енергії, пов'язане з електрифікацією (зокрема, електромобілі та теплові насоси).

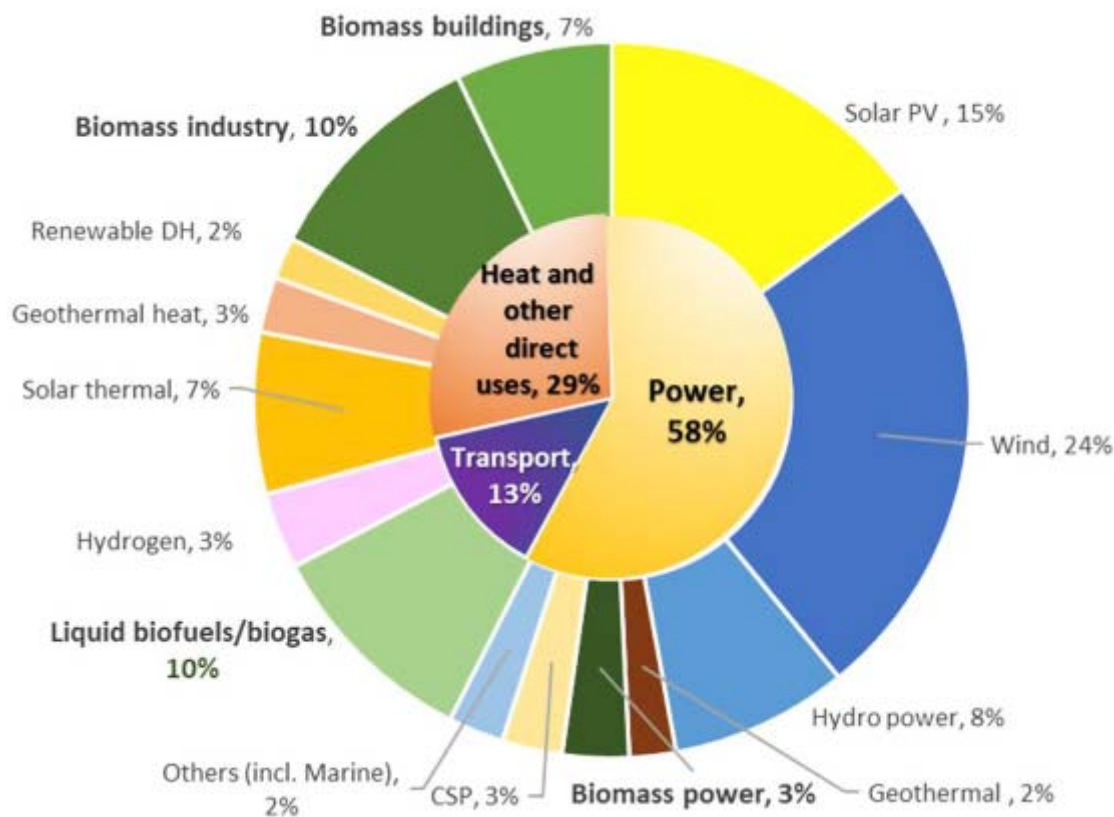


Рис. 2.10. Розбивка розгортання відновлюваних джерел енергії, % [26]

Цей тип розгортання відновлюваних джерел енергії також можна віднести до секторів кінцевого споживання. Що стосується загального використання відновлюваних джерел енергії, то на особливу увагу заслуговує ключова роль біоенергетики (32%, включаючи централізоване опалення) та вітру (24%). Результати, представлені тут на основі аналізу REmap IRENA, можна порівняти з енергетичними сценаріями інших великих досліджень, таких як World Energy Outlook MEA.

У таблиці 2.3 порівнюються сценарії IRENA та Міжнародного енергетичного агентства (MEA) для енергетичного переходу, які були розроблені незалежно. Обидва дослідження вказують на ключову важливість енергоефективності та відновлюваних джерел енергії для глобального енергетичного переходу, тоді як MEA дещо оптимістичніше щодо

перспектив використання викопного палива з CCS та ядерної енергії. Той факт, що результати настільки близькі, вказує на збіжність щодо бажаного напрямку переходу енергії.

Таблиця 2.3

Порівняння сценаріїв MEA, IRENA та Shell щодо глобального енергетичного переходу до 2050 року

	IRENA	MEA	Shell Sky
Загальне первинне енергопостачання, ЕДж	550	586	828
Загальне кінцеве споживання, ЕДж	386	398	548
Частка відновлюваної енергії в загальному обсязі постачання первинної енергії, %	63	46	43
Викиди CO ₂ від викопного палива у 2050 році, гт/рік	9,7	9	18
Інвестиції для декарбонізації 2015-50 рр., млрд. дол. США	120	114	
Покращення енергоемності, %/рік	2,8	2,9	2
Електромобільність у транспорті, %	31	-	21

Джерело: [12,27,53].

Однак обидва аналізи також вказують на те, що такий перехід не є даним і що поточний темп переходу надто повільний. Сценарій Shell Sky також наведено в таблиці 2.3. Цей сценарій є менш амбітним щодо скорочення викидів до 2050 року, він робить ставку на негативні викиди після 2050 року. Але також цей сценарій вказує на 43% частки відновлюваної енергії в загальному кінцевому споживанні до 2050 року. Оскільки загальний рівень споживання енергії набагато вищий, розгортання відновлюваної енергії навіть вище в абсолютному вираженні в сценарії Sky, ніж в двох інших сценаріях. Порівняння демонструє консенсус щодо того, що зростання використання відновлюваних джерел енергії є ключовою опорою для

енергетичного переходу, але думки розходяться щодо потенційної ролі енергоефективності.

Наш аналіз показує, що декарбонізація енергетичної системи доступна. Хоча загальні потреби в інвестиціях в енергетику є значними, додаткові потреби в інвестиціях, пов'язані з переходом до низьковуглецевого енергетичного сектора, становитимуть 0,4% світового ВВП у 2050 році. Додаткові кумулятивні інвестиції за період 2015–2050 років становитимуть еквівалент 27 трильйонів доларів США. до 0,77 трлн дол. США в середньому на рік за той же період. Це на додаток до 93 трлн дол. США кумулятивних інвестицій у базовому прикладі, або 2,66 трильйона доларів США в середньому на рік (+29%). Додаткові інвестиції, необхідні для декарбонізації енергетичного сектору, в основному зосереджені в секторах кінцевого споживання для підвищення енергоефективності (зокрема, в будівлях і транспортних секторах) [27], але також включають інвестиції в інфраструктуру (наприклад, лінії передачі та розподілу, накопичення енергії, підзарядка), інфраструктура для електромобілів, водневі та CO₂ трубопроводи). Сукупний прибуток від зростання ВВП між 2015 і 2050 роками може скласти приблизно 52 трлн дол. США. Посилення економічного зростання відбувається завдяки стимулюванню більших інвестицій у відновлювані джерела енергії та енергоефективність, а також посилюється політикою сприяння зростанню, використанням ціноутворення на викиди вуглецю та переробкою його надходжень для зниження податків на прибуток. Глобальний енергетичний перехід і більш сильне загальне економічне зростання згідно з REmap Case можуть створити близько 19 мільйонів додаткових прямих і непрямих робочих місць у 2050 році в секторах відновлюваної енергетики, енергоефективності та вдосконалення та гнучкості мереж. Втрата робочих місць у секторі викопного палива (7,4 мільйона) буде повністю компенсована новими робочими місцями лише у сфері відновлюваних джерел енергії, а більше робочих місць буде створено завдяки енергоефективності. Таким чином, глобальний енергетичний перехід

призводить до 11,6 мільйонів додаткових прямих і непрямих робочих місць в енергетичному секторі [27]. До них відносяться мільйони додаткових робочих місць, які будуть створені в інших секторах економіки, пов'язаних із діяльністю з впровадження та обслуговування відновлюваних джерел енергії, будівництвом, впровадженням енергоефективних заходів, виробництвом необхідного обладнання та постачанням біоенергії. Позитивний вплив енергетичного переходу з більшою кількістю відновлюваних джерел енергії та енергоефективності на чисту зайнятість та економічне зростання також підкреслюють інші дослідження, але висновки залишаються чутливими до параметрів моделі та припущень [84–87]. Порівняння витрат і переваг показує сприятливі результати переходу на енергію. Хоча витрати на систему вищі, вплив на здоров'я зменшується, а зміна клімату пом'якшується. Такі зовнішні ефекти зазвичай не враховуються в економічних оцінках. Результати свідчать про те, що зменшення зовнішніх ефектів у два-шість разів перевищує додаткові витрати. Приблизно дві третини переваг можна віднести до зменшення впливу на здоров'я. Це створює вагомий аргумент на користь переходу енергії [27]. Ці висновки узгоджуються з іншими дослідженнями моделювання, які показують, що супутні переваги для здоров'я набагато вищі, ніж політичні витрати на досягнення цілей Паризької угоди [82,83].

Стратегії прискореного впровадження відновлюваної енергетики та енергоефективності. Відновлювана енергетика в даний час становила 19% глобального кінцевого попиту на енергію в 2015 році, збільшуючись на 0,17% на рік з 2010 року [28,54]. Ці темпи зростання повинні прискоритися в сім разів, щоб до 2050 року досягти двох третин частки відновлюваної енергії в загальному глобальному кінцевому попиті на енергію, що необхідно для глобального енергетичного переходу згідно з аналізом REmap. Базуючись на енергетичному балансі REmap, таблиця 2.4 представляє необхідне зростання технологій відновлюваної енергетики між 2022 і 2050 роками для енергетичного переходу. Швидкість розгортання деяких ключових

технологій, як-от сонячна фотоелектрична енергетика, технології вітроенергетики, йде по плану. Однак для інших технологічних рішень темпи зростання розгортання повинні збільшитися на кілька порядків, таких як біореактивне паливо (біокеросин), біопаливо для автомобільного транспорту та сонячне тепло для промислових процесів [40].

Таблиця 2.4

**Розбивка зростання відновлюваної енергетики у справі REmap,
2017–2050 рр.**

Ключові технології відновлюваної енергетики	Вимоги до майбутнього зростання, 2022–2050	Фактор прискорення зростання	Внесок у зростання частки відновлюваних джерел енергії в загальному кінцевому споживанні 2022–2050 рр. (ppt/рік)
Вітер ГВт/рік	154	3	0,33
Сонячна PV ГВт/рік	210	2	0,21
Сучасна біомаса (кінцеве використання)			0,19
Рідке біопаливо та біогаз млрд л/рік	24	5	0,12
Сонячна теплова енергія млн м2	283	9	0,10
ГідроГВт/рік	17	0,7	0,05
Гідроген			0,05
Геотермальне тепло ПДж/рік	173	7	0,04
Інші (включаючи морські та гібридні) ГВт/рік	28	280	0,04
Геотермальна (енергія) ГВт/рік	7	12	0,03
Біоенергія (потужність) ГВт/рік	12	2	0,03
Традиційна біомаса			0,22
Відновлювана енергія: всього			1,01
Енергоефективні заходи			0,35
Разом			1,4

Складено автором за матеріалами [27]

Технології відновлюваної енергетики, які починаються з низької початкової бази, потребують найвищих темпів щорічного зростання. Те ж саме можна сказати про деякі відновлювані технології кінцевого використання, такі як сонячне опалення та водень. Біопаливо вимагає дещо нижчих ставок, оскільки його використання вже поширене в деяких секторах, наприклад у будівництві. Вказано річні темпи зростання, які відображають уповільнення в міру зрілості ринків. Ці цифри вказують на те, що досягти необхідного темпу зростання відновлюваної енергетики для декарбонізації енергетичного сектора складно, але можливо. Відновлювана енергетика сприятиме середньорічному зростанню відновлюваних джерел енергії на 0,7% пункту, що становить половину загального показника (Таблиця 2.4).

Згідно з REmap Case, споживання електроенергії в секторах кінцевого споживання подвоїться до 2050 року (порівняно з рівнями 2015 року) до понад 42 000 ТВт-год, тоді як інтенсивність вуглецю в енергетичному секторі знизиться на 85%. Валове виробництво електроенергії зросте майже вдвічі, а відновлювана енергія забезпечить 85% електроенергії. Потужність виробництва відновлюваної електроенергії зросте у вісім разів з приблизно 2000 ГВт до 16 000 ГВт, включаючи 7122 ГВт сонячної фотоелектричної енергії та 5445 ГВт вітрової енергії. Щорічне збільшення потужності цих двох компаній подвоїться і потроїться, відповідно, порівняно з 2017 роком. Жодних нових вугільних електростанцій не слід вводити в експлуатацію, а 95% вугільних станцій, які працюють сьогодні, мають бути виведені з експлуатації. Інвестиції в нові потужності відновлюваної енергетики повинні зрости до 500 мільярдів доларів США на рік протягом періоду до 2050 року. Загалом інвестиції в декарбонізацію енергосистеми повинні досягти в середньому майже 1 трильйона доларів США на рік до 2050 року. На рис. 2.11 представлено географічний розподіл збільшення потужностей з виробництва відновлюваної електроенергії.

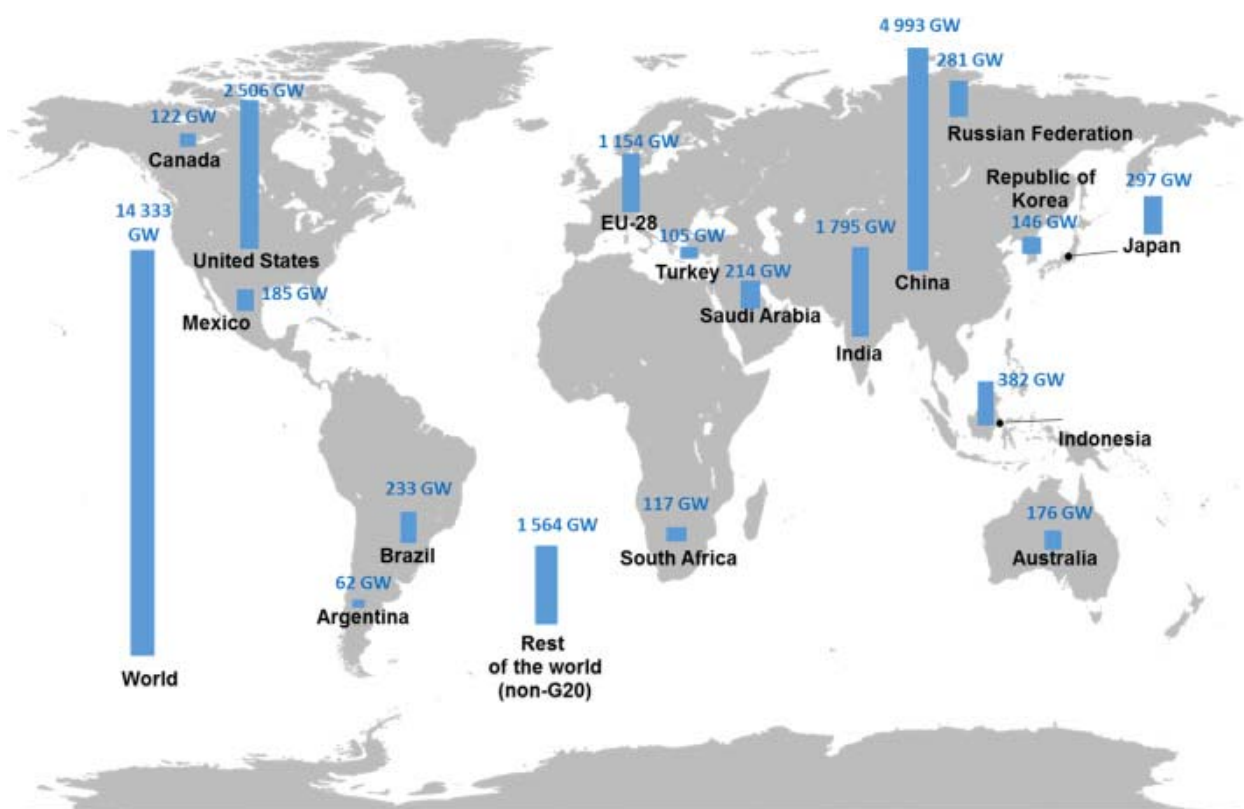


Рис. 2.11. Географічна розбивка збільшення потужностей з виробництва відновлюваної електроенергії у 2018–2050 роках [27]

На Китай припадає понад третина, за ним йдуть Сполучені Штати, Індія та Європейський Союз. Близько 85% відновлюваних джерел енергії в енергетичному секторі з великою часткою періодичної сонячної фотоелектричної енергії та вітру неможливі без сильного поєднання гнучкої диспетчеризації електроенергії, взаємозв'язку передавання, зберігання, інтелектуальних мереж і управління попитом. Потрібні інноваційні технології, операційна практика, ринковий дизайн і бізнес-моделі. Цифрові технології відкривають нові можливості, які створюють нові форми гнучкості, наприклад агрегатори, які об'єднують послуги з невеликих систем у комерційні пакети або споживацькі цінові сигнали в реальному часі. У 2017 році оператор мережі 50 Гц у східній Німеччині зафіксував середньорічний показник змінної відновлюваної енергії на рівні 53,4%. Це вказує на те, що можна експлуатувати мережі з високою часткою змінних відновлюваних джерел енергії. Зростання прямого використання відновлюваних джерел

енергії в секторах кінцевого використання (будівлі, промисловість і транспорт) сприятиме щорічному зростанню частки відновлюваних джерел енергії на 0,3% пункту, приблизно чверть від загального обсягу. У 2050 році на одну лише біомасу припадатиме дві третини прямого використання відновлюваної енергії. Це включає сучасні системи опалення на біомасі та рідке біопаливо. Що стосується первинної енергії, річне постачання біоенергії збільшиться приблизно вдвічі порівняно з нинішніми рівнями до приблизно 116 ЕДж у 2050 році. Це включає відхід від традиційного використання біомаси до сучасних застосувань, включаючи сучасні кухонні плити. Пряме використання від виробництва рідкого транспортного палива становило б приблизно одну третину, потім слідували промислові застосування та перетворення в електроенергію та централізоване тепло. Нарешті, між енергоефективністю та відновлюваною енергією існує значна синергія. Насправді енергоефективність становить 0,35% балів у загальному зростанні відновлюваних джерел енергії. Причина полягає в тому, що та сама абсолютна кількість відновлюваної енергії дає більшу частку відновлюваної енергії, якщо зростання попиту на енергію зменшується через енергоефективність. Що стосується енергоемності, річний приріст підскочив із середніх 1,3% між 1990 і 2010 роками до 2,2% за період 2014–2016 років, впавши до 1,7% у 2017 році [12]. Підвищення технічної ефективності може становити близько 70% поступового покращення з 1,8% на рік у контрольному випадку до приблизно 2,8% у середньому за період до 2050 року [28,54]. Відновлювані джерела енергії можуть сприяти решті 30% покращення енергоемності до 2050 року, наприклад, за рахунок електрифікації на основі відновлюваних джерел для опалення та приготування їжі або 100% ефективної сонячної фотоелектричної та вітрової енергії порівняно з 30–40% ефективним виробництвом електроенергії з вугілля (рис. 2.12).

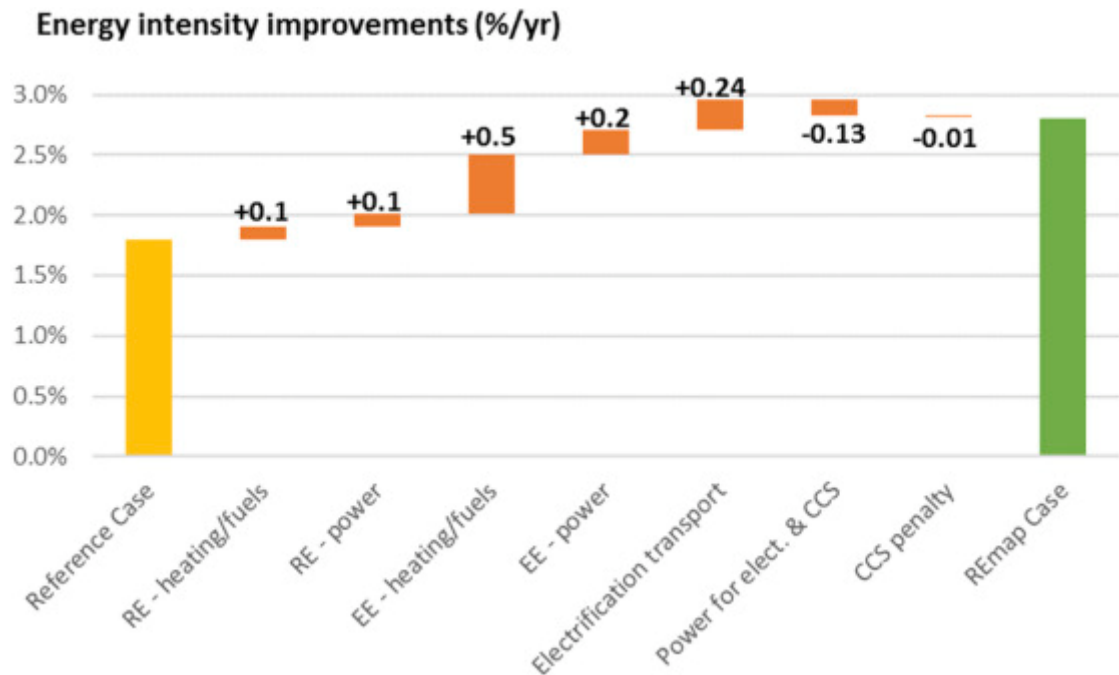


Рис. 2.12. Енергоемність за фактором у еталонному випадку та Remap, 2050 [27]

Рис. 2.12 виключає покращення структурних змін, як, наприклад, перехід від приватних автомобілів до громадського транспорту чи велосипедів. Тому потенціал декарбонізації енергоефективності може бути ще вищим. Приклади таких змін включають, наприклад, сполучення високошвидкісних поїздів у Франції та інших країнах, які значно скоротили авіасполучення на короткі та середні відстані. Розвиток систем метро в міських центрах, наприклад у Китаї, є ще одним прикладом переходу до громадського транспорту. У США електричні скутери отримали широке поширення.

Синергія між енергоефективністю та відновлюваними джерелами енергії є очевидною, коли енергетичні сектори об'єднані, як у випадку з відновлюваною енергетикою та транспортом, оскільки електрифікація транспорту становить близько чверті покращення енергоемності між базовим сценарієм і прикладом REmap у 2050. Електрифікація стає ключовою сферою, яка забезпечує синергію між ефективністю та відновлюваними джерелами енергії, а також для об'єднаних секторів. Останнє особливо важливо для інтеграції змінних відновлюваних джерел енергії в

енергосистему. У кожному секторі кінцевого використання є застосування, де відновлювана електроенергія може замінити пряме використання викопного палива, часто зі значним підвищенням ефективності. Електромобіль, як правило, втричі ефективніший, ніж аналогічний ДВС. У кейсі REmap частка електроенергії в загальному кінцевому споживанні енергії зросла приблизно з 20% у 2015 році до 40% у 2050 році. Сучасні технології, такі як електромобілі, відзначилися проривом, коли в Китаї та Сполучених Штатах було введено в дію багато заводів із виробництва батарей GW. та в інших місцях [55]. Цей тип об'єднання секторів потребує інтелектуальної зарядки та інтелектуальних мереж, щоб полегшити інтеграцію VRE та забезпечити достатню гнучкість у роботі енергосистеми. Теплові насоси можуть відігравати таку ж важливу роль для будівель. Зрештою, електрифікація уповільнить зростання попиту на кінцеву та первинну енергію через вищі частки змінної відновлюваної енергії у виробництві електроенергії (які враховуються зі 100% ефективністю) та вищу ефективність кінцевого використання енергії).

Згідно з аналізом IRENA, амбітна декарбонізація може призвести до збільшення частки електроенергії у всій енергетиці транспортного сектору з трохи більше ніж 1% у 2015 році до 33% у 2050 році, 85% з яких є відновлюваними, з понад мільярдом електромобілів на дорогах, які еквівалентний сьогоdnішньому загальному парку пасажирських транспортних засобів. Частка електроенергії в будівництві може сягнути приблизно 56% до 2050 року відповідно до проекту IRENA REmap Case із збільшенням кількості електричних теплових насосів у 10 разів (до понад 250 мільйонів) і електричних технологій приготування їжі, які зможуть скоротити споживання енергії для приготування їжі в три-п'ять разів. Частка промисловості електроенергії може сягнути приблизно 42% до 2050 року відповідно до REmap Case IRENA, з 80-кратним збільшенням електричних теплових насосів до понад 80 мільйонів одиниць, що задовольнить приблизно 7% світового промислового попиту на тепло. До 20% покращень

енергоємності можна віднести до збільшення використання відновлюваної енергії (рис. 2.12). Гідро, сонячна фотоелектрична та вітрова енергія генеруються з 100% ефективністю. Коли ці відновлювані джерела енергії замінюють виробництво електроенергії на викопному паливі з ефективністю 25–60%, ефективність покращується. Крім того, чистий приріст ефективності досягається за рахунок сонячних систем опалення, що пропонують 100% ККД, і деяких котлів і печей, що працюють на біопаливі, які є ефективнішими, ніж їхні еквіваленти на викопному паливі. Нарешті, електрифікація за допомогою відновлюваних джерел енергії забезпечує ще 24% підвищення енергоефективності. Загалом 20–44% підвищення енергоємності можна віднести за рахунок відновлюваних джерел енергії. Однак можна дискутувати, чи слід це пов'язувати з ефективністю чи відновлюваними джерелами енергії, оскільки технології, які підпадають під цю категорію, забезпечують переваги для обох сторін. Наприклад, тепловий насос або електричний транспортний засіб є набагато ефективнішим, ніж енергетичний пристрій, який використовує викопне паливо для надання тих самих послуг. За умови, що ці технології, засновані на електроенергії, отримують відновлювану енергію, вони збільшують частку відновлюваної енергії як в енергетичному секторі, так і в секторах, до яких вони належать, теплопостачання чи транспорт.

Щодо інновацій та науково-дослідних розробок для забезпечення енергетичного переходу, то як показано вище, частка відновлюваної енергії буде еквівалентна двом третинам загального світового постачання первинної енергії у 2050 році відповідно до прикладу REmap. Це означало б значне прискорення порівняно з контрольним сценарієм, який дасть лише 24% відновлюваної енергії до 2050 року.

Сьогодні доступні технології, які дозволяють значно прискорити перехід до 2030 року, однак, згідно з аналізом REmap, приблизно одна третина всієї загальної первинної енергії у 2050 році все ще буде отримувати з невідновлюваних джерел енергії. Для цих застосувань рішення або ще не

доступні в масштабі, або їх вартість занадто висока. Таким чином, існують серйозні технологічні проблеми для завершення переходу до енергопостачання, яке базується на відновлюваних джерелах енергії, до середини століття.

Інновації історично були і залишатимуться рушійною силою цього переходу. Є два важливі наступні кроки, щоб активізувати це: 1) для тих додатків, де існують технологічні рішення, важливим наступним кроком є підтримка фреймворків, необхідних для збільшення їхнього розгортання, і 2) для додатків, де рішення є сьогодні на ранній стадії комерціалізації або взагалі не існує, наступним кроком є сприяння технологічним інноваціям разом із сприятливою політикою, соціальними та фінансовими заходами, щоб швидко вивести нові чисті технології на ринок [32,56].

Технологічні прориви можуть бути відображені в патентних заявках, тому IRENA розробила базу даних міжнародних стандартів і патентів у відновлюваній енергетиці (INSPIRE), щоб відстежувати їх. Моделі подачі заявок на патенти з часом пропонують цікаве розуміння того, куди прямують технології відновлюваної енергії [57].

Дані свідчать, наприклад, про поступовий зсув у патентній діяльності протягом останніх років, від зв'язку між пропозицією та сектором. Секторами з найбільш серйозними проблемами є енергоємні галузі промисловості, такі як виробництво чавуну та сталі, хімічна та нафтохімічна промисловість, а також виробництво цементу. Він також включає автомобільний вантажний транспорт, судноплавство та авіацію [40,58–61]. Це всі сектори кінцевого використання, де вирішення проблеми інновацій для вдосконалення існуючих технологій, розробки проривів і серйозних змін є найбільш актуальним.

Для інтеграції технологій знадобиться інфраструктура. Це включатиме розумні зарядні мережі для електромобілів; нові транскордонні з'єднання електроенергії з низькими втратами; лінії електропередач надвисокої напруги – можливо підземні – для передачі величезної кількості електроенергії з

районів із багатими вітровими або сонячними ресурсами до центрів попиту; тепломережі; і стратегії управління сировиною біомаси. Без цієї інфраструктури комерціалізація та масове розгортання низьковуглецевих технологій для енергетичного переходу не відбудеться вчасно.

Поєднання різних видів енергетики також створює можливості для інтеграції чистих технологій. Прикладом є енергетичний і транспортний сектори за допомогою електромобілів. Сьогодні особливо цікаві можливості існують на перехресті ІКТ та енергетичних технологій, а також у сферах нових високоефективних матеріалів, нових складів батарей та інших викликів матеріалознавства [56].

2.3. Факторний аналіз впливу енергетичних ресурсів на економічний розвиток країни

Коріння екологічних проблем приховані глибоко в поведінці споживачів. З точки зору суспільного відтворення, трансформація моделей споживання доповнює методи економічного зростання. Оскільки споживання може безпосередньо негативно впливати на навколишнє середовище, воно також відіграє важливу роль у спрямуванні та просуванні промислового та економічного розвитку. Трансформація моделей споживання має важливе значення для зв'язку між живим споживанням і ресурсами навколишнього середовища. Соціальний розвиток і соціальне управління мають шукати баланс між покращенням екологічного середовища та покращенням рівня споживання та добробуту.

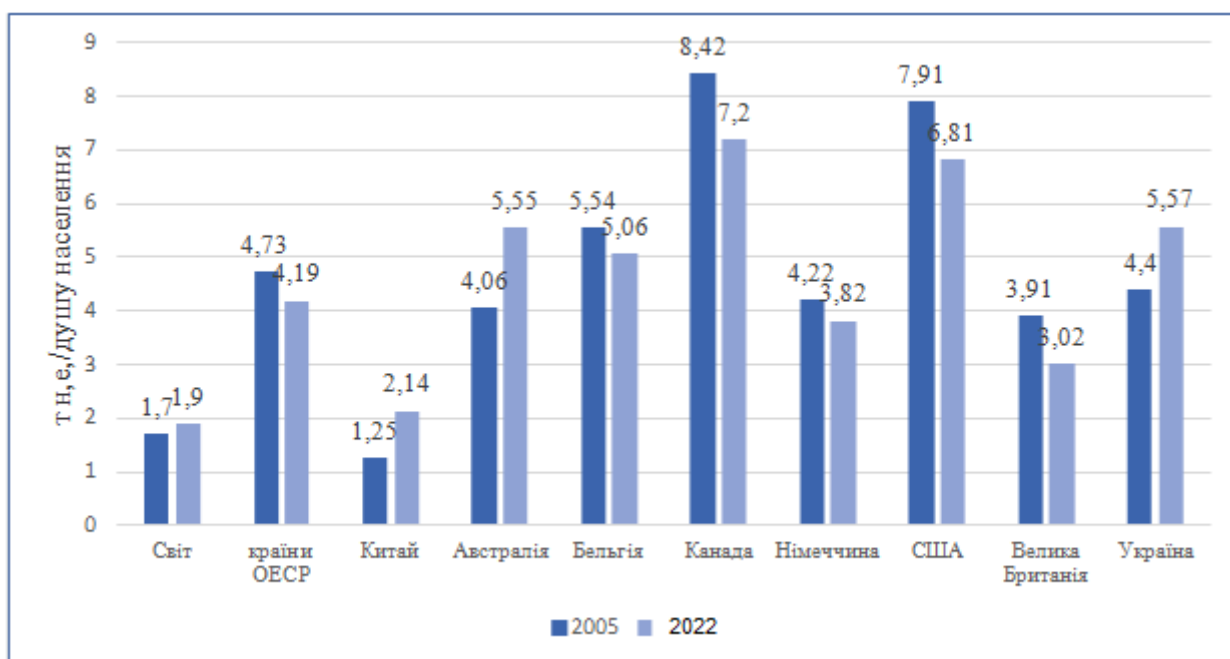


Рис. 2.13. Споживання енергоресурсів на душу населення в деяких країнах світу у 2005 та 2022 рр., т н.е.

Складено автором за матеріалами [26].

В умовах енергетичного переходу зміна показника енергоємності в масштабах світового господарства може стати одним із важливих індикаторів ефективності енергетичної системи, що забезпечує цей перехід.

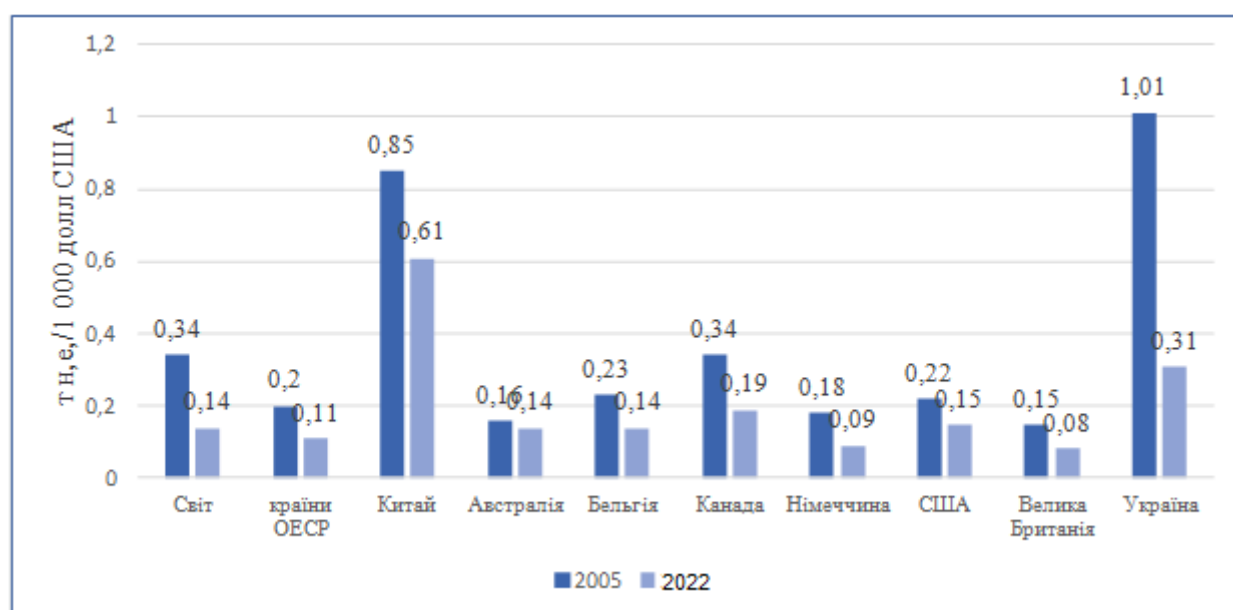


Рис. 2.14. Енергоємність ВВП деяких країн світу у 2005 та 2022 рр., т н.е./1 000 дол. США

Складено автором за матеріалами [26].

Проведений нижче аналіз впливає з потреби визначення тих чинників, що переконливо свідчать про взаємозв'язок енергетичних ресурсів і економічного розвитку країни. Для цього в якості результативних факторів використовувалися показники, такі як енергоємність ВВП, імпортна квота, споживання енергоресурсів на душу населення. Систему факторних ознак складали: ВВП на душу населення, енергоємність ВВП, виробництво енергоресурсів на душу населення, споживання ресурсів на душу населення, імпорт ресурсів на душу населення, виробництво промислової продукції на душу населення, експорт на душу населення.

За цими ознаками країни були розділені на дві групи, враховуючи ВВП на душу населення та енергоємність ВВП. Перша група включала країни з розвинутою економікою, де ВВП на душу населення перевищував 25000 дол.США, а енергоємність ВВП становила від 0,07 до 0,2 тонн на 1000 дол.США. Друга група включала країни з перехідною та розвиваючоюся економікою, де ВВП на душу населення коливався від 800 до 14000 дол.США, а енергоємність ВВП становила від 0,2 до 1,35 тонн на 1000 дол.США.

З урахуванням значної різноманітності країн у цій групі за всіма показниками та для забезпечення однорідності за окремими показниками, країни були поділені на дві підгрупи:

1. країни, де ВВП на душу населення становив від 5000 до 20000 дол.США, а енергоємність ВВП від 0,14 до 0,35 тонн на 1000 дол.США;
2. країни, де ВВП на душу населення становив від 700 до 5000 дол.США, а енергоємність ВВП від 0,4 до 1,5 тонн на 1000 дол.США.

Вхідні дані для побудови регресійних моделей наведено в таблицях (Додаток А).

У результаті аналізу кореляційних зв'язків розраховано коефіцієнти парної кореляції. Зафіксовані наступні взаємозв'язки між досліджуваними параметрами:

Між імпортною квотою, споживанням енергоресурсів на душу населення та виробництвом промислової продукції на душу населення спостерігається слабкий зворотний зв'язок.

Взаємозв'язок між імпортною квотою, енергоємністю ВВП та обсягами експорту на душу населення майже відсутній.

Помірна зворотна залежність виявлена між імпортною квотою та обсягами ВВП на душу населення, а також обсягами виробництва енергоресурсів на душу населення.

Досить тісний прямий зв'язок спостерігається між імпортною квотою та обсягами імпорту енергоресурсів на душу населення.

Зафіксований слабкий та практично відсутній зв'язок між вказаними показниками дозволяє виключити їх як несуттєві для подальшого аналізу.

Для виявлення парних залежностей між обсягом імпортової квоти та іншими факторами (ВВП на душу населення, обсягами виробництва енергоресурсів на душу населення, обсягами імпорту енергоресурсів на душу населення) були побудовані парні рівняння регресії як окремі випадки виявлення множинних зв'язків. Ці парні залежності дозволили виявити ізольовані зв'язки між імпортною квотою та розглянутими факторами.

Вихідні рівняння наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Рівняння регресії, що описують залежність між імпортною квотою і досліджуваними факторами

Фактори парних рівнянь	Рівняння регресії
ВВП на душу населення, дол. США	$y = 1,605 + \frac{85287,321}{x}$
Виробництво енергоресурсів на душу населення, т	$y = 0,018x^2 - 0,418x + 4,481$
Імпорт енергоресурсів на душу населення, дол.США	$y = 2,75\ln x - 16,91$

Розраховано автором.

За результати аналізу ми дійшли висновку, що в результаті зміни розміру ВВП на душу населення на 1 дол. США в групі розвинених країн імпортна квота змінюється на величину зворотню параметру a_1 , що дорівнюється 85287,321. Отже, при зростанні ВВП на 1000 дол.США імпортна квота зросте на 0,014%. Оцінка парних рівнянь регресії за основними статистичними критеріями представлена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Статистичні характеристики рівнянь регресії

Функція	Відносна помилка апроксимації	Критерій Дарбіна - Уотсона	Коефіцієнт детермінації	Критерій Фішера
ІК – ВВП	0,223	1,660	0,232	3,988
ІК – Виробництво	0,216	1,601	0,377	3,758
ІК - Імпорт	0,142	2,323	0,562	17,252

Розраховано автором.

У результаті проведення багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу нами побудовано багатофакторну регресійну модель, що має вигляд:

$$ІК = 3,88 - 0,00019 * ВВП - 0,015 * \text{Виробництво} + 0,003 \text{ Імпорт} \quad (2.1)$$

Отже, модель доводить прямий зв'язок між показниками імпортової квоти і обсягами ВВП та виробництвом енергоресурсів, та зворотній зв'язок між показниками імпортової квоти і обсягами імпорту енергоресурсів.

При збільшенні обсягів ВВП на 1000 дол. США імпортна квота зменшиться на 0,08%; при збільшенні обсягів виробництва енергоресурсів на душу населення на 1 тону імпортна квота зменшиться на 0,015%. Для оцінки відносної зміни результативної ознаки за виділеними факторами, розраховано коефіцієнт еластичності (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7

Коефіцієнти еластичності рівнянь регресії

Факторна ознака	Параметр в моделі	Середнє значення	Середнє значення результативної ознаки	Коефіцієнт еластичності
ВВП	-0,00019	38994,91	3,98	-0,95
Виробництво	-0,0035	5,76		-0,07
Імпорт	0,003	1419,98		0,75

Розраховано автором.

За результатами проведеного аналізу взаємозв'язку зазначених факторів і показника енергоємності ВВП можна зробити висновок:

- зв'язок практично відсутній між показником енергоємності ВВП й імпортом енергоресурсів/душу населення, виробництвом промислової продукції/душу населення й показником імпортової квоти;
- слабкий зворотній зв'язок між показником енергоємності ВВП, обсягом ВВП/ душу населення й показником обсягом експорту;
- помірний прямий зв'язок між показником енергоємності ВВП й обсягами виробництва енергоресурсів/душу населення;
- тісний прямий зв'язок між показником енергоємності ВВП й обсягами споживання енергоресурсів/душу населення (таблиця 2.8).

Таблиця 2.8

Рівняння регресії, що описують залежність між енергоємністю ВВП і досліджуваними факторами

У	Х	Парні коефіцієнти кореляції	Висновок щодо зв'язку	Рівняння регресії
Енергоємність ВВП, т/1000 дол. США	ВВП на душу населення, дол. США	-0,23	Слабкий, зворотній	-
	Виробництво енергоресурсів на душу населення, т	0,57	Помірний, прямий	$y = 0,00012x^2 + 0,016x + 0,116$
	Споживання ресурсів на душу населення, т	0,82	Тісний, прямий	$y = 0,013x^2 + 0,026x + 0,33$
	Імпорт енергоресурсів на	-0,04	Практично відсутній	-

	душу населення,долл.США			
	Виробництво промислової продукції, дол. США	-0,04	Практично відсутній	-
	Експорт на душу населення,дол.США	-0,26	Слабкий, зворотній	-
	Імпортна квота, %	0,05	Практично відсутній	-

Розраховано автором.

Розрахунки демонструють слабкий або практично відсутній зв'язок між результативною ознакою та вищевказаними п'ятьма показниками, що дозволяє виключити ці фактори з подальшого аналізу як несуттєві.

За результатами аналізу побудовано багатофакторну регресійну модель для споживання, яка має такий вигляд:

$$\text{Споживання} = 0,759 + 0,226 \cdot \text{Вир} + 27,835 \cdot \text{Ен} \quad (2.2)$$

Таблиця 2.9

Рівняння регресії, що описують залежність між споживанням енергоресурсів і досліджуваними факторами

У	Х	Парні коефіцієнти кореляції	Висновок щодо зв'язку	Рівняння регресії
Споживання енергоресурсів, т/1000 дол. США	ВВП на душу населення, долл США	0,34	Слабкий прямий	-
	Виробництво енергоресурсів на душу населення,т	0,67	Помірний прямий	$y = 0,045x^2 + 0,842x + 2,823$
	Імпорт енергоресурсів на душу населення,дол.США	0,13	Практично відсутній	
	Енергоємність ВВП, т/1000 дол. США	0,82	Тісний прямий	$y = 0,004x^2 + 0,017x + 0,13$
	Виробництво промислової продукції, дол США	0,42	Слабкий прямий	-
	Експорт на душу населення,дол.США	0,05	Практично відсутній	-
	Імпортна квота, %	-0,19	Слабкий зворотній	-

Розраховано автором.

Таблиця 2.10

Статистичні характеристики рівнянь регресії

Функція	Відносна помилка апроксимації	Критерій Дарбіна - Уотсона	Коефіцієнт детермінації	Критерій Фішера
Споживання - виробництво	15,0	2,049	0,586	9,148
Споживання - енергоємність	15,4	2,487	0,736	18,007

Розраховано автором.

Розраховані для одержаної моделі статистичні характеристики констатують статистичну надійність і відображення сучасних тенденцій на світовому ринку. Коефіцієнт детермінації в рівнянні регресії дорівнює 0,744 показує, що варіація споживання енергоресурсів на душу населення на 74,4% пояснюється впливом включених в модель факторів, а інші 25,6% - це вплив факторів, що не врахованих в моделі.

Таблиця 2.11

Коефіцієнти еластичності рівнянь регресії

Факторна ознака	Параметр в моделі	Середнє значення	Середнє значення результативної ознаки	Коефіцієнт еластичності
Виробництво	0,126	5,97	4,79	0,17
Енергоємність	27,728	0,14		0,76

Розраховано автором.

Узагальнюючи отримані результати аналізу, можна зробити висновок, що для визначення пріоритетних напрямків розвитку та формування стратегій енергетичної безпеки в кожній групі країн були виявлені два ключові моніторингові показники, що мають відображати вплив енергетичних ресурсів на національний економічний розвиток, а саме, енергоємність ВВП та споживання енергоресурсів на душу населення.

Отже, отримано модель, що визначає залежність енергоємності ВВП від індикаторів впливу енергетичних ресурсів на економічний розвиток країни, і ця модель має стандартизований формат:

$$t_y = -0,27t_{x_1} + 0,58t_{x_2} + 0,83t_{x_3} - 0,06t_{x_4} - 0,05t_{x_5} - 0,26t_{x_6} + 0,05t_{x_7} \quad (2.4)$$

І отримано стандартизовану модель залежності споживання енергоресурсів від індикаторів впливу енергетичних ресурсів на економічний розвиток країни:

$$t_y = 0,33t_{x_1} + 0,68t_{x_2} + 0,83t_{x_3} + 0,33t_{x_4} + 0,14t_{x_5} + 0,04t_{x_6} - 0,18t_{x_7} \quad (2.5)$$

Таблиця 2.12

Зіставлення рангів факторів моделі

Вплив на енергоємність ВВП		
	Стандартизовані коефіцієнти	Ранг фактора
ВВП/душу населення, дол. США	-0,28	7
виробництво енергоресурсів/ душу населення,т	0,58	2
споживання енергоресурсів/душу населення,т	0,83	1
імпорт енергоресурсів на душу населення, дол. США	-0,06	5
виробництво промислової продукції на душу населення, дол. США	-0,05	4
експорт енергоресурсів на душу населення, дол. США	-0,27	6
імпортна квота енергетичних ресурсів, %	0,06	3
Вплив на споживання енергоресурсів на душу населення		
ВВП/душу населення, дол. США	0,33	4
виробництво енергоресурсів/ душу населення,т	0,68	2
енергоємність ВВП, т/1000 дол. США	0,81	1
імпорт енергоресурсів на душу населення, дол. США	0,14	5
виробництво промислової продукції на душу населення, дол. США	0,43	3
експорт енергоресурсів на душу населення, дол. США	0,04	6
імпортна квота енергетичних ресурсів, %	-0,18	7

Розраховано автором.

На основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що енергетичний ринок країн з різним рівнем розвитку та споживання енергоресурсів істотно впливає на результативні фактори. Зокрема, у промислово розвинених країн-імпортерів енергетичних ресурсів зміни у таких факторах, як імпортна квота, пов'язані із змінами в ВВП, виробництві енергоресурсів на душу населення та імпорті енергетичних ресурсів. У країнах із середнім рівнем доходу таку ж результативну ознаку впливають інші фактори, такі як споживання енергоресурсів, імпорт та експорт на душу населення. У країнах з низьким рівнем доходу імпортна квота змінюється під впливом виробництва власних енергоресурсів, обсягів імпорту енергетичної сировини та енергоємності ВВП.

Щодо енергоємності ВВП, за результатами дослідження встановлено, що країни з високим рівнем доходу асоціюють зміни цього показника із змінами виробництва та споживання енергоресурсів на душу населення. Енергоємність ВВП у цій групі країн залежить від змін виробництва, споживання енергоресурсів на душу населення та сукупного експорту продукції. Зміни енергоємності ВВП у розмірі 33% країн з низьким рівнем доходу пояснюються зміною обсягів імпорту енергоресурсів.

Висновки дослідження підтверджують, що споживання енергоресурсів на душу населення є результативною ознакою, яка змінюється під впливом різних факторів у розвинених, країнах із середнім рівнем доходу та країнах із низьким рівнем доходу. Це вказує на необхідність вдосконалення організаційно-економічних підходів для формування політики енергетичної безпеки країн, враховуючи вплив екзогенних та ендегенних факторів.

Висновки до другого розділу

1. На основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що енергетичний ринок країн з різним рівнем розвитку та споживання

енергоресурсів істотно впливає на результативні фактори. Зокрема, у промислово розвинених країн-імпортерів енергетичних ресурсів зміни у таких факторах, як імпортна квота, пов'язані із змінами в ВВП, виробництві енергоресурсів на душу населення та імпорті енергетичних ресурсів. У країнах із середнім рівнем доходу таку ж результативну ознаку впливають інші фактори, такі як споживання енергоресурсів, імпорт та експорт на душу населення. У країнах з низьким рівнем доходу імпортна квота змінюється під впливом виробництва власних енергоресурсів, обсягів імпорту енергетичної сировини та енергоємності ВВП.

2. Щодо енергоємності ВВП, за результатами дослідження встановлено, що країни з високим рівнем доходу асоціюють зміни цього показника із змінами виробництва та споживання енергоресурсів на душу населення. Енергоємність ВВП у цій групі країн залежить від змін виробництва, споживання енергоресурсів на душу населення та сукупного експорту продукції. Зміни енергоємності ВВП у розмірі 33% країн з низьким рівнем доходу пояснюються зміною обсягів імпорту енергоресурсів.

3. Висновки дослідження підтверджують, що споживання енергоресурсів на душу населення є результативною ознакою, яка змінюється під впливом різних факторів у розвинених, країнах із середнім рівнем доходу та країнах із низьким рівнем доходу. Це вказує на необхідність вдосконалення організаційно-економічних підходів для формування політики енергетичної безпеки країн, враховуючи вплив екзогенних та ендегенних факторів.

РОЗДІЛ 3. ІННОВАЦІЇ ЯК ІМПУЛЬС ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ НА СВІТОВОМУ РИНКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

3.1. Стратегічні напрямки впровадження інноваційних систем на світовому ринку альтернативних джерел енергії

Протягом останніх років більшість країн прийняли важливі заходи у напрямку створення низьковуглецевого майбутнього та висунули нові амбітні цілі. Передове рухання до низьковуглецевої економіки базується, насамперед, на обмеженні та забороні використання вугільних палив, зменшенні споживання енергії завдяки енергозберігаючим технологіям і широкому державному підтримці нових джерел відновлювальної енергії (НВДЕ) як з боку пропозиції, так і з боку попиту.

Найбільш яскравий приклад цього тенденції можна відзначити в електроенергетиці, де країни поетапно припиняють використання вугільного палива, активно впроваджують енергоефективні технології для електроустаткування та сприяють розвитку нових джерел відновлювальної енергії. Щодо попиту на ВДЕ, його підтримують два основних механізми: довгострокові тарифи та обов'язковий прийом всієї виробленої ВДЕ електроенергії в загальну енергосистему. З точки зору пропозиції, держава надає податкові пільги, гранти та субсидії генеруючим компаніям та домогосподарствам.

Обсяг встановлених потужностей НВДЕ по всьому світу, за даними IRENA (Міжнародне агентство з відновлювальної енергії), постійно зростає (рис. 3.1). Наприкінці 2021 року обсяг сонячної генерації склав 862 ГВт, а вітрової - 827 ГВт. За прогнозами на 2050 рік встановлена потужність ВДЕ може збільшитися вдесятеро.

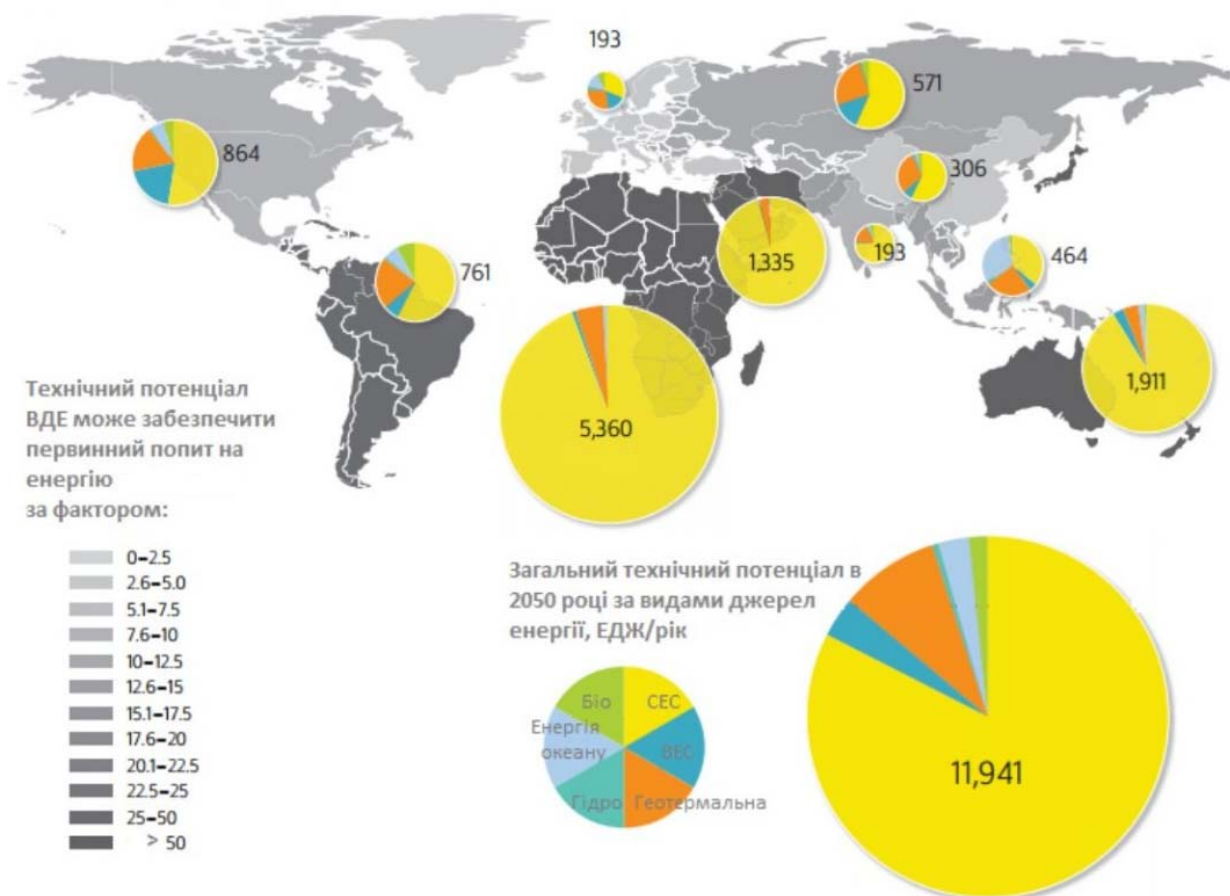


Рис. 3.1. Загальний технічний потенціал ВДЕ у країнах світу у 2019 р. та прогнозований у 2050 р., Едж/ рік [55]

На міжнародному рівні вирішальним кроком щодо виключення вугілля з глобального паливно-енергетичного балансу стало прийняття рішення на саміті G-20 у Піттсбурзі у 2009 році, де найбільші країни взяли на себе зобов'язання щодо скорочення субсидій для видобутку копалин [2]. До 2020 року розвинуті країни, насамперед, припинили субсидування споживання вугілля [9].

Поворот у сфері енергетичної політики також включав суворе посилення вимог до зменшення викидів оксидів сірки, азоту, ртуті та дрібнодисперсних частинок вугільними електростанціями. Діюча директива ЄС "EU Large Combustion Plant Directive 2001" призвела до закриття експлуатації 205

установок у країнах ЄС. У Великій Британії було закрито 15% всіх потужностей в електроенергетиці, в Польщі – 32%, в Румунії – 22%, в Іспанії – 10%, в Франції – 5% [4]. Аналогічні обмеження були введені у всіх розвинених країнах та Китаї [3]. Деякі країни, такі як Канада та Великобританія, встановили стелю викидів CO₂ для нових вугільних електростанцій на рівні, що забороняє їх введення в експлуатацію.

Проте екологічні вимоги можуть бути використані не лише для закриття вугільних електростанцій, а й для їх модернізації та підтримки національного машинобудування, а також для прискорення впровадження потужностей відновлювальної енергії. У Китаї вимоги до викидів оксидів сірки, азоту, ртуті та дрібнодисперсних частинок для нових вугільних електростанцій виявилися вищими, ніж у ЄС та США (вони діють у Східному Китаї з 2017 року, у Центральному Китаї - з 2018 року, по всій країні - з 2020 року). Це призвело до масового закриття застарілих електростанцій та будівництва нових вискоєфективних електростанцій, які використовують критичні та ультра-надкритичні параметри пари. Китай, разом із Японією, лідирує в розробці таких технологій. Згідно з угодою між міністерством енергетики, торгівлі та промисловості та міністерством екології в Японії, дозволяється будувати тільки кращі з доступних вугільних електростанцій (з ультра-надкритичними параметрами пари), а енергетичні компанії взяли на себе зобов'язання досягти до 2030 року мінімального ККД (Коефіцієнта корисної дії) електростанцій на рівні 44,3%. У США Верховний суд у 2018 році дозволив вугільним компаніям виконувати вимоги щодо зменшення викидів шляхом будівництва нових об'єктів відновлювальної енергії.

Вугільні електростанції можуть не припиняти свою роботу одразу, а переходити в спеціальний резерв. Німецький уряд для компенсації інвестицій у вугільну генерацію прийняв у 2016 році Закон про подальший розвиток ринку електроенергії, який передбачає створення, окрім звичайного резерву потужності, ще "резерву на крайній випадок" (last resort reserve), в який можуть потрапити лише вугільні електростанції на чотири роки перед

закриттям. У 2019 році було вилучено 2,7 ГВт потужностей за 1,6 млрд. євро [12].

Закриття вугільної генерації може відбуватися за директивою. У Китаї, після передачі у 2014 році права на видачу дозволів на будівництво вугільних установок місцевій владі, найбільші міські об'єднання припиняють вугільну генерацію на своїй території, як, наприклад, Пекін [5,6], або обмежують продаж вугілля [7]. Оскільки державні мережеві компанії повинні укласти контракти на всю вугільну генерацію, влада регіонів з видобутку вугілля зацікавлена в будівництві електростанцій навіть при низькій їх завантаженості. Таким чином, уряд часто втручається безпосередньо і забороняє будівництво електростанцій. Наприклад, у 2017 році Національна енергетична адміністрація скасувала 103 проекти загальною потужністю 120 ГВт [15].

Обмеження використання вугільних потужностей може бути закріплене на законодавчому рівні, як це сталося в Нідерландах, де була встановлена стеля на рівні 35%.

У 2021 році на конференції в Глазго 40 країн, включаючи ті, де діє велика вугільна генерація (Польща, Індонезія, Південна Корея, В'єтнам та Україна), взяли на себе зобов'язання не будувати нові вугільні електростанції та закрити існуючі до 2040 року [11].

В сучасних умовах з'являються нові бізнес-моделі, особливо пов'язані з ринками електроенергії. Це і віртуальні електростанції, агрегатори послуг зберігання електроенергії. Їх потрібно поєднувати з новими ринковими дизайнами з більш точним ціноутворенням для споживачів у часі та місці використання, новими операційними практиками та новими технологіями інтелектуальних мереж (рис. 3.2).

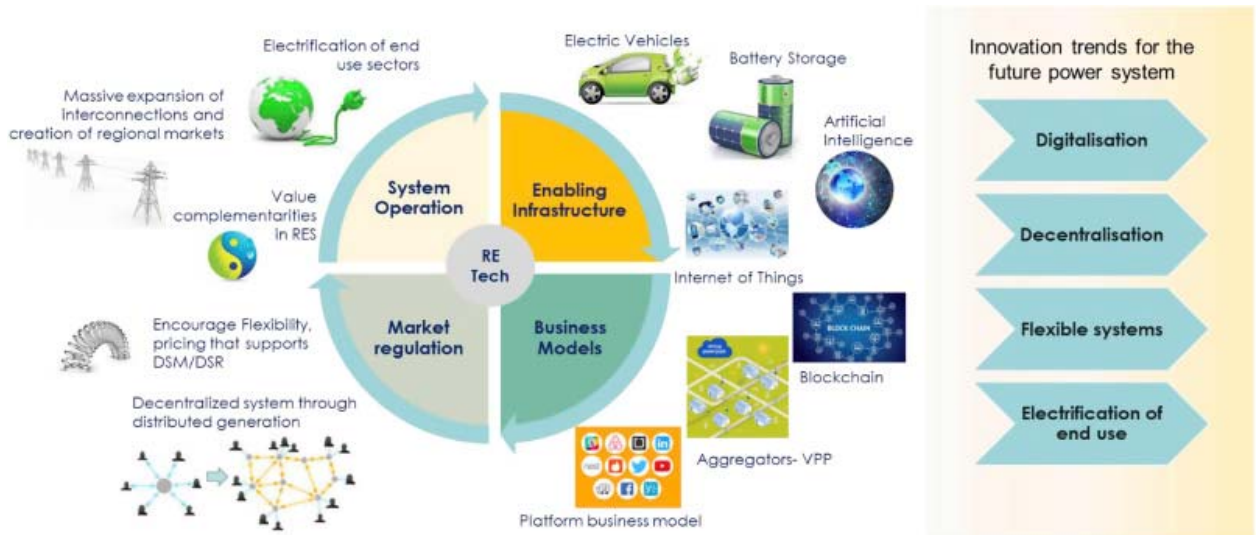


Рис. 3.2. Нові інноваційні технології для систем живлення [67]

Було визначено близько тридцяти типів інновацій, які охоплюють кілька сотень окремих випадків. Найуспішніші кейси зазвичай розгортають декілька інновацій одночасно [67]. Зрештою вигоди від енергетичного переходу значно перевищуватимуть витрати, але сьогоднішні ринки сильно спотворені на користь існуючих компаній. Цей перехід залежатиме від створення правильних політичних сигналів. Це включає усунення ринкових деформацій, а також посилення підтримки інновацій і технологій. Для тих галузей кінцевого використання, які не мають комерційно доступних чітких технологічних рішень, необхідні фундаментальні наукові дослідження та інженерні зусилля.

Інновації потребують фінансування; і протягом останніх семи років державні та корпоративні інвестиції в дослідження та розробки технологій чистої енергії (НДДКР) залишалися на місці. У той час як обсяги інвестицій у відновлювані джерела енергії зросли приблизно до 300 мільярдів доларів США на рік, витрати на дослідження та розробки чистої енергії становлять 10 мільярдів доларів США на рік. 3% інвестицій у дослідження та розробки є значно нижчим за інші інноваційні сектори, такі як ІКТ та виробництво автомобілів. Додаткові зусилля з досліджень і розробок призведуть до додаткових технологічних рішень з низьким вмістом вуглецю, ще більше

знижать витрати на технології та, таким чином, зменшати загальні витрати на енергетичний перехід. Сьогодні більшість інвестицій у дослідження та розробки спрямовується в енергетичний сектор (наприклад, сонячну та вітрову енергію), а не в технології кінцевого використання, такі як біоенергетика та сонячна теплова енергетика, де актуальність є більшою.

Інновації можна посилити завдяки глобальній співпраці. Нещодавні міжнародні ініціативи були створені з метою сприяння науково-дослідним розробкам та інноваціям для екологічно чистих енергетичних технологій, зокрема Clean Energy Ministerial, Breakthrough Energy Coalition та Mission Innovation, міжнародна ініціатива, оголошена на COP21, яка встановлює ціль подвоєння державних інвестицій у R&D у чисті енергетичні технології [68]. Ці ініціативи базуються на кластерах пріоритетних сфер, які мають відношення до прискорення плану енергетичного переходу, викладеного в цьому документі.

Місія Innovation на сьогодні визначила вісім завдань. Розумні електромережі, стійке біопаливо, опалення та охолодження поза мережею, а також відновлюваний і чистий водень – усе це безпосередньо стосується основних потреб у розгортанні технологій, визначених у REmap.

Конверсія прямих сонячних променів, матеріали – це дві інші постійні проблеми. На сьогоднішній день зусилля в основному спрямовані на обмін інформацією, але почали з'являтися деякі програми двостороннього співробітництва, а державні бюджети на дослідження та розробки зросли в країнах-учасниках.

Енергетичний перехід вимагатиме цілісного інноваційного підходу, адаптованого до потреб кожної технології відновлюваної енергетики та енергоефективності, оскільки в усіх секторах енергетичної системи знадобиться широкий спектр підходів. Хоча прагнення збільшити інвестиції в науково-дослідні розробки для технологій з низьким вмістом вуглецю приносить користь енергетичному переходу, більше уваги можна приділяти моніторингу та перевірці того, що ці інвестиції мають бажаний вплив, а

бюджети та пріоритети науково-дослідних розробок залежать від впливу. Хоча багато інноваційних рішень існує в лабораторних або пілотних масштабах, підвищення масштабу економічно життєздатних надійних рішень часто залишається проблемою.

Уряди відіграють важливу роль на ранніх етапах цього переходу, оскільки цим рішенням важко досягти масштабу та знизитися на кривій витрат на навчання. Крім того, виклик інновацій виходить за рамки традиційних державних досліджень і розробок у сфері енергетики. Сектори з найменшим прогресом в інноваціях для декарбонізації, такі як важка промисловість, а також вантажний транспорт і авіація, це ті, де відсутні належні політичні стимули та довгострокові перспективи [61]. Цю проблему неможливо вирішити шляхом збільшення інвестицій у дослідження та розробки. Інновації також передбачають фундаментальне переосмислення виробничих процесів і енергетичних технологій, необхідних для енергетичного переходу. Хоча існують додаткові рішення, такі як використання CCS для викидів димової труби, ці підходи обмежені у своїй сфері застосування, і в доступному для огляду майбутньому вони збільшать витрати на енергетичний перехід.

Все більше індикаторів вказують на прискорення енергетичного переходу, який може мати серйозні наслідки для пропозиції та попиту на енергію в найближчі десятиліття. Як показує аналіз, відбуваються швидкі інновації, які полегшують постійний перехід через падіння вартості відновлюваних технологій, а також сприятливих технологій, таких як батареї. Разом із новими політичними імперативами, інновації посилюють імпульс енергетичного переходу. Оскільки технологічні вдосконалення є постійними, вони зменшують ризик нестабільності політики. Прогрес сонячних і вітрових технологій є яскравим прикладом того, що майбутнє можна спрямувати в певному напрямку за допомогою технологічної політики. Частка відновлюваної енергії може зрости до 63% від загального обсягу первинного енергопостачання у 2050 році. Таке зростання використання відновлюваних

джерел енергії в поєднанні з вищою енергоефективністю може забезпечити 94% скорочення викидів, необхідного для того, щоб залишатися в межах Паризької кліматичної угоди.

Незважаючи на те, що абсолютні цифри різняться, останні дослідження сценаріїв сходяться на тому, що відновлювана енергетика та енергоефективність є найбільш можливим напрямком для досягнення кліматичних цілей. Політичні рішення щодо прискорення енергетичного переходу повинні бути узгоджені з розвитком сприятливої інфраструктури. Планування інфраструктури на ранній стадії матиме першорядне значення через ефект блокування викидів вуглецю через тривалий термін служби та інерцію.

Потрібно більше уваги приділяти виникаючим питанням інфраструктури, таким як розумне заряджання електромобілів, посилення розподільної мережі та роль зміни попиту та розумних мереж.

Фінансування потужностей з виробництва електроенергії та інфраструктури також матиме вирішальне значення через ретельно розроблену політику, яка створює надійне, передбачуване та прозоре інвестиційне середовище. Необхідно мобілізувати ресурси державного та приватного секторів і розробити інноваційні моделі фінансування, які можуть зменшити інвестиційні ризики. Однак швидкість енергетичного переходу не співмірна з узгодженими цілями сталого розвитку.

Дослідження сценаріїв свідчать про те, що особливо для відновлюваної енергії потрібні додаткові зусилля. Для зростання відновлюваних джерел енергії потрібне шестикратне прискорення порівняно зі звичайним бізнесом. Вітер, сонячна фотоелектрична енергія, сучасна біоенергетика та сонячна теплова енергетика можуть сприяти основному зростанню відновлюваних джерел енергії з боку пропозиції. Більша енергоефективність стримує зростання попиту і, отже, сприяє приблизно чверті загального зростання частки відновлюваних джерел енергії в загальному кінцевому споживанні енергії. У той же час 20–44% підвищення енергоємності можна пояснити

зростанням відновлюваної енергії. Ці цифри вказують на те, що існує важлива синергія між вищою енергоефективністю та більшою часткою відновлюваної енергії, тому обидва рішення слід шукати спільно.

У 2050 році відновлювана енергетика становитиме 58% від загального обсягу використання відновлюваних джерел енергії. Змінна відновлювана енергетика становитиме 60% від загального виробництва електроенергії, порівняно з приблизно 10% сьогодні. Такі високі частки змінного відновлюваного виробництва електроенергії вимагають зміни парадигми в енергетичному секторі.

Передовий досвід провідних країн показує, що такі системи можна успішно експлуатувати, хоча й потрібні зміни. Необхідна гнучкість систем може бути мобілізована лише за допомогою системного підходу, який мобілізує всі типи інновацій. Технологічні інновації повинні поєднуватися з новими ринковими моделями та бізнес-моделями, які базуються на характеристиках нових технологій. У певних секторах кінцевого використання знадобляться нові масштабовані та доступні рішення. З'єднання секторів, зокрема індивідуальна електрифікація секторів кінцевого споживання, відіграватиме дедалі важливішу роль. Частка електроенергії в кінцевому споживанні енергії збільшиться більш ніж удвічі до рівня 40–50%. Завдяки високій ефективності використання електроенергії частка корисної енергії ще більша. Електромобілі є яскравим прикладом такого переходу, який має глибокий вплив на спосіб організації транспорту та всі його наслідки для розвитку. Частка електроенергії або похідних електроенергії, таких як водень, має суттєво зрости в кінцевому споживанні енергії будівлями, промисловістю та транспортом.

Значна частина проблем транспорту та промисловості значною мірою ігнорується в поточних міжнародних дебатах. Залишається значна невизначеність, які рішення переважатимуть. Потенціал цього енергетичного переходу ще не повністю оцінений багатьма особами, які приймають рішення, та аналітиками. Проте це має вирішальне значення для досягнення

багатьох цілей сталого розвитку та пропонує перспективу справедливого та чесного зростання, яке призведе до 27 трильйонів доларів США додаткових інвестицій до 2050 року, зростання ВВП на 1%, збільшення робочих місць на 0,15% та екологічні переваги, які є карликовими. підвищена вартість. Соціально-економічні вигоди є суттєвими та забезпечують серйозне політичне обґрунтування.

3.2. Перспективи розвитку ринку альтернативних джерел енергії в Україні

Протягом перших двох десятиліть двадцятого століття відбувалося інтенсивне впровадження в експлуатацію нетрадиційних джерел відновлюваної енергії, таких як вітроенергетика та сонячні електростанції [1, 2]. У 2021 році виникли певні труднощі у роботі цих нетрадиційних джерел енергії, зокрема, великі аварії вітроенергетичних установок на півдні США взимку 2021 року та енергетичні проблеми в деяких країнах Європи, що охарактеризували як енергетичну кризу [3, 4]. Також відзначалося зростання цін на електроенергію в країнах Європи, які активно використовують нетрадиційні джерела енергії [5, 6].

Енергетична криза 2021 року в Європі була обумовлена кількома об'єктивними причинами. Однак головною з них є передчасне виведення з експлуатації ряду теплових та атомних електростанцій (або окремих блоків таких станцій). Втрати у виробництві електроенергії, що були забезпечені такими станціями, не вдалося відновити внаслідок введення в експлуатацію вітрогенераторів та сонячних електростанцій. Однак важливо проаналізувати складні процеси заміни традиційної генерації (телові та атомні електростанції) в європейських країнах і Україні зокрема на нетрадиційну (вітрогенератори та сонячні електростанції) протягом наступних 20 років.

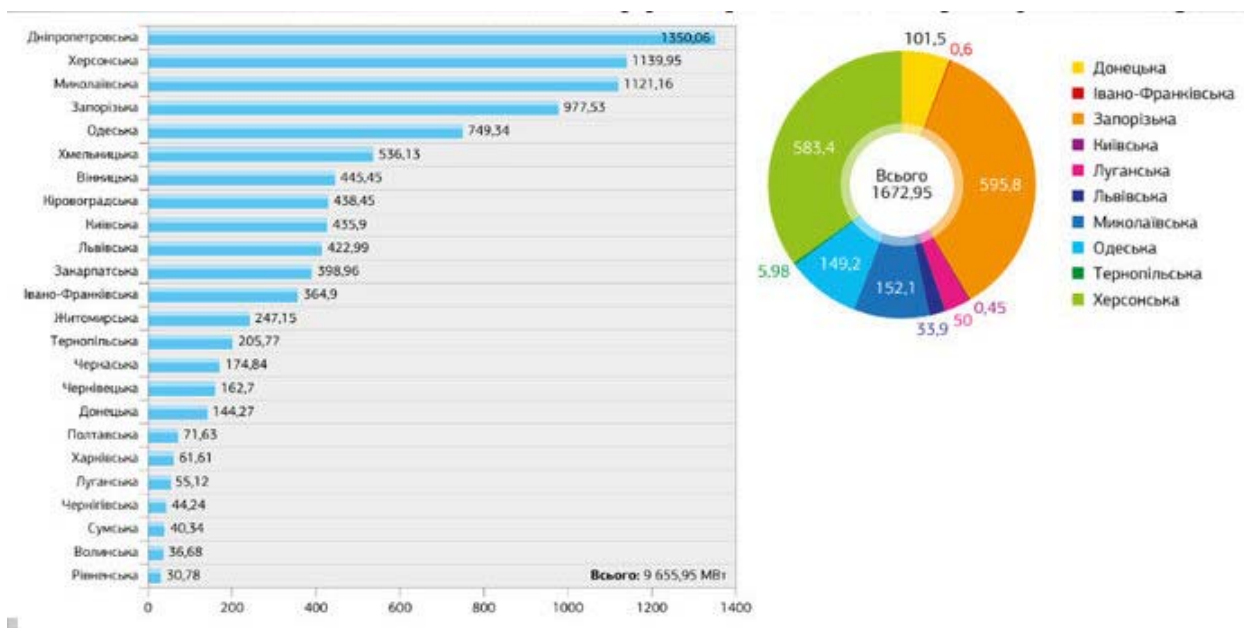


Рис. 3.1. Сектор відновлювальної енергетики в Україні у 2022-2023 рр. [96]

Важливо врахувати, що енергетика, обробна промисловість, транспорт та житлово-комунальне господарство є найбільш енергоємними секторами економіки (рис. 3.2). Зростання енергоефективності може бути досягнуте за допомогою впровадження передових технологій, таких як парогазові установки, установки комбінованого вироблення електроенергії та тепла, електрифікація та газифікація транспорту, енергоефективні конструкції будівель та теплоізоляційні матеріали, регульовані приводи, енергоефективні світильники та системи управління освітленням, а також сучасні засоби обліку енергоспоживання [4, 5].

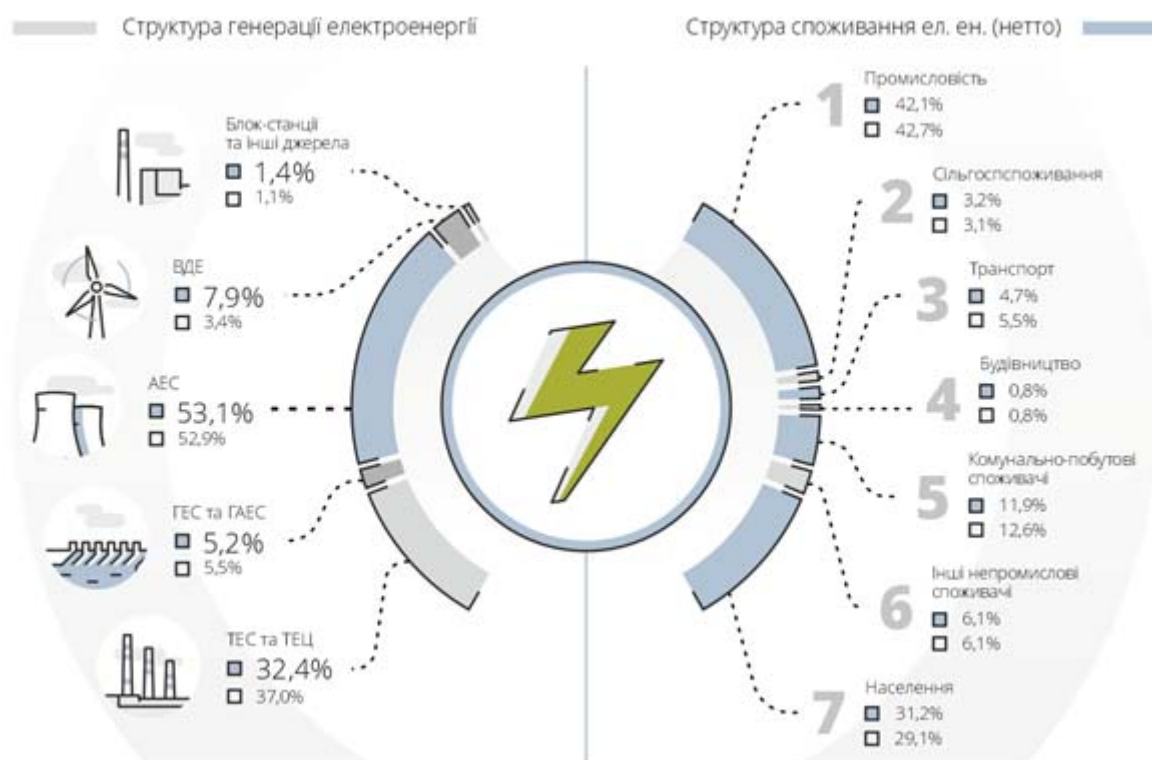


Рис. 3.2. Структура генерації і споживання електроенергії в Україні у 2020-2022 рр., % [96]

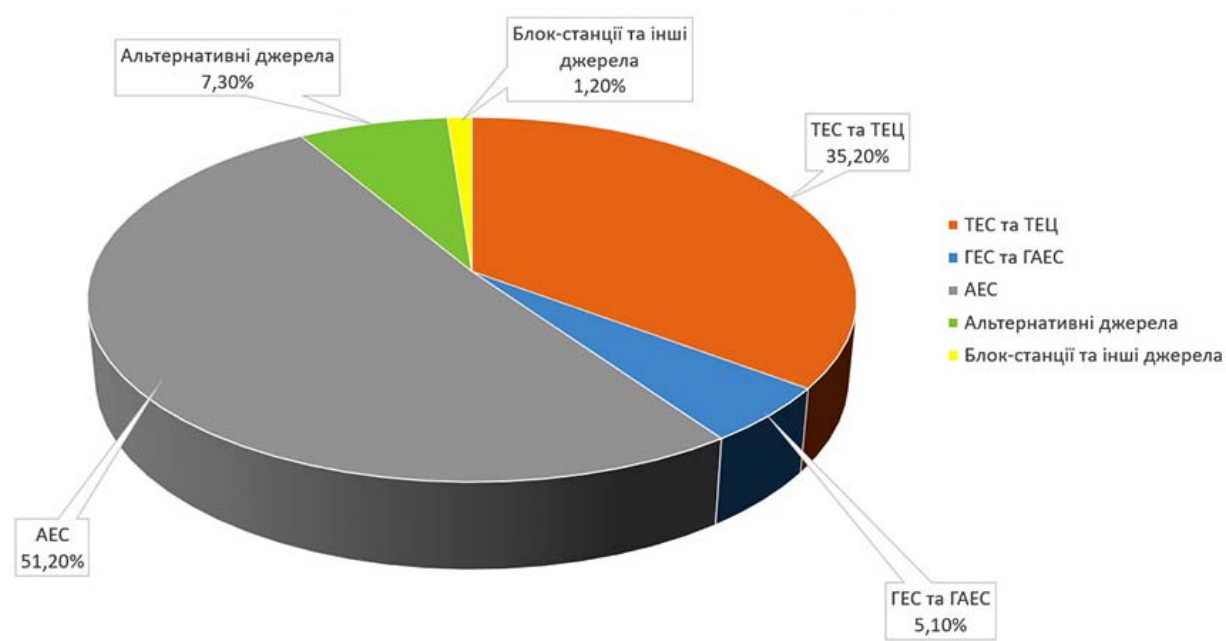


Рис. 3.3. Структура виробництва електроенергії в Україні у 2022 р. [96]

Без сумніву, в Україні виконання стратегії щодо енергозбереження та підвищення енергоефективності в промисловому та побутовому секторах не може відбуватися без активної підтримки держави. Ключовою метою державної політики в цьому напрямку є раціональне використання енергетичних ресурсів, що базується на стимулюванні інтересів споживачів у їхніх енергозбереженнях, а також підвищенні енергоефективності в економічних галузях та збільшенні обсягів інвестицій у цей напрямок. Закон про енергозбереження та енергоефективність, а також Енергетична стратегія України слугують інструментами державної політики для реалізації цих завдань.

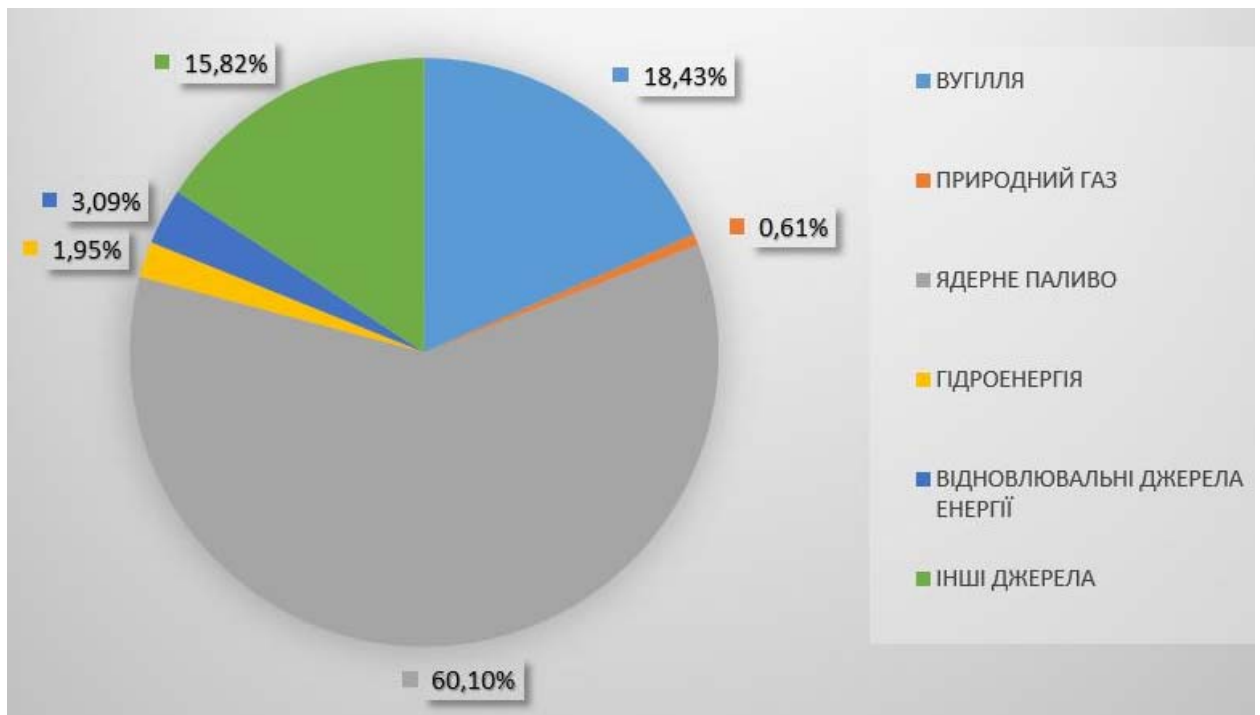


Рис. 3.4. Частка кожного джерела енергії, яка була використана у загальній структурі балансу купленої електричної енергії за 2022 рік [96]

Закон призначений для встановлення юридичних, економічних та організаційних засад, спрямованих на стимулювання процесів енергозбереження та підвищення енергоефективності. Однак результати

виконання положень цього закону та інших нормативно-правових актів не свідчать про значні успіхи у вказаній сфері.

Протягом останніх чотирьох років інтенсивність енергоспоживання на одиницю валового внутрішнього продукту (ВВП) в Україні залишається на незмінному рівні. На кінець 2019 року цей показник перевищує світовий стандарт на 46%.

Загальний обсяг інвестицій у сферу енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності залишається недостатнім, становлячи лише 0,2% від загального валового внутрішнього продукту у 2022 році. Крім того, частка приватних інвестицій щорічно зменшується. Рівень використання сучасних технологій в галузі енергозбереження залишається низьким, складаючи лише 27%.

Отримані результати вказують на необхідність коригування заходів, спрямованих на впровадження державної політики з енергозбереження та підвищення енергоефективності. Реалізація потенціалу енергоефективності в Україні має потенціал суттєвого зменшення використання вугільного палива, можливо, навіть збільшення обсягу енергоресурсів для експорту. Це також сприятиме зміні структури використання енергії на користь низьковуглецевих технологій, а також допоможе зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та покращити якість життя.

Незважаючи на недостатню реалізацію енергоефективної політики на рівні країни в цілому, важливо відзначити, що деяким компаніям вдалося досягти позитивних результатів на корпоративному рівні. Для подальшого розвитку сфери енергоефективності в Україні необхідно проводити дослідження з впровадження енергозберігаючих технологій та методів підвищення енергетичної ефективності, враховуючи місцевий клімат та особливості промислових та житлових об'єктів країни. При цьому важливо використовувати успішний зарубіжний досвід адаптації до українських умов.

На даний момент ситуація у світовому енергетичному секторі ускладнюється світовою економічною кризою, спричиненою військовою агресією РФ проти України. Криза викликала обвал цін на нафтовому ринку та наднизькі ціни на газовому, тимчасову зупинку низки великих проєктів, скорочення інвестиційних програм в енергетичному секторі, високу невизначеність на ринку праці працівників ПЕК. [12]

Посткризовий період, загрожуючи продовженням зниження інвестиційної та інноваційної активності, відкриває вікно можливостей для повноцінного використання потенціалу енергоефективності, розвитку конкурентного середовища між постачальниками та споживачами енергоресурсів, розробки та впровадження енергоефективних (зокрема низьковуглецевих технологій).

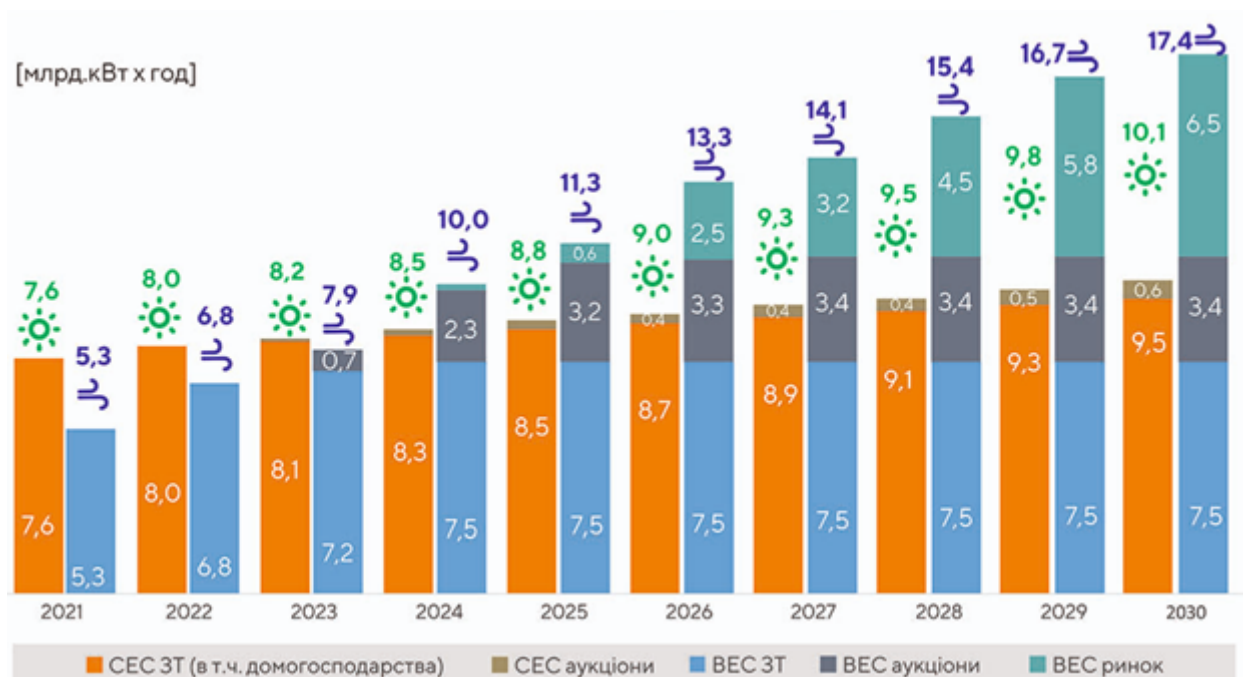


Рис. 3.5. Динаміка сегменту альтернативної енергетики в Україні, 2021-2030 (прогноз) рр., [96]

У сучасних умовах, які стикаються вітчизняні підприємства, а також у зв'язку із зростанням вимог законодавства щодо енергоефективності та енергозбереження, велике значення має комплекс нормативів, спрямованих на підвищення енергоефективності будівель, споруд, майнових комплексів.

Додатково, важливим елементом є державні програми, спрямовані на стимулювання енергоефективності та зменшення енергоспоживання.

Останні наукові дослідження свідчать про те, що вітчизняне законодавство не відповідає всім необхідним стандартам, які ставляться до сучасних енергоефективних господарських комплексів, будівель та установ.

Виробничі процеси еволюціонують, і все більше впроваджується технологічне обладнання, яке використовує менше енергії та має менший вплив на довкілля. Поступово зменшується участь людини в технологічних процесах, що призводить до зменшення "людського фактора", який може впливати на дослідження з енергозбереження.

Загальновизнано, що адаптація іноземного досвіду вважається позитивним фактором, який може спростити та прискорити впровадження енергозберігаючих технологій та методів підвищення енергетичної ефективності. Деякі науковці в галузі енергозбереження вважають, що використання зарубіжного досвіду, зокрема американського, може суттєво змінити економіку України та привести до значного збереження енергоресурсів, перевищуючи 40%.

У зазначених умовах важливо враховувати, що копіювання "передового" досвіду виявляється неможливим через ряд факторів, таких як низька продуктивність праці, відсталість систем управління виробничими процесами, застаріле устаткування та його низька якість, а також проблеми з дисципліною на робочому місці і доступність дешевих енергоносіїв.

Однак важливо, користуючись передовим і вже випробуваним досвідом, розробляти сучасні стандарти, що відповідають сучасним викликам, а також системи управління енергозбереженням, готові до впровадження на різних рівнях, від комерційних компаній до державних корпорацій.

Ключовою метою програми є впровадження заходів, спрямованих на зниження енерговитрат у ВВП. Регіональна влада також зосереджує зусилля на підвищенні енергоефективності бюджетних та муніципальних установ, приймаючи регіональні нормативно-правові акти.

Для досягнення максимальних результатів у сфері енергоефективності необхідно створити механізми для споживачів енергоносіїв з метою зниження споживаних ресурсів. Також важливо зменшити податкове навантаження для кінцевих споживачів та постачальників енергоресурсів при реалізації енергозберігаючих проектів.

Налагодження інформаційних кампаній у ЗМІ, в мережі Інтернет, а також серед колективів підприємств і співробітників організацій є важливим етапом. Варто враховувати, що зростання тарифів на ЖКГ та енергоносії вже стимулює кінцевих споживачів до раціонального використання ресурсів.

Порівнюючи європейський досвід підвищення енергоефективності з українським, видно, що довготривала система, що діє протягом багатьох років, призвела до значних результатів. Застосування європейського підходу вважається стандартом і надає широкий спектр інструментів для різних груп населення та бізнесу, включаючи заходи заохочення і покарання.

Важливим є створення законодавчої бази, яка чітко визначає терміни та напрямки розвитку в цьому напрямі. Велика увага приділяється державним програмам, які спрямовані на зниження енергоспоживання регіональних економік. Потрібно активно впроваджувати працюючу систему енергозбереження, враховуючи національні особливості та економічний розвиток.

Результати досліджень організаційних та фінансових аспектів енергоефективності дозволяють сформулювати пріоритетні напрямки енергозбереження з метою підвищення рівня енергоефективності в Україні шляхом впровадження наступних заходів (рис. 3.6):

- цільова фінансова підтримка проектів розробки та впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання;
- надання фінансово-кредитної підтримки споживачам ресурсоекономних технологій (включаючи відшкодування частини відсоткових ставок за комерційними кредитами, майнову фінансову поруку при отриманні кредиту без наявності (часткової наявності) заставної тощо);

- цільове фінансування (часткове фінансування) інноваційних проектів у сфері розробки та впровадження енергозберігаючих технологій у промисловості, житлово-комунальній сфері та побутовому секторі.

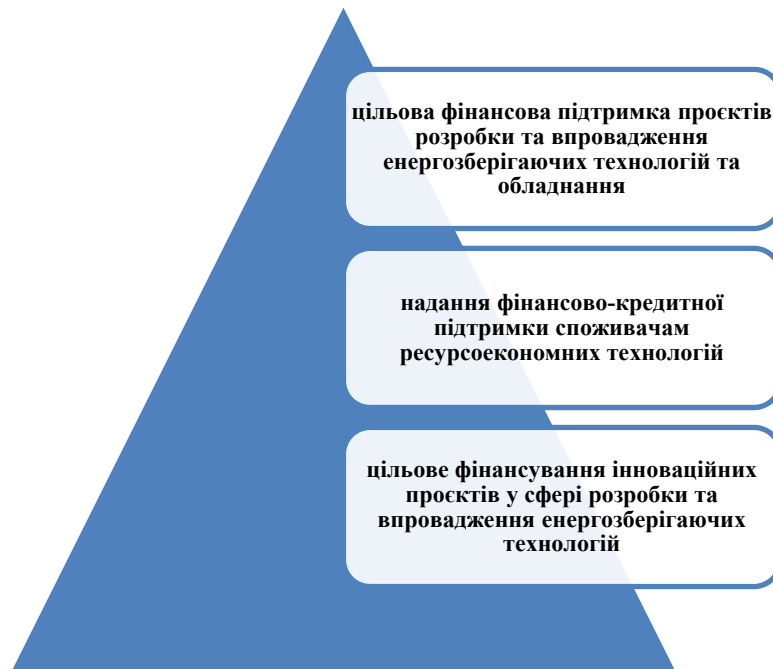


Рис. 3.6. Пріоритетні напрямки енергозбереження з метою підвищення рівня енергоефективності в Україні

Розроблено автором.

Для удосконалення енергетичної стратегії України особливо важливим є використання страхування, що є ключовим елементом системи управління ризиками власності енергетичних підприємств. Враховуючи постійні загрози пошкодження або повного знищення майна, питання, пов'язані з його страхуванням, стають все більш актуальними для всіх видів підприємств, зокрема енергетичних.

Впроваджуючи страхування ризиків, пов'язаних з власністю, підприємство може оперативно та ефективно вирішувати непередбачені втрати майна чи його пошкодження за короткий час та без суттєвих фінансових втрат. Це також може дозволити уникнути довгострокового припинення виробництва, зменшуючи тим самим великі втрати прибутку.

У контексті фінансування енергозберігаючих проєктів значну роль відіграє наявність підтримки з боку держави, яка, як правило, надається для пріоритетних напрямків, визначених в законодавчих актах.

Для досягнення стратегічних цілей зовнішньої енергетичної політики важливе значення мають вирішення таких завдань, як представлення національних інтересів України на світових енергетичних ринках, диверсифікація експортних енергетичних ринків та товарної структури експорту, забезпечення стабільних умов на енергетичних ринках, у тому числі гарантованого попиту та обґрунтованих цін на основні продукти імпорту енергоресурсів, а також укріплення позицій провідних українських енергетичних компаній за кордоном.



Рис. 3.7. Шляхи досягнення стратегічної мети зовнішньої енергетичної політики України

Розроблено автором.

Післявоєнне відновлення та сталий розвиток України має забезпечуватись за рахунок використання значно меншої кількості енергії, ніж нині. У зв'язку з цим першорядне значення має сукупність організаційних, науково-практичних та фінансових заходів, що реалізуються

державними органами, юридичними та фізичними особами, яка має бути спрямована на зниження витрат та втрат паливно-енергетичних ресурсів у процесі їх видобутку, переробки, транспортування, зберігання, використання та утилізації.

Висновки до третього розділу

1. Все більше індикаторів вказують на прискорення енергетичного переходу, який може мати серйозні наслідки для пропозиції та попиту на енергію в найближчі десятиліття. Як показує аналіз, відбуваються швидкі інновації, які полегшують постійний перехід через падіння вартості відновлюваних технологій, а також сприятливих технологій, таких як батареї. Разом із новими політичними імперативами, інновації посилюють імпульс енергетичного переходу. Оскільки технологічні вдосконалення є постійними, вони зменшують ризик нестабільності політики.

2. Незважаючи на те, що абсолютні цифри різняться, останні дослідження сценаріїв сходяться на тому, що відновлювана енергетика та енергоефективність є найбільш можливим напрямком для досягнення кліматичних цілей. Політичні рішення щодо прискорення енергетичного переходу повинні бути узгоджені з розвитком сприятливої інфраструктури. Планування інфраструктури на ранній стадії матиме першорядне значення через ефект блокування викидів вуглецю через тривалий термін служби та інерцію.

3. Потрібно більше уваги приділяти виникаючим питанням інфраструктури, таким як розумне заряджання електромобілів, посилення розподільної мережі та роль зміни попиту та розумних мереж. Фінансування потужностей з виробництва електроенергії та інфраструктури також матиме вирішальне значення через ретельно розроблену політику, яка створює надійне, передбачуване та прозоре інвестиційне середовище.

4. Необхідно мобілізувати ресурси державного та приватного секторів і розробити інноваційні моделі фінансування, які можуть зменшити

інвестиційні ризики. Однак швидкість енергетичного переходу не співмірна з узгодженими цілями сталого розвитку. Дослідження сценаріїв свідчать про те, що особливо для відновлюваної енергії потрібні додаткові зусилля. Для зростання відновлюваних джерел енергії потрібне шестикратне прискорення порівняно зі звичайним бізнесом.

5. Результати досліджень організаційних та фінансових аспектів енергоефективності дозволяють сформулювати пріоритетні напрямки енергозбереження з метою підвищення рівня енергоефективності в Україні шляхом впровадження наступних заходів:

- цільова фінансова підтримка проектів розробки та впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання;
- надання фінансово-кредитної підтримки споживачам ресурсоекономних технологій (включаючи відшкодування частини відсоткових ставок за комерційними кредитами, майнову фінансову поруку при отриманні кредиту без наявності (часткової наявності) заставної тощо);
- цільове фінансування (часткове фінансування) інноваційних проектів у сфері розробки та впровадження енергозберігаючих технологій у промисловості, житлово-комунальній сфері та побутовому секторі.

ВИСНОВКИ

За результати проведеного дослідження ролі інновацій на світовому ринку альтернативних джерел енергії зроблено наступні висновки:

1. Узагальнено теоретичні основи дослідження інновацій у системі світового господарства. Інноваційні енергоефективні промислові технології потребують менше енергії для виконання тієї ж або подібної функції, що й поточні технології. Особливо важливою можливістю підвищення енергоефективності є розробка технологій відновлення, зберігання та/або використання відпрацьованого тепла. Хоча втрати енергії неможливо звести до нуля, обмеження втрат і зменшення кінцевого попиту на енергію пропонують шляхи до декарбонізації виробництва та зниження витрат.

2. Визначено передумови трансформації енергоспоживання і впровадження інноваційних технологій на світовому енергетичному ринку. У силу того, що в енергоефективність надає найкращі можливості для більш повного використання наявних ресурсів, підтримки економічного зростання та зниження витрат на енергію, його прийнято називати «п'ятим паливом» економіки. Згідно з практикою, у більшості випадків дешевше буває вжити заходів щодо економії енергії або уникнути її використання, ніж збільшити її виробництво. Таким чином, зростання енергоефективності є головним енергетичним ресурсом. У багатьох країнах розроблена законодавча система, спрямована на стимулювання заходів з енергозбереження та охорони навколишнього середовища. Енергозбереження та підвищення енергоефективності в Україні також входять до п'яти основних напрямків модернізації національної економіки. Ефективне використання енергії дозволяє придбати більшу кількість різних товарів з меншими витратами енергії та фінансів.

3. Систематизовано методи дослідження інновацій на світовому ринку альтернативних джерел енергії. З точки зору факторів, що впливають на стале споживання споживачів і енергозберігання, дослідження на

макрорівні вважають, що економічні, екологічні та соціальні аспекти є важливими факторами, що впливають на стале споживання споживачів. Для кількісної оцінки впливу споживання на екологічне середовище аналіз надзвичайних ситуацій, системна динаміка, екологічний аналіз слідів є основними методами, що використовуються. Крім того, при проведенні аналізу трансформації світового енергетичного ринку нами було використано індексні методи, а саме рейтинг індексів енергетичного переходу (ETI), публікований Всесвітнім економічним форумом (World Economic Forum, WEF), який ґрунтується на трьох основних принципах: економічне зростання та розвиток, екологічна стійкість, енергетична безпека. Індекс енергетичного переходу (Energy Transition Index, ETI) – це показник, який відстежує ефективність енергетичних систем на рівні країни.

4. Охарактеризовано тенденції трансформації світового енергетичного ринку. Експерти сходяться на думках, що глобальна трансформація енергосистем, звана енергопереходом, включає чотири основні напрями: енергоефективність і три «д»: декарбонізація, децентралізація та діджиталізація. Таким чином, розвиток світової економіки неможливий на даному етапі розвитку світового енергетичного сектора без енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності як вектора розвитку світового енергетичного комплексу.

Проведений аналіз показав, що вирішальний вплив на швидкість руху країн Євросоюзу до заявленої мети повної декарбонізації електроенергетики вплинуть на економічні чинники. При збереженні і навіть посиленні політичного курсу на декарбонізацію в групі лідерів зеленої енергетики (Німеччина, Данія, Нідерланди, Іспанія, Італія, Португалія) швидкість впровадження НВДЕ сповільниться, можливо, тимчасово як через ефект бази, так і, головним чином, через зростаючу ціну нових можливих криз, іманентною причиною яких є стохастично непередбачуваний обсяг енергетичного потоку, що генерується, критично залежить від погодних умов.

5. Проведено аналіз сценаріїв енергетичного переходу і впровадження енергозберігаючих інноваційних технологій на світовому ринку альтернативних джерел енергії; дослідження вказують на ключову важливість енергоефективності та відновлюваних джерел енергії для глобального енергетичного переходу. Інновації історично були і залишатимуться рушійною силою цього переходу. Є два важливі наступні кроки, щоб активізувати це: 1) для тих додатків, де існують технологічні рішення, важливим наступним кроком є підтримка фреймворків, необхідних для збільшення їхнього розгортання, і 2) для додатків, де рішення є сьогодні на ранній стадії комерціалізації або взагалі не існує, наступним кроком є сприяння технологічним інноваціям разом із сприятливою політикою, соціальними та фінансовими заходами, щоб швидко вивести нові чисті технології на ринок

6. За результатами факторного аналізу визначено впливу енергетичних ресурсів на економічний розвиток країни. Енергетичний ринок країн з різним рівнем розвитку та споживання енергоресурсів істотно впливає на результативні фактори. Зокрема, у промислово розвинених країн-імпортерів енергетичних ресурсів зміни у таких факторах, як імпортна квота, пов'язані із змінами в ВВП, виробництві енергоресурсів на душу населення та імпорті енергетичних ресурсів. У країнах із середнім рівнем доходу таку ж результативну ознаку впливають інші фактори, такі як споживання енергоресурсів, імпорт та експорт на душу населення. У країнах з низьким рівнем доходу імпортна квота змінюється під впливом виробництва власних енергоресурсів, обсягів імпорту енергетичної сировини та енергоемності ВВП.

Щодо енергоемності ВВП, за результатами дослідження встановлено, що країни з високим рівнем доходу асоціюють зміни цього показника із змінами виробництва та споживання енергоресурсів на душу населення. Енергоемність ВВП у цій групі країн залежить від змін виробництва, споживання енергоресурсів на душу населення та сукупного експорту

продукції. Зміни енергоємності ВВП у розмірі 33% країн з низьким рівнем доходу пояснюються зміною обсягів імпорту енергоресурсів.

Висновки дослідження підтверджують, що споживання енергоресурсів на душу населення є результативною ознакою, яка змінюється під впливом різних факторів у розвинених, країнах із середнім рівнем доходу та країнах із низьким рівнем доходу. Це вказує на необхідність вдосконалення організаційно-економічних підходів для формування політики енергетичної безпеки країн, враховуючи вплив екзогенних та ендегенних факторів.

7. Виокремлено стратегічні напрямки впровадження інноваційних систем на світовому ринку альтернативних джерел енергії. В сучасних умовах з'являються нові бізнес-моделі, особливо пов'язані з ринками електроенергії. Це і віртуальні електростанції, агрегатори послуг зберігання електроенергії. Їх потрібно поєднувати з новими ринковими дизайнами з більш точним ціноутворенням для споживачів у часі та місці використання, новими операційними практиками та новими технологіями інтелектуальних мереж.

Місія Innovation на сьогодні визначила вісім завдань. Розумні електромережі, стійке біопаливо, опалення та охолодження поза мережею, а також відновлюваний і чистий водень – усе це безпосередньо стосується основних потреб у розгортанні технологій, визначених у REmap.

У 2050 році відновлювана енергетика становитиме 58% від загального обсягу використання відновлюваних джерел енергії. Змінна відновлювана енергетика становитиме 60% від загального виробництва електроенергії, порівняно з приблизно 10% сьогодні. Такі високі частки змінного відновлюваного виробництва електроенергії вимагають зміни парадигми в енергетичному секторі.

Передовий досвід провідних країн показує, що такі системи можна успішно експлуатувати, хоча й потрібні зміни. Необхідна гнучкість систем може бути мобілізована лише за допомогою системного підходу, який мобілізує всі типи інновацій. Технологічні інновації повинні поєднуватися з

новими ринковими моделями та бізнес-моделями, які базуються на характеристиках нових технологій. У певних секторах кінцевого використання знадобляться нові масштабовані та доступні рішення. З'єднання секторів, зокрема індивідуальна електрифікація секторів кінцевого споживання, відіграватиме дедалі важливішу роль. Частка електроенергії в кінцевому споживанні енергії збільшиться більш ніж удвічі до рівня 40–50%.

8. Визначено перспективи розвитку ринку альтернативних джерел енергії в Україні. Результати досліджень організаційних та фінансових аспектів енергоефективності дозволили сформулювати пріоритетні напрямки енергозбереження з метою підвищення рівня енергоефективності в Україні шляхом впровадження наступних заходів:

- цільова фінансова підтримка проектів розробки та впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання;
- надання фінансово-кредитної підтримки споживачам ресурсоекономних технологій (включаючи відшкодування частини відсоткових ставок за комерційними кредитами, майнову фінансову поруку при отриманні кредиту без наявності (часткової наявності) заставної тощо);
- цільове фінансування (часткове фінансування) інноваційних проектів у сфері розробки та впровадження енергозберігаючих технологій у промисловості, житлово-комунальній сфері та побутовому секторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development Goal 7: Ensure Access to Affordable, Reliable, Sustainable and Modern Energy for All. UN DESA, New York, NY (2017). URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg7>
2. C. Allen, G. Metternicht National pathways to the Sustainable Development Goals: a comparative review of scenario modelling tools. *Environ. Sci. Policy*, 66 (2016), pp. 129-208
3. D.L. McCollum, *et al.* Connecting the Sustainable Development Goals by Their Energy Inter-linkages. International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg (2017). URL: <http://pure.iiasa.ac.at/14567/1/WP-17-006.pdf>
4. F.F. Nerini, *et al.* Mapping synergies and trade-offs between energy and the sustainable development goals. *Nat. Energy*, 1 (2017), pp. 2058-7546
5. M. Nilsson, D. Griggs Map the interactions between sustainable development goals. *Nature*, 534 (2016), pp. 320-322.
6. C. Von Stetchow, *et al.* 2°C and SDGs: united they stand, divided they fall? *Environ. Res. Lett.*, 11 (2016), pp. 1-15.
7. K.J. Bowen, *et al.* Implementing the “Sustainable Development Goals”: towards addressing three key governance challenges – collective action, trade-offs, and accountability. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 26–27 (2016), pp. 90-96.
8. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva (2014)
9. IRENA. 2022. The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025. IRENA, Abu Dhabi. URL: <http://www.irena.org/menu/?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=2733>

10. IRENA. 2022. Renewable Capacity Statistics. IRENA, Abu Dhabi.
URL:
<http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=3831>
11. IEA. IEA Finds CO₂ Emissions Flat for Third Straight Year Even as Global Economy Grew in 2016.
URL: OECD/IEA, <https://www.iea.org/newsroom/news/2017/march/iea-finds-co2-emissions-flat-for-third-straight-year-even-as-global-economy-grew.html>
12. IEA. 2022. The Role of Energy Efficiency in the Clean Energy Transition OECD/IEA.
13. Gralla, F., Abson, D.J., Moller, A.P., Lang, D.J. Energy transitions and national development indicators: a global review of nuclear energy production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 70, 1251-1265.
14. S. Bakker, B. Budde Technological hype and disappointment: lessons from the hydrogen and fuel cell case. *Technol. Anal. Strat. Manag.*, 24 (6) (2012), pp. 549-563
15. IEA. 2021. Are We Entering the Golden Age of Gas? OECD/IEA.
16. J. Hsu Hopes for Golden Age of Gas Evaporate. *Wall Street Journal*, 1st November. Dow Jones & Company, Boston, MA, United States (2015). URL:
<https://www.wsj.com/articles/hopes-for-golden-age-of-gas-evaporate-1446187742>
17. M. Metayer, C. Breyer The Projections for the Future and Quality in the Past of the World Energy Outlook for Solar PV and Other Renewable Energy Technologies. Energy Watch Group, Berlin, Germany. 2015. URL:
http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/2015/09/EWG_WEO-Study_2015.pdf
18. B.K. Sovacool How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transition. *Energy Res. Soc. Sci.*, 13 (2012), pp. 202-215
19. R. Cherif, *et al.* Riding the energy transition: oil beyond 2040. IMF working paper. *Int. Monet. Fund* (2017). WP/17/120

20. M. Grayson Energy transitions. On a global scale, reducing fossil-fuel dependent is more than just a technology change. *Nature*, 551 (7682) (2017), p. 33
21. F. Mey, M. Diesendorf Who owns the energy transition? Strategic action fields and community wind energy in Denmark. *Energy Res. Soc. Sci.* (2017).
22. National Energy Administration of China, Government of Jiangsu Province (NEA), International Renewable Energy Agency (IRENA). Suzhou Declaration of the Second International Forum on Energy Transitions (31 October 2016). Suzhou, Jiangsu Province (People's Republic of China). URL: http://www.nea.gov.cn/2016-10/31/c_135794708.htm
23. D. Meyer, L. Mytelka, R. Press, E.L. Dall'Oglio, P.T. de Sousa Jr. Brazilian ethanol: unpacking a success story of energy technology innovation./A. Grubler (Ed.), *Energy Technology Innovation: Learning from Historical Successes and Failures*. 2014.
24. O. Renn, J.P. Marshall Coal, nuclear and renewable energy policies in Germany: from the 1950s to the “Energiewende”. *Energy Policy*, 99 (2016), pp. 224-232.
25. C. Morris, A. Jungjohann Energize the people to effect policy change. *Nature*, 551 (2017), pp. 138-140.
26. WEF. 2020-2023. URL: <https://www.weforum.org/>
27. IRENA. Global Energy Transformation. A Roadmap to 2050. IRENA, Abu Dhabi
28. IRENA and International Energy Agency. Perspectives for the Energy Transition – Investment Needs for a Low-Carbon Energy System. IRENA & Paris: IEA, Abu Dhabi (2017). URL: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Perspectives_for_the_Energy_Transition_2017.pdf
29. IRENA. IRENA IEA-ETSAP Technology Briefs (2017). URL: <http://www.irena.org/publications/2013/Jan/IRENA-IEA-ETSAP-Technology-Briefs>

30. IRENA. Costs of Renewables Database (2018). URL: <http://irena.org/costs>
31. R. Kempener, E. Assoumou, A. Chiodi, U. Ciorba, *et al.* A global renewable energy Roadmap: comparing energy systems models with IRENA's REmap 2030 project. *Lect. Notes Eng.*, 30 (2015), pp. 43-67
32. D. Saygin, R. Kempener, N. Wagner, M. Ayuso The implications for renewable energy innovation of doubling the share of renewable energy options and their policy implications. *Energies*, 8 (2015), pp. 5828-5865
33. IRENA. G20 Toolkit for Renewable Energy Deployment: Country Options for Sustainable Growth Based on Remap. IRENA, Abu Dhabi (2016). URL: http://www.irena.org/remap/IRENA_REmap_G20_background_paper_2016.pdf
34. IRENA. Renewable Energy Outlook for ASEAN. IRENA, Abu Dhabi (2016). URL: <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=3751>
35. IRENA. Africa 2030: Roadmap for a Renewable Energy Future. IRENA, Abu Dhabi (2015). URL: <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=641>
36. IRENA. Renewable Energy Prospects for the European Union. IRENA, Abu Dhabi (2018). URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf
37. S. Collins, D. Saygin, J.P. Deane, A. Miketa *et al.* Planning the European power sector transformation: the REmap modelling framework and its insights. *Energy Strateg. Rev.*, 22 (2018), pp. 147-165
38. IRENA. Renewable Energy Prospects: United Arab Emirates. IRENA, Abu Dhabi (2015). URL: http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_REmap_UAE_report_2015.pdf

39. S. Sgouridis, A. Abdullah, S. Griffiths, D. Saygin, *et al.* RE-mapping the UAE's energy transition: an economy-wide assessment of renewable energy options and their policy implications. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 55 (2016), pp. 1166-1180
40. IRENA. Accelerating the Energy Transition through Innovation IRENA, Abu Dhabi (2017). URL: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Energy_Transition_Innovation_2017.pdf
41. IEA Energy Efficiency 2017. OECD/IEA, Paris (2017). URL: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy_Efficiency_2017.pdf
42. G20. Climate and Energy Action Plan for Growth (2017). URL: https://www.g20.org/Content/DE/_Anlagen/G7_G20/2017-g20-climate-and-energy-en.pdf
43. IEA. World Energy Statistics. OECD/IEA, Paris (2017)
44. D. Ürge-Vorsatz, L.F. Cabeza, S. Serrano, C. Barreneche Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 41 (2015), pp. 85-98
45. M. Wei, *et al.* Deep carbon reductions in California require electrification and integration across economic sectors. *Environ. Res. Lett.*, 8 (2013), pp. 1-10
46. S. Lechtenboehmer, L.J. Nilsson, M. Ahman Decarbonising the energy intensive basic materials industry through electrification – implications for future EU electricity demand. *Energy*, 115 (2016), pp. 1623-1631
47. IEA. Global EV Outlook 2017. OECD/IEA, Paris (2017). URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/global-ev-outlook-2017.html>
48. IRENA. REmap: Roadmap for a Renewable Energy Future. IRENA, Abu Dhabi (2016). URL: <http://www.irena.org/menu/index.aspx?CatID=141&PriMenuID=36&SubcatID=1691&mnu=Subcat>

49. IRENA. Electric Vehicles: Technology Brief. IRENA, Abu Dhabi (2017).
URL:
[http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141
&SubcatID=3819](http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=3819)
50. R. Scholegl E-mobility and the energy transition. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 56 (2017), pp. 2-6
51. IRENA. Methodology Background Document: Development of a Decarbonisation Pathway for the Global Energy System to 2050. A Country-By-Country Analysis for the G20 Based on IRENA's REmap and Renewable Energy Benefits Programmes. IRENA, Abu Dhabi (2017). URL: http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/REmap/Methodology/IRENA_REmap_Decarbonisation_Pathway_Methodology_2017.pdf
52. Energy Transitions Commission. Better energy, greater prosperity. URL: http://energy-transitions.org/sites/default/files/BetterEnergy_fullReport_DIGITAL.PDF (2017)
53. Shell Sky Scenario (2017). URL: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/shell-scenario-sky.html>
54. IEA & the World Bank. Sustainable Energy for All 2017 – Progress toward Sustainable Energy. World Bank & Paris: OECD/IEA, Washington, DC (2017)
55. Financial Times. Electric Cars: China's Battle for the Energy Markets (5 March 2017). URL: <https://www.ft.com/content/8c94a2f6-fdcd-11e6-8d8e-a5e3738f9ae4>
56. D.J. Gielen, F. Boshell, D. Saygin Climate and energy challenges for materials science. *Nat. Mater.*, 15 (2016), pp. 117-120
57. A. Salgado, F. Boshell, J. Skeer INSPIRE: Insights on Biofuels Innovation from IRENA's Patents Database. *BE Sustainable Magazine* (2018). URL: <http://www.besustainablemagazine.com/cms2/discover-be-sustainable-2018-stories-of-sustainable-innovation-online/>

58. D. Saygin, M.K. Patel, E. Worrell, C. Tam Potential of best practice technology to improve energy efficiency in the global chemical and petrochemical sector. *Energy*, 36 (2011), pp. 5779-5790
59. E. Palm, L.J. Nilsson Electricity-based plastics and their potential demand for electricity and carbon dioxide. *J. Clean. Prod.*, 129 (2016), pp. 548-555
60. Wesseling, *et al.* The transition of energy intensive processing industries towards deep decarbonization: characteristics and implications for future research. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 79 (2017), pp. 1303-1313
61. IRENA Innovation Priorities to Transform the Energy System. An Overview for Policy Makers, IRENA, Abu Dhabi (2018)
62. D. Saygin, D.J. Gielen, M. Draeck, E. Worrell Assessment of the technical and economic potential of producing steam, chemicals and polymers from biomass. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 40 (2014), pp. 1153-1167
63. IRENA. Biofuels for Aviation: Technology Brief. IRENA, Abu Dhabi (2017)
64. IRENA. Biogas for Road Vehicles: Technology Brief. IRENA, Abu Dhabi (2017)
65. J. Eppinger, K.-W. Huang Formic acid as a Hydrogen energy carrier *ACS Energy Lett.*, 2 (2017), pp. 188-195
66. R. Lan, J.T.S. Irvine, S. Tao Ammonia and related chemicals as potential indirect hydrogen storage materials. *Int. J. Hydrogen Energy*, 37 (2) (2012), pp. 1482-1494
67. IRENA. Innovation Landscape Report for the Power Sector. IRENA, Abu Dhabi (2019)
68. Mission Innovation. Mission Innovation's Innovation Analysis and Roadmapping Work Stream: Initial Review of Clean Energy Innovation Analysis (24 May 2016)/ URL: <http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2016/06/MI-Sub-Group-on-Innovation-Analysis-and-Roadmapping-Summary-Update-May-2016.pdf>

69.K. Riahi, F. Dentener, D. Gielen, J. Jewell, Z. Klimont, D. McCollum, S. P. Achauri, B. van Ruijven, D. van Vuuren Global Energy Assessment Chapter 17: Energy Pathways for Sustainable Development. Cambridge University press (2012). URL:

<http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/10065/1/GEA%20Chapter%2017%20Energy%20Pathways%20for%20Sustainable%20Development.pdf>

70.M. Howells, S. Hermann, M. Welsch, M. Bazilian, T. Alfstad, H. Rogner, G. Fischer, D. Wiberg, C. Young, A. Mueller, P. Steduto Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. Nat. Clim. Change, 3 (July) (2013), pp. 622-626

71. European Commission. Renewable Energy. Moving towards a Low Carbon Economy. European Commission: Brussels. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy>.

72. IRENA. Renewable Energy Prospects. IRENA, Abu Dhabi (2017). URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Apr/IRENA_REmap_Russia_paper_2017.pdf

73. Power Technology Is Russia Finally Ready to Embrace Renewable Energy? (5 December 2018). URL: <https://www.power-technology.com/features/russia-renewable-energy/>

74. D. Saygin, M. Hoffman, P. Godron How Turkey Can Ensure A Successful Energy Transition. Center for American Progress, Washington, DC (2018)

75. NDRC. The 13th Five-Year Plan for Energy Development. NDRC, Beijing (2016). URL: <http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/201701/W020170117350627940556.pdf>

76. MNRE. Tentative State-wise break-up of Renewable Power target to be achieved by the year 2022 so that cumulative achievement is 175,000 MW. Delhi: MNRE (n.d.). URL: <https://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/Tentative-State-wise-break-up-of-Renewable-Power-by-2022.pdf>.

77. T. Altenburg, C. Assmann Green Industrial Policy. Concept, Policies, Country Experiences, UN Environment; German Development Institute, Geneva, Bonn (2017). URL: https://www.die-gdi.de/uploads/media/GREEN_INDUSTRIAL_POLICY.Endf_07.pdf
78. C. Kemfert Germany must go back to its low-carbon future. *Nature*, 549 (2017), pp. 26-27
79. L.C. Stokes, H.L. Breetz Politics in the U.S. energy transition: case studies of solar, wind, biofuels and electric vehicles policy. *Energy Policy*, 113 (2018), pp. 76-86
80. IEA Market Report Series: Renewables 2018. OECD/IEA, Paris (2018). URL: <https://www.iea.org/renewables2018/>
81. U.S. Energy Information Administration. Renewable Energy. US EIA, Washington,DC (2018). URL: https://www.eia.gov/energyexplained/?page=renewable_home
82. A. Markandya, J. Sampedro, S.J. Smith, I. Arto, M. Gonzalez-Eguino Health co-benefits from air pollution and mitigation costs of the Paris Agreement: a modelling study. *Lancet Planet Health*, 2 (2018), pp. 126-133
83. T. Vandyck, K. Keramidas, J.V. Spadaro, M. Holland, B. Saveyn Air quality co-benefits for human health and agriculture counterbalance costs to meet Paris Agreement pledges. *Nat. Commun.*, 9 (2018), pp. 1-11
84. J. Blazejczak, F.G. Braun, W.-P. Schill Economic effects of renewable energy expansion: a model-based analysis for Germany. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 40 (2014), pp. 1070-1080
85. U. Lehr, C. Lutz, D. Edler Green jobs? Economic impacts of renewable energy in Germany. *Energy Pol.*, 47 (2012), pp. 358-364
86. H. Pollitt, P. Seung-Joon An economic and environmental assessment of future electricity generation mixes in Japan – an assessment using the E3MG macro-econometric model. *Energy Policy*, 67 (2014), pp. 243-254
87. Clarke, L. et al. „Assessing transformation pathways“. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the*

Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York, NY: Cambridge University Press.

88. D. Gielen, D. Saygin Global Industrial Carbon Dioxide Emission Mitigation: Investigation of the Role of Renewable Energy and Other Technologies until 2060. Payne Institute, Golden, CO (2018). URL: https://ljp6c3tnea61xd0wz1l33nmf-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/sites/149/2018/06/20180613_Gielen_WorkingPaper_web-1.pdf

89. R. Bramstoft, K. Karlsson, A. Kofoed-Wiuff, M. Münster STREAM-an energy scenario modelling tool. Energy Strateg. Rev., 21 (2018), pp. 62-70

90. P.C. del Granado Modelling the energy transition: a nexus of energy system and economic models. Energy Strateg. Rev., 20 (2018), pp. 229-235

91. G. Savvidis, *et al.* The gap between energy policy challenges and model capabilities. Energy Policy, 125 (2019), pp. 503-520

92. F.W. Geels, T. Berkhout, D. van Vuuren Bridging analytical approaches for low-carbon transitions. Nat. Clim. Change, 6 (2016), pp. 576-583

93. A. Grübler Transitions in energy use J. Cutler (Ed.), The Encyclopedia of Energy, vol. 2018, Elsevier Science, Amsterdam (2004), pp. 163-177

94. Світова економіка : підручник / за ред. А. П. Голіков, О.А. Довгаль. Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. 257 с.

95. Міжнародні економічні відносини : підручник / за ред. А. П. Голіков, О.А. Довгаль. Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. 495 с.

96. Омельченко В. Аналіз експертного опитування Центра Разумкова "Проблеми енергетичної сфери та шляхи їх вирішення в умовах війни".2023. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/analiz-ekspertnogo-opytuvannia-tsentra-razumkova-problemy-energetychnoi-sfery-ta-shliakhy-ikh-vyrishennia-v-umovakh-viiny>

ДОДАТКИ

Додаток А

Вхідні дані для побудови моделі
(перша група країн – країни з розвинутою економікою)

Країна	ВВП/ душу населення, долл. США	Виробни цтво енергоре сурсів/ душу нас-я,т	Спожив ання ресурсі в/ душу нас-ня,т	Імпорт енергоре сурсів/ душу нас-ня, дол.США	Енерг оємніс ть ВВП, т/1000 долл. США	Виробни цтво промисло вої продукції дол. США	Експорт/ душу нас-ня, дол.США	Імпорт. квота, %
США	44 380,43	5,50	7,89	1164,28	0,18	9808,07	3495,45	2,62
Велика Британія	39397,28	3,39	3,88	896,25	0,10	9455,35	7380,26	2,27
Франція	35958,25	2,18	4,40	1250,81	0,12	7587,19	7639,76	3,48
Німеччина	35178,62	1,63	4,18	1353,23	0,12	10553,59	13606,15	3,85
Італія	31573,57	0,47	3,16	920,40	0,10	8556,44	7127,17	2,92
Японія	34376,24	0,78	4,15	1264,55	0,12	9934,73	5062,03	3,68
Іспанія	28225,97	0,70	3,35	1193,69	0,12	8241,98	4932,28	4,23
Австрія	39099,64	1,19	4,17	2251,06	0,11	11651,69	16288,34	5,76
Швеція	42394,80	3,85	5,78	1745,35	0,14	11700,96	16320,04	4,12
Австралія	37524,23	13,24	5,96	856,68	0,16	10131,54	6024,57	2,28
Греція	27850,99	0,93	2,79	1096,77	0,10	5793,01	1886,76	3,94
Данія	51435,79	5,77	3,62	919,94	0,07	12601,77	16626,94	1,79
Фінляндія	39938,67	3,15	6,66	2023,30	0,17	12620,61	14719,81	5,07
Ізраїль	20273,70	0,30	2,82	1078,34	0,14	4500,77	6761,85	5,32
Швейцарія	50422,13	1,45	3,62	1489,41	0,07	13311,44	19714,40	2,9

Складено автором за даними [26].

Вхідні дані для побудови моделі
(друга група країн: 2 – країни з перехідною економікою та країни, що розвиваються)

Країна	ВВП/ душу населення дол. США	Вироб ництво енергор есурсів/ душу нас-ня,т	Спож- ня ресурс ів/ душу нас- ня,т	Імпорт енергоре сурсів/ душу нас-ня, дол.США	Енер гоєм ність ВВП, т/1000 дол. США	Вироб ництво промисло вої продукції дол. США	Експорт/ душу населення, дол.США	Імпортна квота, %
Португалія	18177,91	0,34	2,58	954,58	0,14	4526,30	4109,76	5,25
Північна Корея	18070,17	0,89	4,42	1793,50	0,24	7155,78	6738,24	9,93
Чехія	13807,33	3,21	4,42	821,96	0,32	5136,32	9300,20	5,95
Естонія	11948,15	2,76	3,78	1574,52	0,32	3393,26	7117,04	13,18
Угорщина	11099,11	1,02	2,75	564,56	0,25	3385,22	7339,44	5,09
Словаччина	10398,52	1,23	3,49	1119,87	0,34	3670,67	7740,07	10,77
Хорватія	9542,34	0,86	2,00	770,00	0,21	2681,40	2337,16	8,07
Польща	8911,29	2,06	2,44	342,43	0,27	2798,15	2871,70	3,84
Латвія	8739,57	1,00	2,05	630,96	0,23	1879,00	2561,30	7,22
Літва	8587,39	1,15	2,52	1273,58	0,29	2833,84	4145,16	14,83
Бразилія	5897,73	1,01	1,12	92,13	0,19	2199,85	739,30	1,56
Аргентина	5607,77	2,09	1,64	41,43	0,29	1844,95	1198,01	0,74
Турція	5443,82	0,33	1,18	94,22	0,22	1720,25	1186,71	1,73
Румунія	5658,07	1,29	1,77	318,97	0,31	1974,66	1494,96	5,64

Складено автором за даними [26].