

УДК 330.4, 338:504, 33; 330
УКПП
№ державної реєстрації 0122U000788
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет (сумду)
40007, м. Суми, вул. Р.-Корсакова, 2,
тел. (0542) 66-51-10, факс (0542) 33-40-49

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
д-р фіз.-мат. наук, професор

_____ А.М. Черноус

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
Інноваційні трансформації в енергетиці для сталого розвитку та національної
безпеки: smart-технології та екологічна відповідальність

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ЗАСАД РОЗБУДОВИ
ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ НА ПРИНЦИПАХ СТАЛОГО ТА
ЕКОЛОГІЧНО ВІДПОВІДАЛЬНОГО РОЗВИТКУ
(проміжний)

Керівник НДР
доктор екон. наук

О. Ю. Чигрин

2022

Рукопис закінчено 22 грудня 2022 р.

Результати роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від __ грудня 2022 р. № _

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, доцент кафедри маркетингу, доктор екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	О. Ю. Чигрин (розділи 1, 4, вступ, висновки)
Професор кафедри маркетингу, доктор екон. наук, професор	<hr/> (22.12.2022)	О. В. Люльов (розділи 2, 3, вступ, висновки)
Доцент кафедри управління імені Олега Балацького, кандидат екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	С. І. Колосок (розділи 2, 3 вступ, висновки)
Доцент кафедри управління імені Олега Балацького, канд. екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	Д. О. Смоленніков (розділ 4)
Професор кафедри маркетингу, доктор екон. наук	<hr/> (22.12.2022)	О. С. Квілінський (розділ 3)
Доцент кафедри маркетингу, кандидат екон. наук, доцент	<hr/> (22.12.2022)	Я. М. Кривич (розділ 1)
Асистент кафедри маркетингу, кандидат екон. наук	<hr/> (22.12.2022)	Є. А. Зябіна (розділи 1, 5)
Аспірант	<hr/> (22.12.2022)	Л. М. Хоменко (розділ 4)
Аспірант	<hr/> (22.12.2022)	Я. О. Ус (розділ 1)
Студент СумДУ	<hr/> (23.12.2022)	В. Х. Хааг (розділ 5)
Студент СумДУ	<hr/> (22.12.2022)	К. В. Шевченко (розділ 5)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 73 с., 18 рис., 16 табл., 83 джерел.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, НАЦІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА, СОЦІО-ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ВІДНОСИНИ, СТЕЙКХОЛДЕРИ, SMART ТРАНФОРМАЦІЇ.

Об'єкт дослідження – система соціо-еколого-економічних відносин, які виникають при забезпеченні екологічно відповідальних smart трансформацій в енергетиці. Метою дослідження є дослідження фундаментальних засад розбудови енергетичного сектору на принципах сталого та екологічно відповідального розвитку. Методи дослідження – використано економіко-математичне моделювання формуванні системи критеріїв та описі передумов трансформації об'єднаної енергетичної системи з використанням альтернативних джерел енергії.

У результаті виконання роботи було формалізовано та систематизовано опис розвитку енергетичної галузі національної економіки в умовах глобальних та локальних безпекових викликів при споживанні природного газу, нафти та виробництві атомної енергії шляхом побудови матриці факторів при переході до кліматично нейтральної економіки та каталізації сталого інноваційного розвитку. Сформовано базу даних екосистемної трансформації енергетичного сектору з врахуванням предикторів чистого виробництва електроенергії з відновлюваних ресурсів на принципах кліматичної нейтральності та інклюзивної збалансованості шляхом поєднання інструментарію Data Mining, Machine Learning, Deep Learning. Розроблено методологію нівелювання конфліктів стейкхолдерів та безпекові патерни у форматі інституційного партнерства стейкхолдерів і стратегії розумної інтеграції між секторами. Сформовано систему критеріїв та опис передумов трансформації об'єднаної енергетичної системи з використанням альтернативних джерел енергії з метою досягнення вуглецевого нейтралітету до 2050 року на базі моделі марковського перемикання для трьох режим.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	5
1 Систематизація розвитку енергетичної галузі: сучасні безпекові виклики	8
2 Формування бази даних екосистемної трансформації енергетичного сектору	17
3 Нівелювання конфліктів стейкхолдерів: безпекові патерни в рамках стратегії розумної інтеграції між секторами	25
4 Формування систему критеріїв та опис передумов трансформації об'єднаної енергетичної системи з використанням альтернативних джерел енергії	36
5 Маркетинговий інструментрій просування розумних трансформацій в сучасному цифровому середовищі.....	48
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	64

ВСТУП

Сучасне співробітництво між країнами в енергетичному переході значно активізується на тлі глобальних військових конфліктів, енергетичної безпеки та охорони навколишнього середовища. Сьогодні європейські країни мають сильне бажання зміцнити міжнародну співпрацю для сталого енергетичного переходу. Наростання кризи в енергетичному секторі європейських країн зумовлює пошук альтернативних шляхів вирішення зазначеної проблеми, одним із яких є розвиток трансформаційних процесів у контексті європейської інтеграції. Глобальні питання енергетичної безпеки, цифрової трансформації енергетичного сектору та захисту навколишнього середовища привертають увагу урядів, інвестиційних компаній, бізнес-сектору та наукової спільноти з усього світу. Основними завданнями підвищення енергетичної безпеки країн є забезпечення безпеки постачання електроенергії та природного газу споживачам, інтеграція енергетичних ринків до європейських ринків, підвищення надійності та ефективності інтегрованих енергетичних систем, диверсифікація джерел і маршрутів енергопостачання, розвиток відновлюваної та низької енергетики. - вуглецеві джерела енергії, альтернативи. видів палива, підвищення енергоефективності по ланцюжку від виробництва до споживання енергії тощо. Реформування в енергетиці покликане оптимізувати енергетичний баланс і підвищити економічну, енергетичну та екологічну безпеку, особливо в умовах військового конфлікту. Головною метою цих перетворень є зміцнення енергетичної безпеки країн, надійне задоволення потреб суспільства та економіки в паливно-енергетичних ресурсах і створення міцного фундаменту для сталого енергетичного майбутнього країн. Переважна більшість досліджень з оцінки стану енергетичної безпеки здійснюється з використанням комплексного підходу. Проблема його застосування полягає в досить довільному виборі груп важливих для аналізу параметрів. Застосування комплексного підходу не дозволяє розробити універсальну методикку вибору параметрів оцінки енергетичної безпеки для різних країн та конкретних умов функціонування їх

енергетичних ринків. Крім того, застосування такого підходу не дозволяє формувати стратегію енергетичної безпеки, оскільки зміни під час вибору набору параметрів у зв'язку з технологічними трансформаціями та зміною моделей енергетичних ринків фактично зумовлюють необхідність перегляду методології оцінки рівня енергетичної безпеки, вибір сучасних оціночних показників, пошук нових даних для розрахунків.

Об'єкт дослідження – система соціо-еколого-економічних відносин, які виникають при забезпеченні екологічно відповідальних smart трансформацій в енергетиці

Метою дослідження – є дослідження фундаментальних засад розбудови енергетичного сектору на принципах сталого та екологічно відповідального розвитку.

Методи дослідження – використано як традиційні, так і удосконалені методи дослідження з урахуванням недоліків вже існуючих. У роботі використано економіко-математичне моделювання використано економіко-математичне моделювання формуванні системи критеріїв та описі передумов трансформації об'єднаної енергетичної системи з використанням альтернативних джерел енергії.

У результаті виконання роботи було:

- формалізовано та систематизовано опис розвитку енергетичної галузі національної економіки в умовах глобальних та локальних безпекових викликів при споживанні природного газу, нафти та виробництві атомної енергії шляхом побудови матриці факторів при переході до кліматично нейтральної економіки та каталізації сталого інноваційного розвитку;

- сформовано базу даних екосистемної трансформації енергетичного сектору з врахуванням предикторів чистого виробництва електроенергії з відновлюваних ресурсів на принципах кліматичної нейтральності та інклюзивної збалансованості шляхом поєднання інструментарію Data Mining, Machine Learning, Deep Learning;

- розроблено методологію нівелювання конфліктів стейкхолдерів та безпекові патерни у форматі інституційного партнерства стейкхолдерів і стратегії розумної інтеграції між секторами;

- сформовано систему критеріїв та опис передумов трансформації об'єднаної енергетичної системи з використанням альтернативних джерел енергії з метою досягнення вуглецевого нейтралітету до 2050 року на базі моделі марковського перемикання для трьох режим.

1 СИСТЕМАТИЗАЦІЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ: СУЧАСНІ БЕЗПЕКОВІ ВИКЛИКИ

Глобальні кліматичні проблеми призвели до збільшення попиту на природний газ, що досить часто використовується як більш екологічно чиста заміна кам'яному вугіллю. У свою чергу зростання газового попиту підвищує залежність країн-імпортерів від результатів міжнародної торгівлі газом, особливо при недостатньому розвитку внутрішніх газових сховищ. І у випадку систематичних перебоїв імпорту природного газу, відновлювані джерела можуть бути вагомим джерелом пом'якшення безпекових та екологічних наслідків таких порушень, блокування Росією надходження газу в Європу через Україну погіршило безпеку його постачання та призвело до підвищення вразливості до ризиків перерви у постачанні газу в країнах ЄС. Приклад України показує наскільки важливою для територіальної цілісності держави є її енергетична безпека. Унаслідок військової агресії Росії, в Україні відбувається часткове руйнування об'єктів енергетичного комплексу, а також – незаконне їх відчуження. У відповідь на війну Росії в Україні та її енергетичний шантаж, Литва відмовилася від імпорту російського газу для внутрішніх потреб. Такий крок став можливий завдяки цілеспрямованому виконанню литовської стратегії національної енергетичної незалежності. Після зупинки Ігналінської атомної електростанції, Литва перетворилася на країну, що залежить від імпорту і електроенергії, і газу. І ситуація значно погіршувалася тим, що литовська енергетична система була синхронізована не з європейськими енергомережами, а з контрольованими Росією мережами. Зважаючи на дискримінаційний характер встановлення цін та взаємин з Росією у сфері енергетики, Литва зосередилася на реалізації стратегічних проєктів для подолання енергетичної залежності. І хоча Литва все ще належить до енергетичної системи IPS/UPS для імпорту електроенергії з Росії та Білорусі, енергетичні з'єднання з Польщею та Швецією сприяють відновленню її енергетичної безпеки. Стосовно ж імпорту газу, то Литва має диверсифіковані джерела споживання газу зараз. Потреби у газі в

Литві можуть задовольнятися не тільки за рахунок угод з російським Газпромом, але й через постачання скрапленого газу через клайпедський термінал, а також через газові з'єднання з Латвією і Польщею. Аналогічно Польща, намагаючись зменшити свою газову залежність від Росії, започаткувала проєкт Baltic Pipe для інтеграції польської газової системи у Скандинавську систему.

Беручи ж до уваги наслідки газової кризи 2021/2022 років, ЄС переглянула політику декарбонізації економіки посиливши заходи з забезпечення власної енергетичної безпеки. У 2022 відбувся шоківий стрибок цін на енергетичні ресурси, до якого не були підготовлені країни ЄС. Відсутність єдиної зовнішньої енергетичної політики не дозволила в ЄС швидко сформувати і спільну енергетичну позицію на вторгнення Росії в Україну. Дещо пізніше, був запропонований новий європейський план RePowerEU, одним з спрямувань якого стало зменшення залежності від російських енергетичних ресурсів. Такий план є особливо важливим, зважаючи на значну залежність країн ЄС від російського імпорту усіх основних енергетичних ресурсів. А можливий зрив газових поставок з Росії потребує вжиття негайних дій як для диверсифікації імпорту енергії, так і з метою скорочення залежності від викопного палива країн ЄС. Так, у 2021 році ЄС імпортувало з Росії понад 40 % газу від свого загального споживання. Відповідно до даних Євростату, у 2020 році, найбільшу частку імпорту російського газу в обсязі внутрішнього споживання серед країн ЄС мали Угорщина (110.4%), Латвія (100.1%) та Фінляндія (92.4%). Найнижчі ж індекси російської газової залежності були в Ірландії, Кіпрі, Мальті, Норвегії. Рівень залежності від російського газу в ЄС дуже відрізняється для різних країн. Хоча і були країни, що у 2020 році не імпортували російський газ, були й ті країни (Латвія та Чехія), що для задоволення своїх потреб у натуральному газі покладалися виключно на єдиного імпортера газу – Росію. І зважаючи на вагому частку постачання енергоносіїв, Росія має суттєвий інструмент політичного та економічного тиску на інші держави. Така ситуація змушує ЄС шукати нові шляхи постачання газу. Оскільки в майбутньому очікується лише зростання потреб Європейського Союзу в природному газі, це потенційно може означати

посилення залежності ЄС від Росії. Тому стратегічно важливими для країн ЄС є інвестиції у проекти спільного інтересу, що дозволять диверсифікувати імпорту енергетичних ресурсів. Серед таких проектів є Східносередземноморський газопіп EastMed. Однак проект EastMed вже зараз називають дорогим та технічно проблематичним, оскільки він проходить через сейсмічно активні частки Середземного моря, на значній глибині. Альтернативний Трансанатолійський газопіп TANAP буде з'єднувати Азербайджан з країнами Європи та проходити через Туреччину, посилюючи її енергетичні позиції. Проект TANAP планується завершити найближчим часом як альтернативу Південному потоку.

Поза межами ЄС газові проблеми також істотні. У Йорданії, що на 95% залежить від імпорту постачань енергетичних ресурсів з сусідніх країн, також є критична ситуація у галузі енергетичної безпеки. Через політичні події у країнах Близького Сходу, у Йорданії відбулася перерва у постачанні газу з Єгипту, що мало негативні наслідки на економіку країни. Аналогічна ситуація з дефіцитом натурального газу спостерігається і у Пакистані. На жаль, зростання споживання газу в Пакистані не покривається газом з власних родовищ. І проекти побудови газових трубопроводів з Ірану та Туркменістану відкладаються, у тому числі і через необхідність урегулювання безпеки функціонування трубопроводів на територіях транзитних країн. Як можливе рішення підвищення енергетичної безпеки Пакистану, Kanwal et al. пропонують використовувати синтез-газ (syngas) для покриття дефіциту власних енергетичних потреб.

Для переважної більшості країн надійність мережі імпорту нафти має вирішальне значення для енергетичної безпеки. Для Китаю це твердження також справедливе. Китай імпортує приблизно 70% нафти від загального обсягу споживання. Проте на думку Chen et al. [7] надійність мережі імпорту нафти в Китаї відносно низька, оскільки вона вразлива до випадкових та зловмисних атак, збоїв вузлів/ Також для випадку Китаю важливо раціонально контролювати споживання нафти для забезпечення безпеки національного енергетичного постачання. Аналогічні проблеми присутні і в Ірландії. В Ірландії відсутні

внутрішні джерела нафти, тому вся нафта в країні імпортується. Зважаючи на війну Росії в Україні, можливо очікувати в Європі і світі порушення ланцюгів поставки нафти, загальну волатильність ринку, зростання цін на енергію.

Для пом'якшення ризиків перебоїв у постачанні нафти дуже важливо мати достатні запаси нафти, щоб унеможливити використання країнами енергії як стратегічної геополітичної зброї. На жаль, будь-які перебої у надходженні нафти мають прямий ефект на рівень енергетичній безпеки країн, оскільки сповільнюють їх економічне зростання.

Якщо ж розглядати питання енергетичної безпеки з позиції енергетично-багатих країн, то стають видимі зовсім інші аспекти. Виникають питання гарантування безпеки стабільного попиту, безпеки постачання нафти та нафтопродуктів, протидії геополітичним впливам при добуванні та торгівлі нафтою. Є впливи і на економіку цих країн. Для енергетично-багатих країн можуть існувати перешкоди при впровадженні відновлюваних джерел енергії, що пов'язані з соціальними аспектами, інфраструктурою, податковими надходженнями тощо. Зокрема в Азербайджані, одним з ключових експортерів сирової нафти в Каспійському регіоні, спостерігаються переважно використання викопного палива при виробництві електроенергії. Генерація електроенергії з відновлюваної енергетики в Азербайджані складає лише 8,8%. І не зважаючи на проголошений рух до збільшення споживання відновлюваної енергії, такі плани здаються далекими від реальності, враховуючи нестабільність азербайджанського законодавства та відсутність цілеспрямованих інструментів підтримки відновлюваної енергетики.

Ядерна енергетика вважається засобом перетворення енергії з низьким вмістом вуглецю. Відповідно до даних ІЕА, гідроенергетика та атомна енергетика забезпечують найбільший обсяг електроенергії з низьким вмістом вуглецю для чистого переходу країн світу. На думку дослідників, ядерна енергетика може стати панацеєю та вирішити як проблеми енергетичної безпеки, так і проблеми навколишнього середовища. З цією метою потребується збільшення виробництва ядерної енергії шляхом затвердження відповідної

енергетичної та екологічної політики різних країн світу. Зокрема, у новій Британській стратегії енергетичної безпеки ядерна енергетика є серед основних інвестиційних пріоритетів уряду. Не зважаючи на те, що Великобританія втратила своє лідерство у цивільній ядерній енергетиці, урядом країни планується очолити ядерні технології шляхом масштабного будівництва у наступні 30 років. У стратегії передбачається, що Великобританія розгорне програму цивільної ядерної енергії для збільшення частки споживання ядерної енергії з 15 до 25 % до 2050 року.

Однак світові лідери можуть й переосмислювати можливість використання ядерної енергії як такої у разі виникнення катастроф на атомних станціях. Але це твердження не завжди підтверджується фактами. На прикладі катастрофи на Фукусімі, Чо робить висновок, що справжньою причиною поетапної відмови від ядерної енергії в Німеччині та в Південній Кореї стала поява нових можливостей та політичних рамок, а не катастрофа на атомній станції. Тому лідерство в атомній енергетиці має велике значення. Зміна світових політичних та економічних умов автоматично змінює погляди на атомну енергетику. Зважаючи на геополітичні виклики в енергетичній сфері у 2022 році, в ЄС вирішили переглянути «Регламент про таксономію» щодо екологічно сталої економічної діяльності, та розглядати генерацію енергії з атомних електростанцій як засіб декарбонізації та досягнення кліматичних цілей країнами-членами.

Проте зараз у ядерній енергетиці все ще залишаються безпекові ризики, оскільки світовими лідерами з експорту сировини та ядерних технологій є Росія та Китай. І саме ці країни у майбутньому можуть встановлювати норми ядерної безпеки та торгівлі ядерними енергетичними ресурсами. Участь у програмах будівництва атомних електростанцій та їх подальше обслуговування дає країнам додаткові точки впливу на політику сторонніх країн.

Станом на 2020 рік, Росатом мав першість у світі з будівництва атомних електростанцій (побудував 36 атомних станцій) та зі збагачення урану (контролював 36% світового ринку). А також Росатом займав другу позицію у

світі з обсягів урану та їх добування. Росатом поза межами Росії обслуговує 49 енергоблоків для атомних станцій. Серед найбільш значимих проєктів Росатому у 2020 році були такі проєкти: Akkuyu NPP (Туреччина), Proryv Project (Росія), Hanhikivi NPP (Фінляндія). Стосовно останнього проєкту, то Fennovoima розірвала контракт з Росатомом на будівництво Hanhikivi NPP у травні 2022. Основною причиною розірвання контракту Fennovoima називає значні затримки виконання проєкту та нездатність Росатомом виконати проєкт через війну Росії з Україною. Проєкт же Akkuyu NPP, на думку Korkmaz & Önöz. Проєкт же Akkuyu NPP, на думку Korkmaz & Önöz [40], не є оптимальним варіантом для Туреччини. За їх дослідженням, ядерна енергетика у майбутньому буде збільшувати витрати на виробництво електроенергії у Туреччині, а не зменшувати їх. І краще інвестувати у відновлювані джерела енергії (особливо, - в генерацію вітра та сонця) та в технології зберігання енергії, що є більш ефективним варіантом з точки зору витрат. Відновлюванні технологіями у поєднанні з новітніми технологіями зберігання енергії зможуть забезпечити базове навантаження у Туреччині. Також для проєкту Akkuyu NPP не підтверджується аргумент про збільшення енергетичної безпеки країни з огляду на зменшення залежності від імпортованих джерел енергії. У Туреччині замалі запаси ядерного палива. Тому, будівництво першої атомної станції буде потенційно збільшувати енергетичну залежність Туреччини. А залежність країни від імпортованих джерел енергії робить ядерну енергетику потенційно вразливою до розгортання геополітичних конфліктів.

В даному дослідженні використовувалися річні дані Євростату з бази “Simplified energy balances” для ЄС27 за 1990-2020 рр. Для цілей дослідження автори обрали два індикатори, а саме: чистий імпорт та валова доступна енергія. Ці індикатори були основою для дослідження енергетичної безпеки країн ЄС27, одним з показників якої є коефіцієнти енергетичної залежності. Коефіцієнт енергетичної залежності (dependency) розраховувався авторами відповідно до методології Євростату як частка між чистим імпортом та валовою доступною енергією.

З метою проведення подальшого машинного аналізу, коефіцієнти енергетичної залежності були стандартизовані. Після цього, виконувався факторний аналіз для виявлення зв'язків між змінними та прихованими факторами. Таким чином автори перевіряли гіпотезу про існування латентних зв'язків між змінними енергетичної безпеки в ЄС27. Тестування гіпотези здійснювалося з допомогою тесту Bartlett's sphericity та критерію Kaiser-Meyer-Olkin. Факторний аналіз виконувався з допомогою модулю FactorAnalyzer (release 0.4.0) in Python.

Візуальна діагностика кореляції між індексами енергетичної залежності з допомогою діагональної кореляційної матриці показує переважно відсутність такого взаємозв'язку для даних, що не були стандартизовані (рисунок 1.1). Лише для двох країн (Кіпру та Люксембургу) спостерігається протилежне.

Для виявлення латентних зв'язків між змінними енергетичної безпеки був виконаний факторний аналіз. Після стандартизації даних, існування таких зв'язків було перевірено з допомогою тесту Bartlett's Sphericity та критерію Kaiser-Meyer-Olkin (таблиця 1.1). Оскільки p-value є значно меншим за 0,05, тест Bartlett's Sphericity є статистично значущим і можливо виконати факторний аналіз. Критерій Kaiser-Meyer-Olkin також показує адекватність можливого прогнозування набору змінних.

Враховуючи матрицю факторної кореляції, були обчислені власні вектори (eigenvalues). Після чого відбувався пошук статистично значущих факторів. Був побудований scree plot (рисунок 1.2) та використовувався Kaiser критерій для визначення кількості факторів, що необхідно зберегти при проведенні аналізу. Для даного випадку, як добре видно з графіку, число таких факторів дорівнює чотирьом.

Таблиця 1.1 - Дисперсія, пояснена факторами

Index	Returns	Thresholds
p-value for Bartlett's sphericity test	2.2408280399565725e-95	< 0.05
Kaiser-Meyer-Olkin criterion	0.6767029066572187	> 0.6

Джерело: побудовано на основі [19]

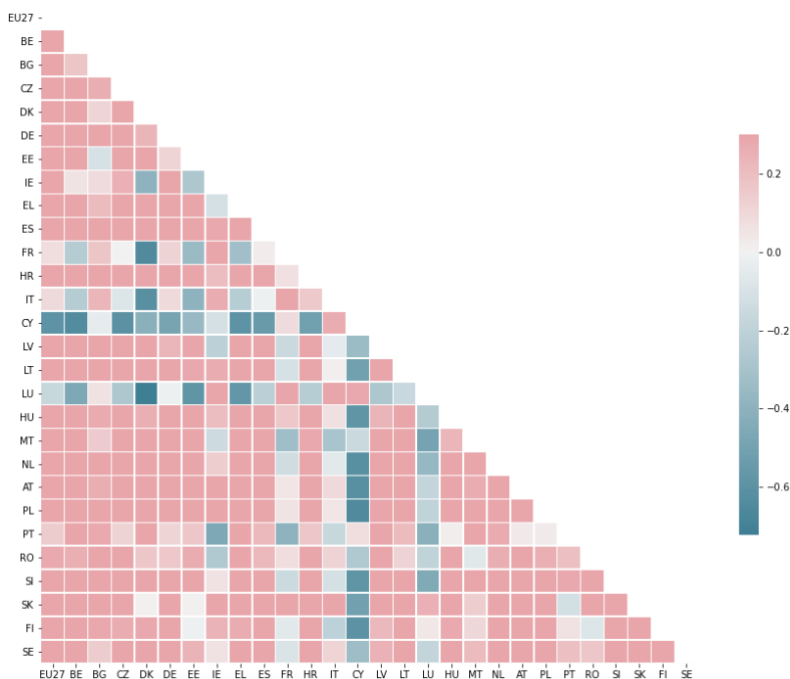


Рисунок 1.1 – Матриця діагональної кореляції для показників енергетичної залежності, ЄС-27, 1990-2020 рр.

Джерело: побудовано на основі [19]

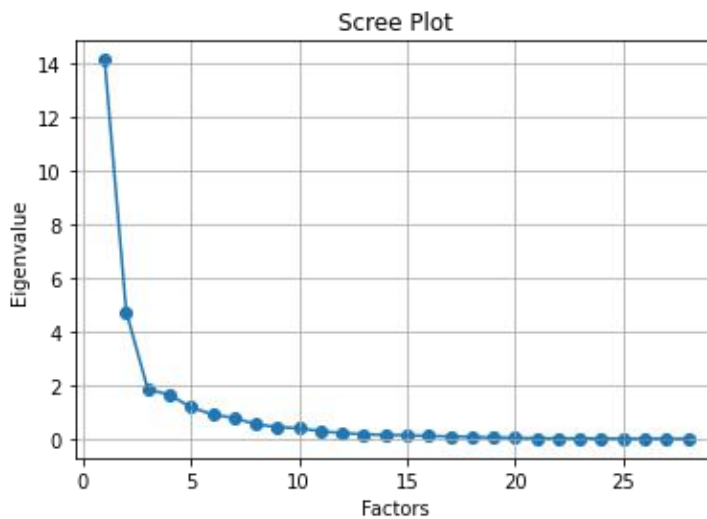


Рисунок 1.2 - Графік осипів для показників енергетичної залежності, ЄС-27, 1990-2020 рр.

Джерело: побудовано на основі [19]

Для отримання вихідного рішення використовувалась модель з вилученням основних факторів (principal factor extraction) з обертанням варімакс (varimax rotation). Отримана модель для чотирьох факторів дозволила описати близько 80% кумулятивної дисперсії (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Дисперсія, пояснена факторами

Index	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
variance	13.128425	4.424757	3.055241	1.788647
proportional variance	0.468872	0.158027	0.109116	0.063880
cumulative variance	0.468872	0.626899	0.736015	0.799895

Джерело: побудовано на основі [19]

У результаті виконання факторного аналізу з ротацією промакс було виконане дослідження енергетичної безпеки країн ЄС27. Факторний аналіз проводився для річних індексів, що були розраховані з використанням бази даних Євростату “Simplified energy balances”. У роботі була перевірена гіпотеза про існування латентних зв'язків між змінними енергетичної безпеки для 27 країн ЄС. Тестування гіпотези здійснювалося з допомогою тесту Bartlett’s sphericity та критерію Kaiser-Meyer-Olkin. Перевірка гіпотези показала її статистичну значущість ($p < 0.05$) та можливість проведення факторного аналізу. Індеси відповідності також показали адекватність можливого прогнозування набору змінних. Факторний аналіз виконувався з допомогою модулю FactorAnalyzer (реліз 0.4.0) у Python. Отримана модель для чотирьох факторів дозволила описати близько 80% кумулятивної дисперсії. Встановлено, що кожним фактором окремо пояснювалося відповідно 46.89%, 15.80%, 10.91%, 6.39% дисперсії.

2 ФОРМУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ ЕКОСИСТЕМНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ

Транскордонні проєкти відновлюваної енергетики можуть бути дієвим інструментом підвищення енергетичної безпеки. Проте їх реалізація не завжди можлива зважаючи на істотні відмінності між країнами. У роботі Burghard et al. наводяться результати інтерв'ю експертів з Іспанії, Німеччини та Нідерландів, що були зібрані авторами при оцінюванні можливостей реалізації транскордонних проєктів енергії сонця. Вони виявили негативні сторони таких проєктів відповідно до проведеного ними дослідження, а саме: складність реалізації, відмінності інтересів країн-партнерів та високі витрати їх реалізації, що заважають широкому використанню таких проєктів в ЄС [3]. Аналогічні висновки отримали і Juszczuk et al. в результаті опитування експертів з Фінляндії та Польщі стосовно бар'єрів для поширення відновлюваної енергетики. Окрім зазначеного вище, експерти акцентують увагу на політичних бар'єрах у галузі відновлюваної енергетики. Польські експерти наголосили на існуванні значного вугільного лобі у країні: у Польщі надають переважно підтримку вугільним компаніям, а не тим, - що впроваджують технології відновлювальної енергетики [34, 62].

Подібна ситуація з обмеженою підтримкою виробників відновлюваної енергії є і в Білорусі. Після газових суперечок з Росією, уряд Білорусі розвивав вітроенергетику для зменшення своєї енергетичної залежності від Росії. Проте з запуском енергетичного блоку Astravets NPP у 2020 році, вітроенергетика в Білорусі стала розглядатися як дорога, надлишкова та непотрібна. Були знижені зелені тарифи та введені квоти на вітроенергетику [52].

Але навіть декларативне лідерство країн, що спрямоване на декарбонізацію власних енергетичних систем, насправді зовсім не означає зменшення споживання “брудної” енергії. З впровадженням жорстких вимог EU ETS, що діють у державах ЕЕА-ЕФТА, частка внутрішнього виробництва викопної енергії скоротилася приблизно на 50% у 2019 році порівняно до 1960

року. Проте в європейських країнах відбулося одночасне зростання імпорту викопної енергії приблизно на 40% у той самий часовий проміжок. Незважаючи на амбітні цілі виробництва відновлюваної енергії в Європі, країни все ще покладаються на звичне споживання енергії з викопного палива, збільшуючи свою власну енергетичну залежність від третіх країн з меншими екологічними вимогами [63].

Є і критика відновлюваних джерел енергії. Sergibozan досліджуючи панельні дані для країн OECD робить висновок, що не всі види відновлюваних ресурсів зменшують ризик енергетичної безпеки. Так, між загальним обсягом відновлюваної енергії, енергії вітру та гідроелектроенергії існує позитивна тенденція до зниження ризику енергетичної безпеки. У той час, як для енергії сонця та біопалива автор не виявив такої тенденції [6]. Крім того, Hof et al. акцентує увагу, що точаться дебати стосовно можливості повномасштабного використання біоенергетики. Існують занепокоєння у спільноті стосовно того, що сировина з біомаси не є вуглецево-нейтральною. І при виробництві енергії з біомаси існують ризики витоку вуглецю при його уловлюванні та зберіганні [28]. Проте у багатьох роботах висвітлюється і протилежна точка зору, - що біопаливо сприяє забезпеченню національної енергетичної безпеці [12,26,50,61]. Незважаючи на можливості гнучкої генерації біоенергетики, розгортання біоенергетичних технологій практично відсутнє у більшості стратегій розбудови національних енергетичних систем. Натомість національні стратегії зосереджуються на розвитку гідроенергетики та побудові міжнародних інтеграційних енергетичних мереж з метою балансування нестабільної генерації відновлюваних джерел енергії [67].

Вже зараз існуючі технології відновлюваної енергетики могли б забезпечити перехід до низьковуглецевих генерації та споживання енергії, та вирішити питання енергетичної безпеки. Однак прогрес декарбонізації енергетичного сектору залишається повільним. Швидкі зелені трансформації є не можливими через існування жорстких інституцій, розрізненої енергетичної

політики та цілей, а отже й боротьби за владу та відсутності лідерства щодо стратегічних змін в енергетиці [53,75].

Для даного дослідження були отримані публічні вторинні дані з Twitter. Знеособлені текстові повідомлення (твіти) збиралися для вивчення публічної думки з питань енергетичної безпеки та лідерства.

Для формування напівструктурованої бази дослідження використовувався ручний розширений пошук у Twitter з встановленими користувацькими фільтрами. Ми відфільтрували 981 повідомлення за допомогою хештегу #energysecurity з 01 січня по 04 березня 2022 року. При цьому ми знайшли та видалили 54 повтори твітів, тобто фактично отримали 927 унікальних повідомлень. В подальшому дані пройшли попередню обробку (data preprocessing), а саме: були видалені розділові знаки, http-посилання, знаки хештегів, був встановлений нижній регістр (lower case) для всіх твітів, виконана лематизація та токенізація слів, видалені стоп-слова.

За результатами аналізу думок у твітах (opinion mining in tweets), несподівано для нас більшість повідомлень мали позитивне забарвлення, а не негативне чи нейтральне (рисунок 2.1, 2.2).

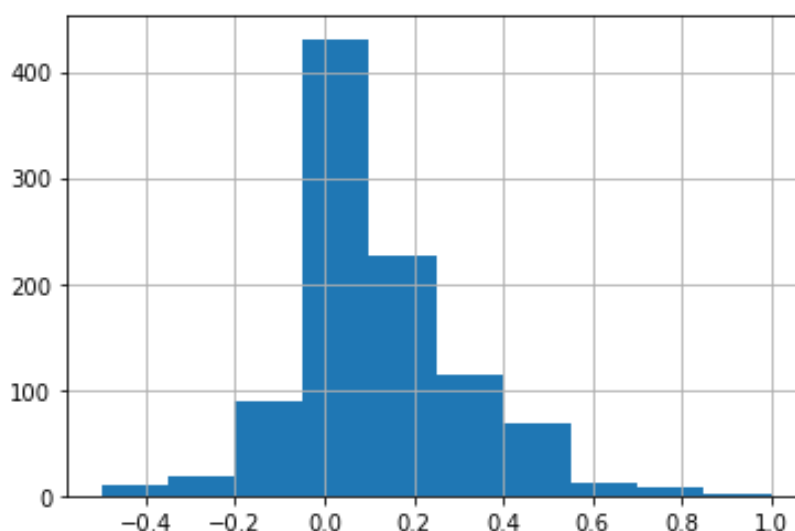


Рисунок 2.1 - Гістограма полярності твітів, отриманих за хештегом «energysecurity» з 1 січня по 4 березня 2022 року

Для класифікації важливих питань енергетичної безпеки, що становили суспільний інтерес протягом періоду дослідження, використовувався метод розпізнавання іменованих сутностей (named entity recognition). Для цього завдання були побудовані нейронні мережі з машинним навчанням на базі бібліотеки програмного забезпечення spaCy у Python. Даний метод дозволив нам видобути інформацію з текстів твітів про найбільш поширені організації, країни, а також частини мови (іменники, дієслова та прикметники), що згадувалися у обраних твітах.

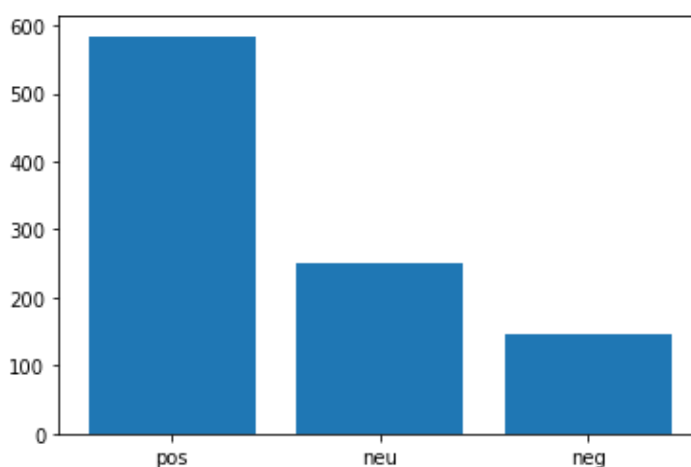


Рисунок 2.2 - Гістограма настроїв твітів, отриманих із використанням хештегу «energysecurity» з 1 січня по 4 березня 2022 року

Для кращого розуміння новітньої громадської думки з питань енергетичної безпеки та лідерства ми провели аналіз текстового набору даних. Використовуючи метод розпізнавання іменованих сутностей (named entity recognition), були виділені організації-лідери, що найбільш часто згадувалися у повідомленнях вибірки, сформованої з Twitter. Помітно, що до топ п'яти організацій за кількістю згадок у повідомленнях Twitter входили урядові структури ЄС, США (the White House and SEC) та Росії (kremlin), а також один автономний міжнародний орган (the International Energy Agency). Що ж стосується країн, що згадувалися громадськістю у контексті енергетичної безпеки у січні-березні 2022 року, то перш за все слід назвати Росію. Саме з діями

Росії пов'язували у цей період стан енергетичної безпеки інших країн. І значно менше посилалися у твітах на США, ЄС, Китай чи Канаду.

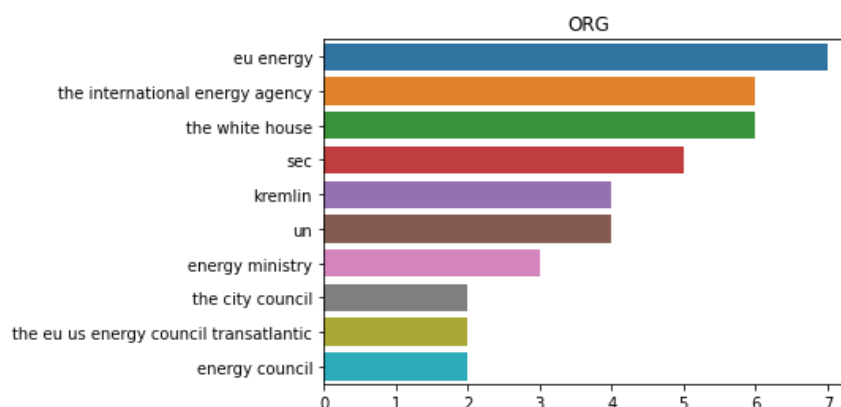


Рисунок 2.3 - Найбільш поширені твіти організацій, отримані з використанням хештегу «energysecurity» з 1 січня по 4 березня 2022 року

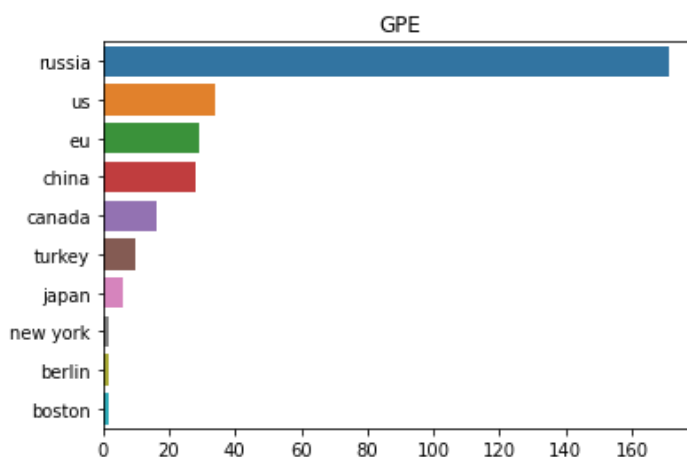


Рисунок 2.4 – Країни та міста, які найчастіше твітують з використанням хештегу «energysecurity» з 1 січня по 4 березня 2022 р.

Якщо ж запитувати про різні види енергетичних ресурсів, відповідно до яких у суспільства було занепокоєння щодо стану національної енергетичної безпеки, то відповідь можливо знайти серед найбільш поширених іменників у твітах.

З діаграми можливо зрозуміти нестача яких енергетичні ресурси часто турбувала громадськість. Отже, найбільше суспільство хвилювалось про газову безпеку і менше нафтову та ядерну безпеку. Багато твітів висловлюють стурбованість тим, що військові дії Росії призведуть до збільшення дефіциту нафти і газу навіть без введення широкомасштабних санкцій проти Росії. Більшість ключових слів серед найбільш поширених дієслів у твітах є прямим заклик до більш активних дій та лідерства. Дієслова, що найбільше зустрічалися у твітах містили “be,” “ensure,” “have,” “take,” “reduce.” У той же час, найбільш поширеними прикметниками у твітах були такі слова, як “new,” “nuclear,” “global,” “green,” “economic,” “renewable.” У період, що розглядався, був присутній запит суспільства на нову енергетичну політику, що зможе вирішити енергетичну кризу. Навесні 2022 у твітах активно обговорювалися нові енергетичні політики ЄС та США, що передбачали зміну поглядів на умови забезпечення натуральним газом, можливості нової генерації атомної енергії та відновлюваної енергії.

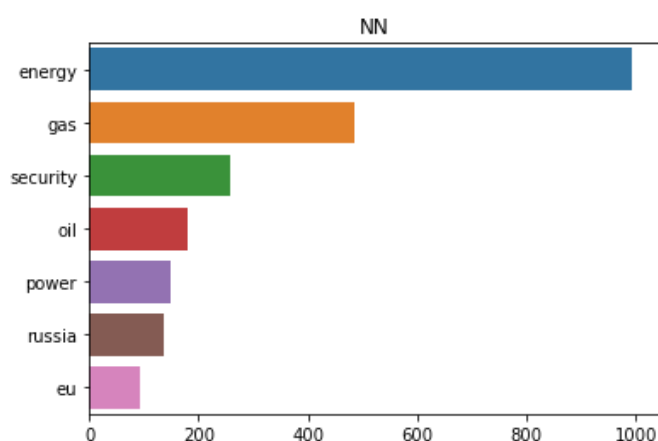


Рисунок 2.5 - Найбільш загальні іменники-твіти, отримані з використанням хештегу «energysecurity» з 1 січня по 4 березня 2022 року

З біграм та триграм ключових слів твітів можливо побачити, що з питаннями енергетичної безпеки активно зв'язується інфраструктура зберігання енергетичних ресурсів. Саме недостатньо розвинена інфраструктура зберігання

в енергетиці є одним з чинників, що посилює наслідки геополітичного тиску на країни, підвищує вразливість країн. Як наслідок, відбуваються спекуляції на ринку енергетичних ресурсів, значно підвищилися рахунки (bills) у кінцевих користувачів енергетичних ресурсів. Оскільки переважно з натуральним газом була пов'язувана енергетична криза у 2022 році, зовсім не дивними є заклики у твітах на розбудову нових підземних газових сховищ.

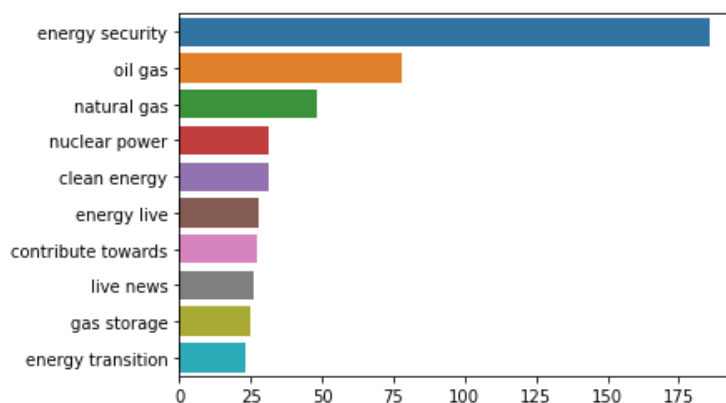


Рисунок 2.6. Біграми твітів (після видалення стоп-слів), отриманих за хештегом «energysecurity» з 1 січня по 4 березня 2022 року

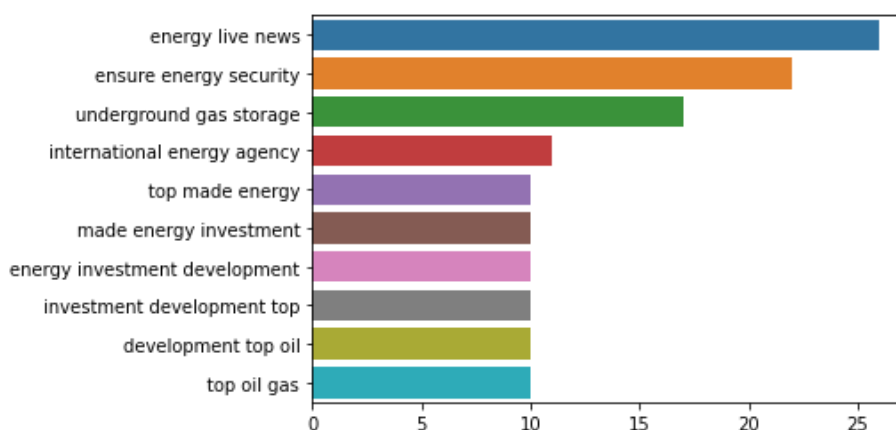


Рисунок 2.7. Триграми твітів (після видалення стоп-слів), отриманих за хештегом «energysecurity» з 1 січня по 4 березня 2022 року

У 2022 році відбулося загострення енергетичної кризи, що була пов'язана з геополітичним тиском, санкціями та енергетичним шантажем. Зростання

уразливості існуючих каналів постачання енергетичних ресурсів дає поштовх до перегляду національних політик енергетичної безпеки. Використовуючи соціальні платформи, такі як Twitter, можливо оцінити та зрозуміти громадську думку з питань енергетичної безпеки, а також сформувати нову політику лідерства в енергетиці, що буде базуватися на аналізі великих масивів текстових даних.

Дослідження демонструє, що найбільше суспільство хвилювалось про газову безпеку і менше нафтову та ядерну безпеку. У багатьох твітах висловлена стурбованість тим, що військові дії Росії призведуть до збільшення дефіциту нафти і газу навіть без введення широкомасштабних санкцій проти Росії. Тому лідери, які шукають суспільну підтримку, повинні найближчим часом розглянути енергетичні інвестиції в підземні сховища газу, посилення енергетичної самодостатності та інфраструктури чистої енергії. Подальший аналіз слід виконати для виявлення ціннісних характеристик у громадськості для зміни векторів енергетичної безпеки.

3 НІВЕЛЮВАННЯ КОНФЛІКТІВ СТЕЙКХОЛДЕРІВ: БЕЗПЕКОВІ ПАТЕРНИ В РАМКАХ СТРАТЕГІЇ РОЗУМНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ МІЖ СЕКТОРАМИ

Сьогодні актуальним на глобальному рівні є перебудова національних економік з метою забезпечення зростання і зниження антропогенного навантаження. Зелена угода, яку активно впроваджує ЄС, базується на принципах інклюзивності та кліматичної нейтральності. Вони, насамперед, спрямовані на скорочення використання викопного палива та перехід на відновлювані джерела енергії. В той же час, екологічна ситуація в Україні є незадовільною, вона характеризується забрудненням навколишнього середовища: атмосферного повітря, водних та земельних ресурсів, збільшенням питомої ваги забруднення на душу населення. Відновлювані джерела енергії переживають в Україні кризу після бурхливого запуску. В цьому ракурсі важливо розуміти, в яких наукових площинах проводяться дослідження екосистемної трансформації енергетичного сектору. Що в свою чергу стане базисом для розвитку нових наукових напрямків. Це допоможе зрозуміти, які напрямки зараз розвиваються, а які почнуть розвиватися найближчим часом, у які технології краще інвестувати.

Метою дослідження є проведення бібліометричного аналізу наукових публікацій з екосистемної трансформації енергетичного сектору. Це дозволяє сформуванню цілісного уявлення про наявні дослідження за вибраними темами, визначити найвпливовіші видання, авторів та наукові інституції, проаналізувати напрямки наявних та дослідити потенціал майбутніх наукових досліджень. Головними завданнями дослідження є: аналіз динаміки публікацій, головних напрямів досліджень, географії, авторів, наукових інституцій, які проводять і фінансують дослідження; аналіз рівня цитування; визначення ключових напрямів наукових досліджень та дослідження їх потенціалу в майбутньому.

В ході дослідження були обрані наукові публікації присвячені процесам трансформації енергетичної галузі на принципах сталого розвитку, які розміщені у науковометричній базі Web of Science. Початковий відбір проводився на основі великої кількості запитів. Отримано найбільш релевантні результати за запитом «green» у назвах публікацій та запитом «energy transformation» у темі публікацій. Виявлено більше 600 наукових публікацій, опублікованих протягом 1991- 2021 років. За кожним аналізованим показником (кількість, географія, цитованість, інституції тощо) було визначено десять найпопулярніших наукових галузей, країн, організацій, публікацій, авторів. Динаміку публікацій, сфери діяльності, країни авторів, публікації, організації, що фінансують дослідження, авторів та найбільш цитовані публікації аналізували за допомогою Web of Science Analyzer. На основі ключових слів було проведено ієрархічний кластерний аналіз. Кластери були виділені за допомогою програмного забезпечення VOSviewer. Було відібрано ключові слова з більш ніж п'ятьма ітераціями, за винятком географічних назв.

Науковий інтерес до обраної тематики прослідковується з початку 1990х років, коли була опублікована перша наукова стаття на дану тематику. Наразі в базі даних Web of Science знайдено 646 публікацій на обрану тематику (рисунк 3.1).

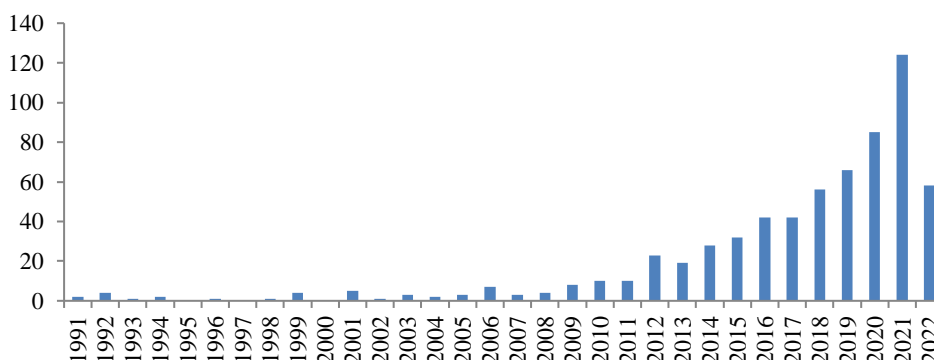


Рисунок 3.1 - Динаміка кількості наукових публікацій за запитом «Green» & «Energy Transformation»

Джерело: складено авторами на основі Web of Science

Як видно з рисунку 3.1, починаючи з 2018 року, кількість наукових документів, опублікованих на тему екосистемної трансформації енергетичного сектору, суттєво зростає, починаючи з 2012 року. Переважна більшість (близько 60%) наукових робіт опубліковано починаючи з 2018 року. Відповідна динаміка може бути пов'язана зі щорічним зростанням інтересу до концепції сталого розвитку. Окрім цього, зросли інтереси різних наукових галузей (економіки, інженерії, хімії, фізики тощо) до ключових напрямків досліджень предмету (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Ключові напрямки досліджень трансформаційних процесів в енергетиці

Наукові напрями	Кількість праць	% від загальної кількості публікацій
Науки про навколишнє середовище Екологія	180	27,9
Інженеря	151	23,4
Хімія	137	21,2
Науки про технології	131	20,3
Енергетика	89	13,8
Фізика	58	9,0
Економіка	53	8,2
Матеріалознавство	47	7,3
Будівництво	23	3,6
Телекомунікації	19	2,9

Джерело: складено авторами на основі Web of Science

Більшість досліджень проводяться в рамках наук про навколишнє середовище, екології, інженерії, хімії та інших наукових технологіях. Разом вони охоплюють 90% видань. При цьому лише 8,2% публікацій стосуються економіки та бізнесу. Крім традиційної енергетики, є дослідження в будівництві та телекомунікаціях. В структурі наукових публікацій найбільшу питому вагу

становлять наукові статті (80% публікацій) та матеріали наукових конференцій (20% публікацій).

Загальна структура цитувань дозволяє проаналізувати кількість документів щодо порогу цитування (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Загальна структура цитування

Кількість цитувань	Кількість публікацій	% від загальної кількості публікацій
>400 цитувань	3	0,5%
>300 цитувань	4	0,6%
>200 цитувань	7	1,1%
>100 цитувань	24	3,7%
>50 цитувань	66	10,2%
>20 цитувань	144	22,3%
>10 цитувань	240	37,2%

Джерело: складено авторами на основі Web of Science

Результати, представлені в таблиці 3.2, свідчать про те, що 37,2% публікацій отримали не менше десяти цитувань, а 22,3% отримали більше 20 цитувань. Лише чотири публікації отримали понад 300 цитувань, а три статті отримали понад 400 цитувань. Н-індекс групи публікацій – 57 (57 статей процитовані понад 57 разів). Загалом всі 646 публікації мають загальну кількість цитувань – 13907. В середньому один документ цитувався 21,53 разів. 76,8 публікацій мають хоча б одне цитування, при цьому цитованих робіт у 2021 році (загальна кількість цитувань у 2021 році – 3129).

З точки зору географічної кластеризації, науковці з 72 країн провели дослідження екосистемної трансформації енергетичного сектора. В таблиці 3.3 представлено ТОП-10 країн за кількістю публікаційної активності.

Таблиця 3.3 Топ-10 країн, автори яких проводять дослідження екосистемної трансформації енергетичного сектору

Країна	Кількість публікацій	% від загальної кількості публікацій	Кількість цитувань	% від загальної кількості цитувань
1	2	3	4	5
Китай	234	36.2	3268	23,5%
США	91	14.1	4130	29,7%
Індія	60	9.3	976	7,0%
Великобританія	42	6.5	1140	8,2%
Німеччина	40	6.2	1112	8,0%
Італія	29	4.5	652	4,7%
Австралія	25	3.8	790	5,7%
Франція	25	3.8	1274	9,2%
Польща	23	3.6	160	1,2%
Іспанія	21	3.3	614	4,4%

Джерело: складено авторами на основі Web of Science

Як видно з таблиці 3.3, більшість робіт були опубліковані китайськими вченими. Проте рівень цитованості наукових публікацій вищий у науковців з США. Також, частка цитованих робіт перевищує частку публікацій учених Англії, Німеччини, Австралії, Франції, Іспанії.

Дослідження джерел фінансування наукових досліджень засвідчило, що понад 500 організацій фінансують дослідження трансформації екосистем в енергетичному секторі (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 - Організації, які фінансують дослідження екотрансформацій в енергетичному секторі

Організації, як фінансували дослідження	Країна	Кількість публікацій	% від загальної кількості публікацій
1	2	3	4
Національний фонд природничих наук Китаю	Китай	107	16,4
Європейська комісія	ЄС	24	3,7
Фонди фундаментальних досліджень для центральних університетів	Китай	17	2,6

Продовження табл. 3.4

1	2	3	4
Національний науковий фонд	США	12	1,9
Фон дослідження інновацій	Великобританія	12	1,9
Міністерство енергетики США	США	12	1,9
Національний фонд соціальних наук Китаю	Китай	11	1,7
Національна ключова програма досліджень і розвитку Китаю	Китай	10	1,5
Уряд Іспанії	Іспанія	9	1,4
Комісія з університетських грантів	Індія	9	1,4

Джерело: складено авторами на основі Web of Science

Як видно з таблиці 3.4, 34,4% етапів дослідження фінансуються десятима організаціями. Більшість досліджень фінансується Національним фондом природничих наук Китаю (Nsfс). Також, в першу десятку потрапили ще три організації з Китаю. Значну кількість робіт також фінансують наукові установи ЄС, США та Англії. Окрім цього, помітним є зростання науковго інтересу та фінансування дослідження інноваційних ідей сталої трансформації енергетики з боку Іспанії та Індії. В таблиці 3.5 представлено найбільш авторитетних авторів з досліджуваної тематики.

Таблиця 3.5 – ТОП-10 авторів з найбільшою кількістю публікацій з екосистемної трансформації енергетичного сектору

Автори	Країна	Кількість публікацій	Кількість цитувань	Середня кількість цитувань на рік
Чжан К.	Китай	6	73	12,2
Лі Ю.	Китай	6	62	10,3
Ван Х.	Китай	5	93	18,6
Ван Л.	Китай	4	88	22,0
Лі Х.	Китай	4	55	13,8
Дідеріксен К.	Німеччина	4	49	12,3
Альтенбург Т.	Німеччина	4	43	10,8
Анпалаган А.	Канада	4	41	10,3
Наїм М.	Пакістан	4	41	10,3
Лю Х.	Китай	4	37	9,3

Джерело: складено авторами на основі Web of Science

Як видно з таблиці 3.5, більшість науковців мають афіліацію Китаю. Найбільш цитованими авторами є Ван Х. і Ван Л., вони мають як найбільшу кількість цитувань, так і найвищу середню кількість цитувань для своїх чотирьох публікацій.

Наукові публікації з тематики сталої трансформації енергетичної галузі представлені в більше ніж 100 високореєтингових наукових журналах. В таблиці 3.6 представлені наукові журнали з найбільшою кількістю відповідних публікацій.

Таблиця 3.6 – Наукові журнали з найбільшою кількістю публікацій про екосистемну трансформацію енергетичного сектору

Назва журналу	Кількість публікацій	% від кількості публікацій	Загальна кількість цитувань
Sustainability	30	4,6	176
Journal of Cleaner Production	27	4,2	705
Energies	16	2,5	60
Environmental Science And Pollution Research	15	2,3	26
Applied Energy	10	1,5	368
Rsc Advances	8	1,2	168
Energy Policy	6	0,9	17
Environmental Science Technology	5	0,8	81
New Journal of Chemistry	5	0,8	60
Renewable Sustainable Energy Reviews	5	0,8	98

Джерело: складено авторами на основі Web of Science

Як видно з таблиці 3.6, в представлених журналах опубліковано близько 20% наукових робіт. Хоча більшість робіт було опубліковано в журналі Sustainability, найбільша середня кількість цитувань у журналах Applied Energy, Journal of Cleaner Production, Rsc Advances. Кожна опублікована в них робота

цитується більше 20 разів. Найбільш цитовані наукові публікації з аналізованої тематики наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - The most cited publications on the ecosystem transformation of the energy sector (source: developed by the authors based on WoS [39–48])

Автор, рік публікації	Журнал	Середня кількість цитувань на рік	Кількість цитувань
Yoon T.P. , Ischay M.A. and Du J.N. (2010)	Nature Chemistry	140,9	1831
Hockerts K. and Wustenhagen R. (2010)	Journal of Business Venturing	40,3	524
Thomas B., Raj M.C. , Athira K.B. , Rubiyah M.H. et al. (2018)	Chemical Reviews	94,4	472
Gillet S., Aguedo M. , Petitjean L. et al. (2017)	Green Chemistry	58	348
Kruse O., Rupprecht J. , Bader K.P. et al. (2005)	Journal of Biological Chemistry	13,3	240
Clark J. H., Budarin V. , Deswarte F.E.I. et al. (2006)	Green Chemistry	13,5	229
Sharma V.K. , Zboril R. and Varma R.S. (2015)	Accounts of Chemical Research	27,6	221
Hansen H.C.B. , Borggaard O.K. and Sorensen J. (1994)	Geochimica et Cosmochimica Acta	6,6	192
Wendy P.Q.N. , Lam H.L. , Ng F.Y. et al. (2012)	Journal of Cleaner Production	16,5	181
Zhang N., Yang M.Q. , Tang Z.R. et al. (2013)	Journal of Catalysis	17,7	177

Джерело: складено авторами на основі Web of Science

В рамках дослідження тематичний напрямків сучасних досліджень екосистемної трансформації енергетичного сектору проведено ієрархічний кластерний аналіз ключових слів із кількістю повторень більше 5 разів. Його візуалізація представлена на рисунку 3.2.

Результати кластеризації, представлені на рисунку 2 свідчать про те, що більшість досліджень присвячено трансформації, продуктивності, енергетиці, відновлюваній енергетиці, сталому розвитку, енергоефективності та зеленій економіці.

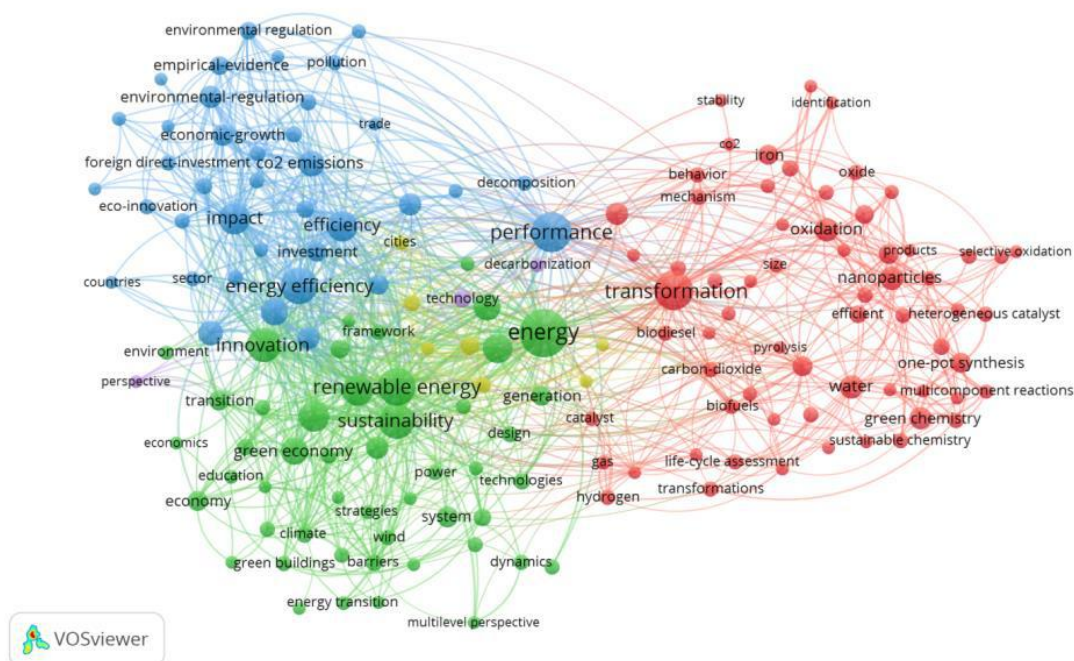


Рисунок 3.2 - Кластерний аналіз за запитом Green & Energy Transformation

Джерело: побудовано авторами на основі Web of Science за допомогою інструментарію VOSviewer.

Наразі існує п'ять основних напрямів (кластерів) досліджень екосистемної трансформації енергетичного сектору. Їх характеристики та найбільш поширені ключові слова представлені в таблиці 3.8.

Дані таблиці 3.8 свідчать про те, що найбільший кластер присвячено характеру перетворень (синтез, окиснення тощо). Другий кластер пов'язаний з економічними аспектами використання відновлюваної енергії. Третій кластер спрямований на оцінювання ефективності перетворень енергії. Дослідження з четвертого кластеру зосереджені на впливі трансформацій на клімат. П'ятий кластер присвячений використанню технологій перетворення енергії.

Зазначимо, що найбільший прорив у дослідженнях екосистемної трансформації енергетичного сектору стався у 2016-2020 роках, про що свідчить рисунку 3.3.

Таблиця 3.8 - Description of clusters on ecosystem transformation of the energy sector

Кластер	Ключові слова	Посилання	Загальна потужність зв'язку	Совпадения
Красний кластер: трансформація (65 елементів)	Трансформація, окислення, наночастини, зелена хімія, вода, біомаса, сталий синтез, водень, газ, залізо	83	141	45
Зелений кластер: енергія (49 елементів)	Енергія, відновлювана енергія, стійкість, інновації, генерація, зелена економіка, модель, перехід, генерація, економіка, система	108	256	72
Синій кластер: ефективність (38 елементів)	Продуктивність, енергоефективність, ефективність, вплив, інвестиції, зростання, викиди CO ₂ , емпіричні докази, екологічне регулювання, економічне зростання	87	176	48
Жовтий кластер: кліматичні зміни (7 елементів)	Адаптація, зміни клімату, міста, циркулярна економіка	37	55	11
Фіолетовий кластер: технології (3 елементи)	Декарбонізація, перспективи, технології	26	31	10

Джерело: побудовано авторами на основі Web of Science за допомогою інструментарію VOSviewer.

Як видно з рисунку 3, у 2016–2017 роках найбільше досліджень було присвячено зеленому будівництву, трансформації, органічній хімії, технологіям отримання біопалива, забезпечення стабільності тощо. У 2018-2019 роках ключовими аспектами в наукових публікаціях були види енергії, кліматичні зміни, система, електрика, структура, стратегія, розкладання, оцінка життєвого циклу, фотокаталіз, одноповерховий синтез, гетерогенний каталізатор, ефективність, розкладання, поведінка, механізм, люмінесценція, CO₂, екоінновації, ефективність. Представлена динаміка свідчить про те, що починаючи з 2020 року, актуальності в наукових дослідженнях набувають питання енергетичного переходу, використання електроенергії, водню, генерації енергії, економічні аспекти в енергетиці, впровадження інновацій, дослідження особливостей забруднення довкілля енергетичним сектором, економічного зростання, екологічного регулювання тощо. Важливість забезпечення

енергетичної безпеки як на глобальному, так і на місцевих рівнях, будуть обумовлювати зростання кількості та структури публікацій, присвячених обрані трансформаційним процесам в енергетичному секторі

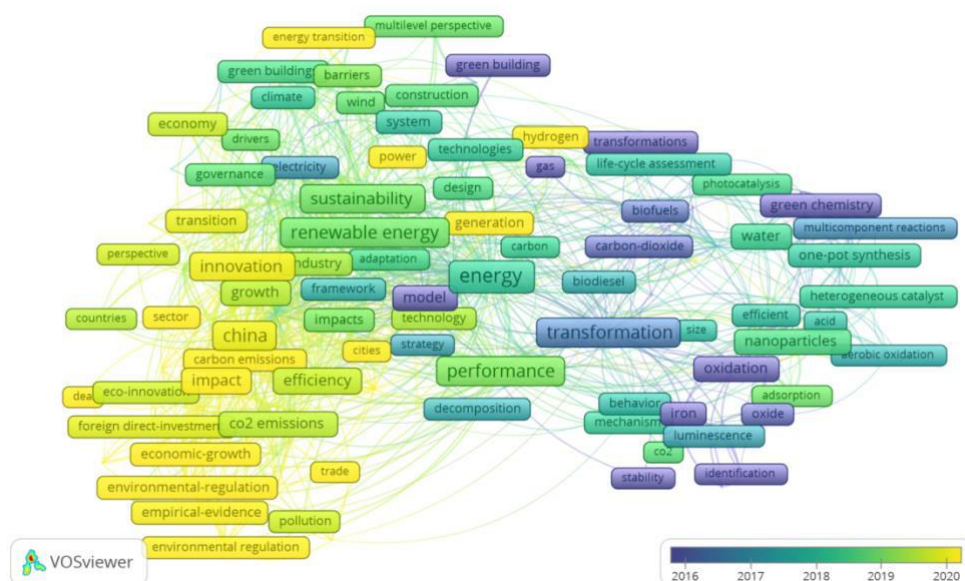


Рисунок 3.3 - Динаміка змін тематики досліджень екосистемної трансформації енергетичного сектору

Джерело: побудовано авторами на основі Web of Science за допомогою інструментарію VOSviewer.

4 ФОРМУВАННЯ СИСТЕМУ КРИТЕРІЇВ ТА ОПИС ПЕРЕДУМОВ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Інвестиційні та інноваційні потоки в останні роки значно прискорилися у ЄС в рамках розгортання відновлюваної енергетики. Збільшення генерації електроенергії відбулося переважно за рахунок потужності вітрової та сонячної енергії, у той час як обсяги виробництва інших відновлюваних джерел залишилися практично не змінними (гідро-, геотермальної енергії або біопалива). За оцінками Євростату, з 2000 по 2019 роки потужність генерації з енергії вітру зросла у чотирнадцять разів, а генерації сонця у 700 разів за той же період. Проте збільшення потужності у сфері відновлюваної енергетики зовсім не рівнозначне зростанню генерації електроенергії. Генерація сонячної та вітрової енергії має змінний характер, та залежить від погодних умов, пори року, географічного розташування. Нові станції не працюють на максимальній потужності постійно, однак їх будівництво та розширення відповідної енергетичної інфраструктури потрібне для виконання цілей ЄС щодо відновлюваних джерел енергії [16]

У наступні роки очікується подальше збільшення частки змінних відновлюваних джерел енергії. За рахунок широкомасштабного інвестування у інноваційні технології енергії вітру та розбудови вітряних офшорних парків передбачається, що саме енергія вітру стане провідним джерелом відновлюваної енергетики в ЄС. Таке лідерство в інноваціях для сталого переходу зустрічається з викликами забезпечення гнучкості пан-європейської енергетичної системи, оскільки розвиток систем акумулювання енергії, технологій реагування на попит відбувається значно повільніше, ніж розвиток відновлюваної енергетики [31]. Проте чи дійсно енергія вітру є кращим варіантом інвестування енергетичних інновацій порівняно до інших відновлюваних джерел енергії з огляду на забезпечення виробництва електроенергії а ЄС? І чи генерація енергії вітру потенційно краще підходить до умов пікового навантаження європейської

енергосистеми? Потребується поглиблення розуміння та математичне моделювання складових відновлюваної генерації електроенергії в ЄС. Тому метою даної статті стало пояснення засобами математичного моделювання детермінованості варіації виробництва електроенергії в ЄС27 за рахунок предикторів чистої генерації електроенергії з окремих видів відновлюваних ресурсів.

Дане дослідження містить п'ять розділів. У другому розділі виконано огляд окремих питань розгортанням енергетичних інновацій та переходу до вуглецево-нейтральної економіки в країнах Європи. У третьому розділі авторами був наданий опис даних та методів дослідження (регресійної моделі перемикання Маркова). Результати моделювання генерації електроенергії в ЄС27 для трьох режимів моделі Маркова подані у четвертому розділі роботи. І висновки завершують дане дослідження.

Проблема інноваційного розвитку досить популярна серед науковців різних галузей. Так, Айоделе О. Дж., Іннокентій І. О. та Гарба С. Дж. [1] досліджували інновації як рушійну силу для посилення взаємодії між внутрішніми та зовнішніми факторами розвитку сільського господарства. Впровадження інноваційних технологій у навчальний процес [77] та зміна парадигми та вимог до навичок і знань випускників і працівників, перехід до концепції «навчання впродовж життя» аналізується [70]. Сигида та ін. [68] визначили зв'язок між інноваціями та Індустрією 4.0 як основу для розвитку Інтернету речей та трансформації інформації. Комерціалізація інновацій добре вивчена, зокрема з точки зору інноваційного впливу інтенсивної комерціалізації постіндустріальної економіки на конкурентні переваги країни в глобальному економічному середовищі [76].

Леонов С., Білан Ю., Рубанов П., Довалієне А., Мар'янські А. [43] аналізують впровадження інноваційних технологій у фінансовий сектор, який нерозривно пов'язаний з функціонуванням інших секторів національної економіки та взаємозалежний з параметрами бізнес-середовища. Самойлікова [66] демонструє результати дослідження світових та європейських рейтингів інноваційного

розвитку, визначає показники фінансової політики, які найбільш суттєво впливають на динаміку інновацій, обґрунтовує причини недостатньої фінансової безпеки інновацій, формалізує функціональні зв'язки між конкурентоспроможністю та інноваційною спроможністю, а також між показниками інноваційної спроможності країни та розвитком бізнесу та

Охеда Ф. А. проаналізував ступінь інноваційності країн за допомогою стратегічної матриці, яка дозволяє оцінити поведінку провідних країн за кожною з діамантових точок, визначити сильні та слабкі сторони існуючої політики, інструменти їх вирішення, пріоритети для кожної стратегії підвищення інноваційності [55]. На цій основі дано визначення поняття «зелений інноваційний діамант».

Колосок С., Білан Ю., Васильєва Т., Войцеховський А. та Моравський М. [39] провели комплексний огляд літератури щодо сучасних досліджень у сфері енергетики, сталого розвитку та інновацій. Протягом тривалого часу відновлювана енергетика відіграла значну роль у дослідженнях вчених. У науковій літературі опубліковано багато результатів досліджень з відновлюваної енергетики. Проте, предмет дослідження значно відрізняється від дослідження до дослідження. Wüstenhagen R., Wolsink M., & Bürer M. J. [79] досліджують соціальні передумови, необхідні для розвитку альтернативної енергетики. Важливість відновлюваних джерел енергії для формування інноваційної енергетичної системи розглянуто Гіленом Д., Бошеллом Ф., Сайгіним Д., Базіліаном М. Д., Вагнером Н. та Горіні Р. [22]. Зменшення негативного впливу на навколишнє середовище шляхом впровадження технологій відновлюваної енергії досліджували Arkewitz P., Kuckshinrichs W., Leitner W. та ін., Горбах Дж., Раммер К. та Реннінгс К. [1].

Автори Вакуленко І. та Мирошніченко І. [74] визначають два підходи до впровадження політики енергоефективності та інновацій в енергетичному секторі економіки на регіональному рівні. У своєму дослідженні автори оцінюють кожен підхід, визначаючи інвестиційні, екологічні, соціальні та організаційні аспекти, а також розробляють практичні рекомендації щодо

вдосконалення розробки та реалізації комплексних програм у сфері енергозбереження та енергоефективності.

Дослідження Вакуленко І. та Мирошниченко І. [74] звертає увагу на значну роль інституційного середовища у розвитку енергетичного сектору. Павлик В. (2020) погоджується та досліджує вплив інституційних детермінант на розрив енергоефективності в економіці та підтверджує це аналізом статистики. Дослідження Ньюелла Р. Г., Джаффе А. Б. та Ставінса Р. Н. [51], незважаючи на тривале дослідження, піднімає все ще важливе питання про зв'язок між енергетикою та темпами інновацій в енергетичній, національній та глобальній економіках.

Bhowmik D. [2] вивчатиме, як поточна енергетична політика впровадження екологічно чистих технологій впливає на викиди CO₂ та ВВП на душу населення в скандинавському регіоні. Враховуючи важливість інституційної складової в реалізації енергетичної політики, Ель Амрі А., Бутті Р., Оулфарсі С., Родхайн Ф., Бузахір Б. стверджують, що контроль викидів парникових газів обмежень у промисловому секторі економіки створює нові можливості для перспективного економічного розвитку. Автори розглядають найбільш ефективні засоби енергоменеджменту, спрямовані на зміну парадигми розвитку енергетики. Павлик В. [56] опублікував аналогічні результати дослідження розриву енергоефективності.

Багато вчених вивчають механізми стимулювання зелених інновацій в енергетиці. При цьому значна увага приділяється інструментам ціноутворення. Лей М., Стукі Т. та Воертер М. [42] детально досліджують вплив цін на енергоносії на екологічні інновації.

Впровадження інноваційних енергетичних технологій можливе лише за наявності надійної системи оцінки їх ефективності. Він допомагає реалізовувати найефективніші інноваційні проекти в енергетиці. Люльов О., Вакуленко І., Пімоненко Т., Квілінські А., Дзвіголь Х., & Дзвіголь-Барош М. [59] і Квілінські [41] досліджували оцінку інноваційних енергетичних технологій, у тому числі розумних мереж. У дослідженні Люльова О., Дзвіголь Х.,

Вакуленко І. та Пимоненко Т. [44] досліджено можливість застосування універсального підходу до оцінки різних видів енергетичних інновацій.

Методологія та методи досліджень. Щомісячні дані, отримані від Євростату, охоплюють період з січня 2017 року по грудень 2020 року. Залежна змінна – виробництво електроенергії в ЄС27 – визначається індексом виробництва електроенергії, і, як зазначено у Таблиці 1, чотири незалежні індекси включено в аналіз.

Для отримання чітких атрибутів даних, авторами даного дослідження було прийнято рішення про їх стандартизацію. Всі параметри моделі були стандартизовані для сприяння пропорційного їх внеску в результат оптимізації моделі. Для вирівнювання середніх значень та середнього квадратичного відхилення для всіх змінних набору даних використовувалося Z-score scaling (4.1):

$$x'_t = \frac{x_t - \mu}{\sigma} \quad (4.1)$$

де x_t – вихідний вектор змінних у час t ,
 μ – середнє значення цього вектору змінних,
 σ – його стандартне відхилення.

Після стандартизації даних, були побудовані графіки для обрання кращої моделі для оцінювання параметрів від реалізації декількох режимів подій (Рисунок 1). Якщо розглядати отримані результати стандартизації даних, то чітко простежуються для країн ЄС27 різні за часом сезонні піки та спади як для індексу загального виробництва електроенергії, так і для індексів чистої генерації енергії з окремих видів відновлюваних ресурсів (гідро, геотермальної, вітра та сонця).

Таблиця 4.1 -Вхідні дані моделі

Indicator	Indicator description	Unit of measure
ei_m	The EU27 production of electricity	Gigawatt-hour (GWh)
nrg_h	The EU27 net electricity generation by hydro power	Gigawatt-hour (GWh)
nrg_g	The EU27 net electricity generation by geothermal power	Gigawatt-hour (GWh)
nrg_w	The EU27 net electricity generation by wind power	Gigawatt-hour (GWh)
nrg_s	The EU27 net electricity generation by solar power	Gigawatt-hour (GWh)

Зважаючи на часті зміни у напрямках розгортання відновлюваної енергетики в ЄС, а отже і випадковий характер рушійних інновацій зеленої енергетики, для даного дослідження була обрана динамічна регресія з перемиканням Маркова модель для оцінювання ефектів енергетичної політики країн ЄС. Вперше механізм Markov-switching був розглянутий у роботі Goldfeld and Quandt [23]. І подальшому Hamilton [27] запропонував метод оцінки даного механізму, а також представив детальний аналіз Markov-switching моделі. Модель знайшла своє поширення для оцінювання різних станів динамічних даних і може бути знайдена у роботах Maneejuk et al. [45], Temkeng and Fofack [69], Moutinho et al. [48].

У загальному вигляді Markov-switching модель має такий вигляд (4.2):

$$y_t = c_s + x_t \alpha_s + z_t \beta_s + \varepsilon_s \quad (4.2)$$

де y_t – залежна змінна, що описує динамічну поведінку ряду даних у час t ,

c_s – вільний член регресії для режиму $s = \{1, \dots, S\}$,

x_t – вектор екзогенних інваріантних змінних у час t ,

α_s – інваріантні коефіцієнти для режиму $s = \{1, \dots, S\}$,

z_t – вектор екзогенних залежних змінних для режиму $s = \{1, \dots, S\}$,

β_s – залежні коефіцієнтами для режиму $s = \{1, \dots, S\}$,

ε_s – is i.i.d. нормальної помилки, що враховує випадковий характер інновацій в енергетичній сфері для режиму $s = \{1, \dots, S\}$.

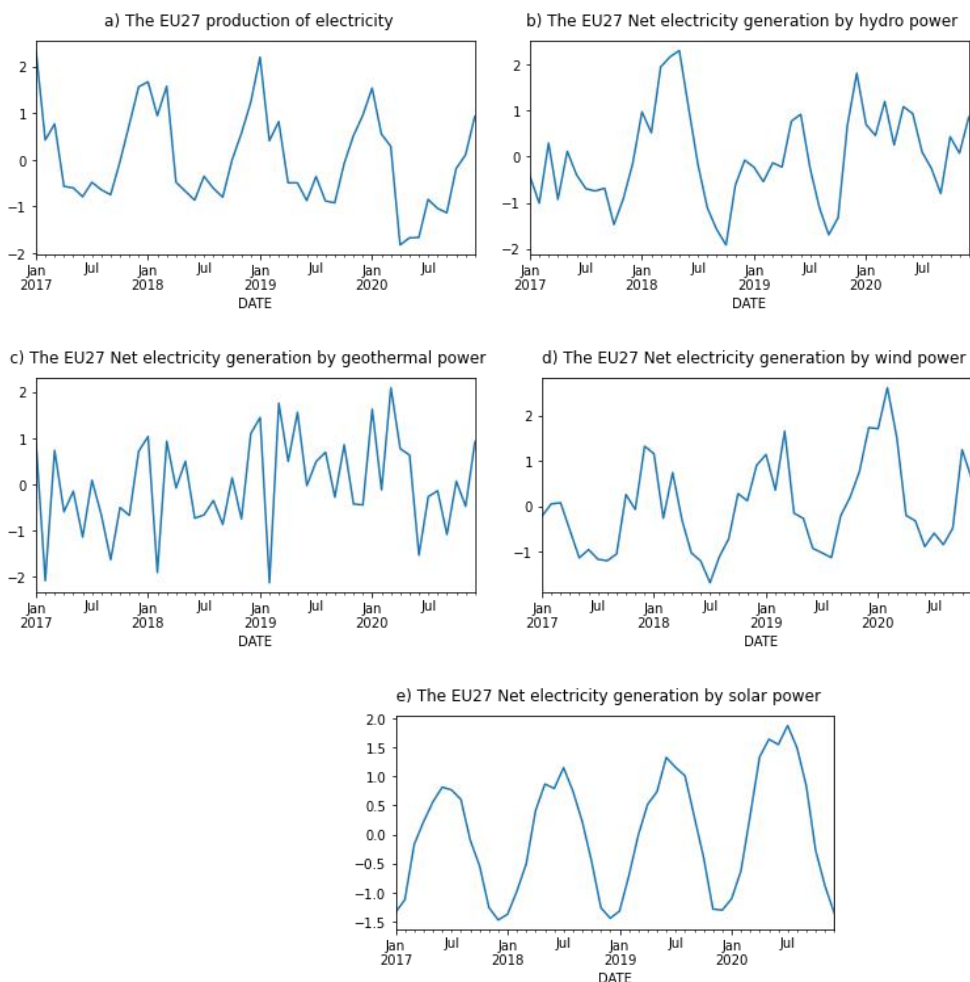


Рисунок 4.1 - Порівняння вхідних змінних моделі

Source: conducted by the authors based on the Eurostat data, <https://ec.europa.eu/eurostat/> [15,16]

Також Markov-switching модель може бути записана з врахуванням динамічного характеру режимів s у вигляді нижче (4.3):

$$y_t \sim \begin{cases} f_1(y_t; x_t, \theta_1), s = 1 \\ \vdots \\ f_S(y_t; x_t, \theta_S), s = S \end{cases} \quad (4.3)$$

де f_i – підмодель i -го режиму $s = \{1, \dots, S\}$;

θ_i – набір параметрів динамічної моделі, що враховує випадковий характер інновацій в енергетичній сфері для режиму $s = \{1, \dots, S\}$.

Відповідно до запропонованої моделі, автори протестували детермінованість варіації виробництва електроенергії за рахунок предикторів чистої генерації електроенергії з окремих видів відновлюваних ресурсів (гідро, геотермальної, вітра та сонця) в ЄС27 шляхом обґрунтування гіпотез (4.4):

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_N = 0;$$

$$H_a: \exists \beta_i \neq 0, i = 2, \dots, N. \quad (4.4)$$

Для проведення даного дослідження ми використовували інструментарій statsmodelsv0.13.2 в середовищі Python 3.10.5. Засобами даного інструментарію було виконане моделювання динамічна регресія з перемиканням Маркова для трьох режимів.

Для виявлення ефектів інваріантних та залежних змінних розгортання інновацій у сфері відновлюваної енергетики ЄС27 було виконане моделювання на базі трьох режимів. У таблиця 2 представлені результати Markov-switching dynamic regression моделювання виробництва електроенергії та обраних предикторів генерації енергії з відновлюваних джерел енергії (гідро, геотермальної, вітра та сонця) в ЄС27. У цьому випадку ці три режими можна розглядати як режими з низьким, помірним та високим рівнем виробництва електроенергії в ЄС27. На рисунку 4.2 наведені згладжені ймовірності кожного з трьох режимів.

Таблиця 4.2 – Результати of Markov-switching динамічної регресійної моделі

Regime 0 parameters						
	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
const	-0.1370	0.017	-7.939	0.000	-0.171	-0.103
x1	0.0141	0.022	0.637	0.524	-0.029	0.057
x2	0.0050	0.029	0.169	0.866	-0.053	0.062
x3	-0.1004	0.039	-2.600	0.009	-0.176	-0.025
x4	-0.3115	0.048	-6.489	0.000	-0.406	-0.217
sigma2	0.0009	0.001	1.796	0.073	-8.36e-05	0.002
Regime 1 parameters						
	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
const	0.0056	0.040	0.138	0.890	-0.074	0.085
x1	-0.0889	0.053	-1.678	0.093	-0.193	0.015
x2	0.0687	0.051	1.356	0.175	-0.031	0.168
x3	0.3284	0.081	4.053	0.000	0.170	0.487
x4	-0.4399	0.060	-7.349	0.000	-0.557	-0.323
sigma2	0.0203	0.008	2.424	0.015	0.004	0.037
Regime 2 parameters						
	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
const	0.0380	0.070	0.541	0.588	-0.100	0.176
x1	0.2238	0.105	2.139	0.032	0.019	0.429
x2	0.2827	0.080	3.526	0.000	0.126	0.440
x3	-0.1789	0.112	-1.596	0.110	-0.399	0.041
x4	-1.2486	0.100	-12.504	0.000	-1.444	-1.053
sigma2	0.0910	0.031	2.890	0.004	0.029	0.153

Джерело: побудовано авторами на основі Eurostat data, <https://ec.europa.eu/eurostat/> [15, 16]

Дивлячись на значення підібраних коефіцієнтів у результатах, ми можемо записати рівняння моделі для конкретного режиму таким чином:

- для режиму 0 параметрів моделі (5):

$$e_{i_m} = -0.1370 + 0.0141 \cdot nrg_h + 0.005 \cdot nrg_g - 0.1004 \cdot nrg_w - 0.3115 \cdot nrg_s + \varepsilon_s$$

де

$$\varepsilon_s \sim N(0, 0.0009) \quad (4.5)$$

- для режиму 1 параметрів моделі (6):

$$e_{i_m} = 0.0056 - 0.0889 \cdot nrg_h + 0.0687 \cdot nrg_g + 0.3284 \cdot nrg_w - 0.4399 \cdot nrg_s + \varepsilon_s$$

де

$$\varepsilon_s \sim N(0, 0.0203) \quad (4.6)$$

- для режиму 2 параметрів моделі (7):

$$ei_m = 0.0380 + 0.2238 \cdot nrg_h + 0.2827 \cdot nrg_g - 0.1789 \cdot nrg_w - 1.2486 \cdot nrg_s + \varepsilon_s$$

де

$$\varepsilon_s \sim N(0, 0.091) \quad (4.7)$$

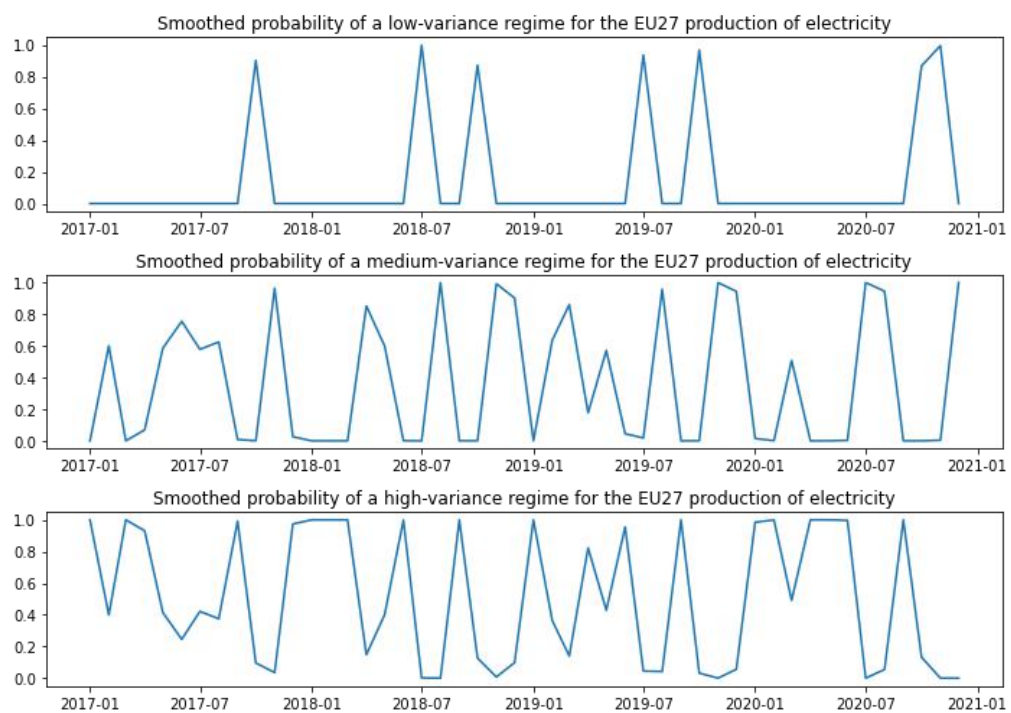


Рисунок 4.2 - Згладжені ймовірності режимів

Джерело: побудовано авторами на основі Eurostat data, <https://ec.europa.eu/eurostat/> [15, 16]

Результати аналізу моделі трьох режимів показують, що між виробництвом електроенергії та чистою генерацією гідроенергії відсутній зв'язок для всіх трьох режимів. Чиста генерація геотермальної енергії не впливає на загальне виробництво електроенергії в ЄС27 в режимах 0 і 1, проте вона має зв'язок з виробництвом електроенергії в режимі 2. Результати також свідчать про те, що коли коефіцієнт виробництва електроенергії в ЄС27 є помірний у режимі 1, коефіцієнт чистої генерації енергії вітру не є значущим. І для всіх трьох режимів є значущим негативний зв'язок між чистою генерацією енергії сонця та виробництвом електроенергії в ЄС. Тобто, під час піків виробництва енергії (а отже, – і її споживання), генерація енергії сонця падає, а під час спадів виробництва енергії – зростає. Така ситуація з нестійкою генерацією чистої електроенергії в ЄС27 все ще вимагає розгортання додаткової балансуєчої потужності для нівелювання коливань генерації з відновлюваних джерел енергії, що зазвичай покривається за рахунок викопних джерел енергії, переважно натурального газу та вугілля. А розвиток систем акумулювання електричної енергії для підвищення гнучкості енергетичних систем та нівелювання пікових навантажень є все ще недостатнім.

Розширення використання відновлюваних джерел енергії при виробництві електроенергії безумовно потребується для досягнення амбітних цілей ЄС щодо розбудови кліматично-нейтральної економіки. В останні десятиліття кардинально змінилася структура потужності для генерації електроенергії в ЄС шляхом впровадження інновацій у сфері енергії вітру та сонця. За рахунок цього відбулося скорочення частки ядерної енергетики в ЄС при виробництві електроенергії з одночасним збільшенням потужності для генерації енергії з відновлюваних джерел.

У цій роботі досліджується детермінованість варіації виробництва електроенергії в ЄС27 за рахунок предикторів чистої генерації електроенергії з окремих видів відновлюваних ресурсів за період з січня 2017 року по грудень 2020 року. Ми припускаємо, що існують три режими виробництва електроенергії в ЄС27: з низьким, помірним та високим рівнем виробництва електроенергії. Для

емпіричного оцінювання була використана регресійна модель перемикання Маркова. Результати емпіричного дослідження дозволили нам краще зрозуміти природу варіації виробництва електроенергії в ЄС27. Рівень варіації між загальним обсягом виробництвом електроенергії та обсягами чистої генерації електроенергії з окремих видів відновлюваних ресурсів (гідро, геотермальної, вітра та сонця) в ЄС27 не є постійними та залежать від режиму виробництва електроенергії. Тобто існує асиметрія взаємозв'язку між цими параметрами. Результати також свідчать про те, що коли коефіцієнт виробництва електроенергії в ЄС27 є помірний, коефіцієнт чистої генерації енергії вітру не є значущим. І для всіх трьох режимів є значущим негативний зв'язок між чистою генерацією енергії сонця та виробництвом електроенергії в ЄС. Оскільки впровадження відновлюваної енергетики значно випереджає розбудову розгортання систем акумулювання енергії є нагальної потреба подальшого підвищення гнучкості енергосистеми ЄС.

5 ІНСТРУМЕНТРИЙ ПРОСУВАННЯ РОЗУМНИХ ТРАНСОФОРМАЦІЙ В СУЧАСНОМУ ЦИФРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Майже усі люди звикли використовувати традиційні джерела енергії, такі як: природний газ, нафта, які через деякий час можуть бути повністю вичерпані. При цьому, їх видобуток, а потім переробка не є екологічними. Тому, щоб уникнути критичних ситуацій, люди в Україні та світі почали переходити до використання альтернативних джерел енергії.

Альтернативні джерела енергії розглядаються у контексті поновлюваних джерел, до яких відносять енергію сонячного випромінювання, вітру, морів, річок, біомаси, теплоти Землі, вторинні енергетичні ресурси, які існують постійно або виникають періодично у довкіллі.

Відновлювальні джерела енергії – це невикопні джерела енергії, які постійно існують або періодично з’являються в навколишньому природному середовищі такі як енергія сонця, вітру, геотермальна, аеротермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів [1]. Вони мають багато переваг і перш за все – невичерпність та відсутність шкідливих викидів, також дешевизна. Однак, альтернативні джерела енергії дуже залежать від змін клімату та рельєфу, адже вони можуть ускладнювати використання енергію сонця, припливів, вітру тощо.

Через забезпечення світлого майбутнього людства, країни світу почали перебудовувати структури економік та переходити до енерго-, матеріало- та працеаощаджуючих технологій. Україна не є виключенням. Український ринок відновлюваних джерел енергії набирає все більшого значення особливо у зв’язку з різким зростанням цін на газ та запровадженням “зеленого” тарифу у 2009 році [2].

Розглянемо структуру виробництва електроенергії України, щоб дослідити частку використання альтернативних джерел енергії (табл.5.1).

Таблиця 5.1 – Структура виробництва електроенергії України за 2020-2021 рр.

Виробіток електроенергії	2020, %	2021, %
ТЕС та ТЕЦ	32,9	29,6
ГЕС та ГАЕС	4,9	8
АЕС	53,6	54
ВДЕ	7,3	7,3
Інші	1,3	1,1

З вищеподаної таблиці можна зробити висновок, що найбільший відсоток електроенергії виробляється на АЕС, що є традиційним для України – у середньому за два роки 53,8%. Проте, дані станції є найбільш небезпечними та працевзатратними. ГЕС та ГАЕС виробляє у середньому 6,45% електроенергії, відновлювальні джерела енергії виробляли однаково у 2020 та 2021 році по 7,3%, що є дійсно непоганим результатом, враховуючи економічно-політичну кризу та низький рівень економіки України.

На початок 2022 року встановлена потужність відновлювальної енергетики України сукупно склала 9,5 ГВт, а обсяг інвестицій у галузь сягнув \$12 млрд. Ймовірно, темпи її розвитку й надалі росли б, аби не «сусідське» вторгнення. Через війну половина об'єктів ВДЕ перебуває під загрозою повної або часткової руйнації – в областях, де тривають активні бойові дії, перебуває 47% встановленої потужності електростанцій на відновлюваних джерелах енергії [4].

Згідно з українською енергетичною стратегією [5] до 2030 р. частку альтернативної енергетики на загальному енергобалансі країни буде доведено до 20 %. Основними та найбільш ефективними напрямками відновлюваної енергетики в Україні є: вітроенергетика, сонячна енергетика, біоенергетика, гідроенергетика, геотермальна енергетика.

В Україні найбільш перспективним для розвитку альтернативної енергетики є регіон Причорномор'я. Це пов'язано, у першу чергу, з використанням ресурсів вітру, сонця, енергії біомаси та геотермальної енергії.

У приморських регіонах середньорічна швидкість вітру перевищує 5 м/с, що робить ці регіони найбільш ефективними з точки зору використання енергії вітру. Для спорудження ВЕС на морських платформах може бути використана практично вся площа Азовського моря, а в Чорному морі лише в Одеській області є можливість розмістити ВЕС установленою потужністю до 20 тис. кВт. Сьогодні в Україні працює шість вітрових електростанцій, більшість яких розташована в причорноморських регіонах: Аджигольська, Асканієвська, Донузлавська, Новоазовська, Лакська ВЕС. Їхня загальна потужність, що генерується, становить більше 70 МВт. Потенціал геліоенергетики в причорноморських регіонах – близько 1400 кВт год/м², що знаходиться на одному рівні з країнами, які активно використовують сонячну енергію (США, Німеччина, Швеція тощо), і дає можливість зекономити щорічно близько 2,5 млн т умовного палива. Слід зазначити, що середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні (1235 кВт год/м) є достатньо високим і набагато вищим ніж, наприклад, у Німеччині – 1000 кВт год/м, Польщі – 1080 кВт год/м [6].

Проте, економічно-політична нестабільність в країні, недосконала законодавча база, слабка судова система, боязнь рейдерських захоплень, не дають можливості залучати значні іноземні інвестиції в даний сектор, що є важливою складовою розвитку альтернативної енергетики в Україні.

Розглянемо нижче динаміку долі енергії зі відновлювальних джерел, яка виробляється у країнах Європейського Союзу (27 країн станом на 2020 рік) з 2011 по 2020 роки (рисунок 5.1).

З рис. 1 можна зробити висновок, що частка енергії, яка виробляється ВДЕ у країнах Європейського Союзу має тенденцію зростання. Найменший відсоток був у 2011 році – 14,55 %, найбільший у 2020 році – 22,09 %. Причиною цього є розвиток технологій та збільшення інвестицій у сектор альтернативних джерел енергії. Усього на Європейський союз припало 22,1% виробництва енергії з відновлювальних джерел.

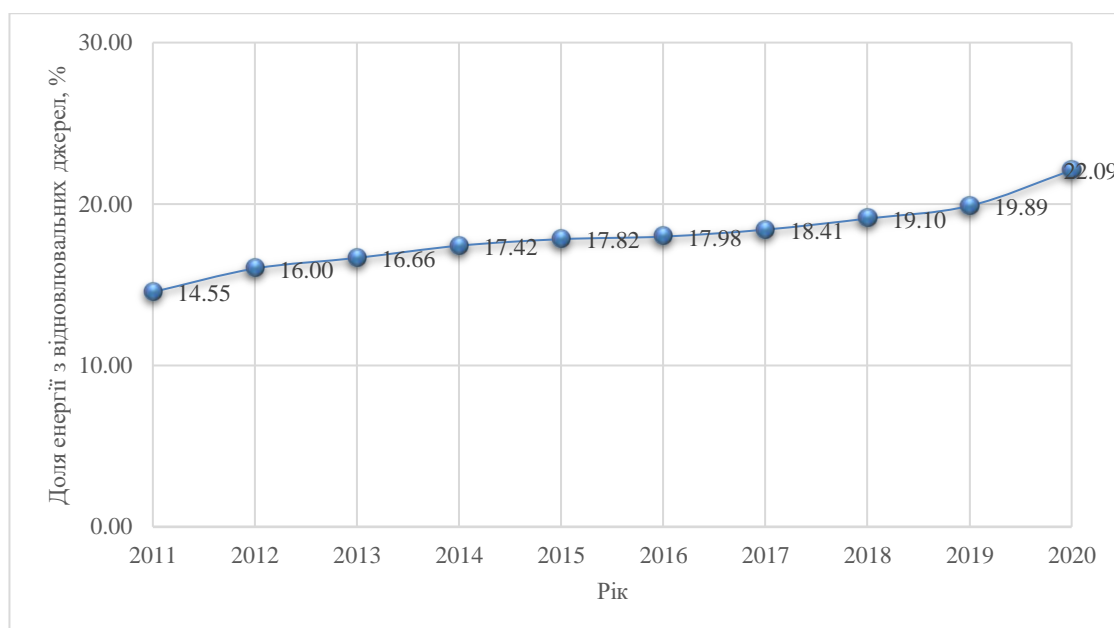


Рисунок 5.1 - Динаміка долі енергії, яка виробляється відновлювальними джерелами енергії ЄС, 2011-2020 рр. []

Локомотивами, що тягнуть Європу в нову еру відновлюваної енергетики, є скандинавські держави – Швеція (60,1%), Фінляндія (43,8%) і Данія (31,6%) (дані за 2020 рік). Завдяки урядовим програмам підтримки, ці невеликі північні країни мають сильні позиції на глобальному ринку енергетичних інновацій. І крім очевидних переваг від переходу на поновлювані джерела – енергетичної незалежності та поліпшення екології – вони отримують чималі доходи від експорту технологій і обладнання. Також вищеперелічені три країни є лідерами у певних сферах:

- Швеція – чемпіон ЄС з переходу на відновлювальну енергію;
- Фінляндія – лідер із виробництва енергії з лісової біомаси;
- Данія – рекордсмен з виробництва вітрової енергії на душу населення [8].

На рис. 5.2 представлено лідерів та частку виробництва електроенергії з відновлюваних джерел 2021 рр. технологіями, країнами та регіонами, які вимірюються в ТВтч (тераватт-час).

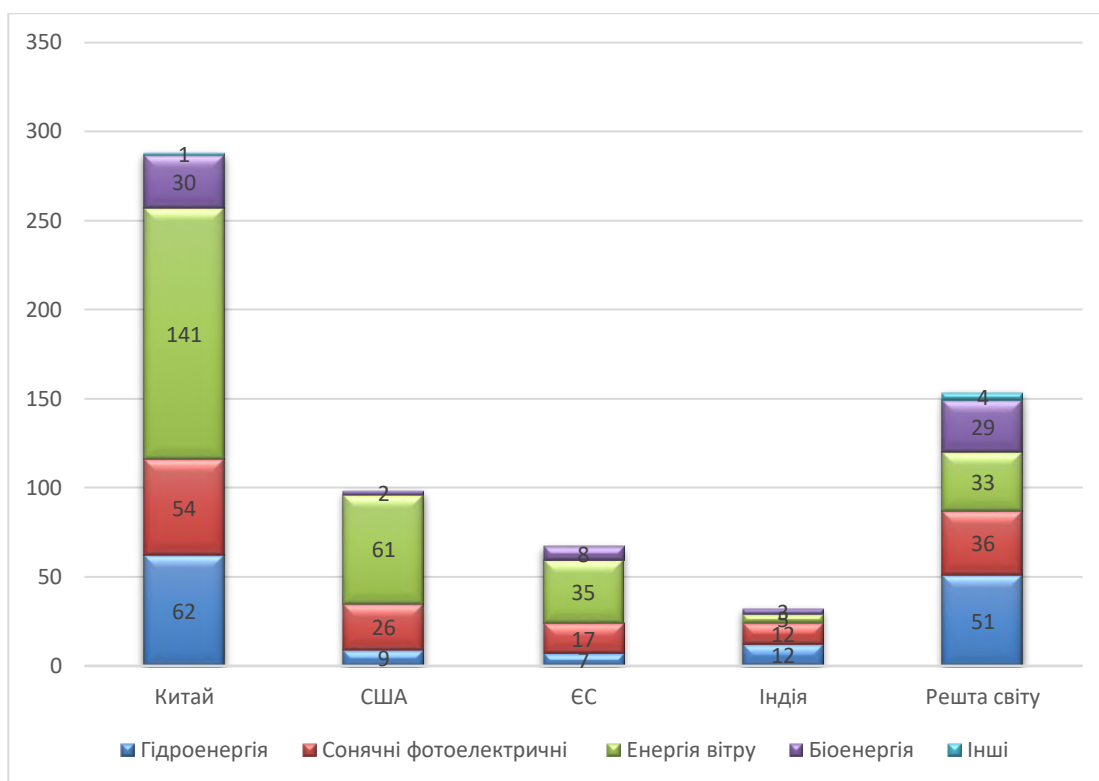


Рисунок 5.2 – Частка виробництва електроенергії з відновлюваних джерел технологіями, країнами та регіонами 2021 рр., ТВтч [9]

Можна зробити висновок, що у 2021 році виробництво електроенергії з відновлюваних джерел збільшилось більш, ніж на 8% порівняно з 2020 роком і досягнуло 8300 ТВтч, що стало найшвидшим річним зростанням з 1970-х років. Сонячні фотоелектричні та вітрові установки забезпечили дві третини зростання відновлюваних джерел енергії. Тільки на Китай має припало майже половина глобального приросту електроенергії з відновлюваних джерел у 2021 році, за ним йдуть США, Європейський Союз та Індія.

Також розглянемо на рис. 5.3 збільшення виробництва електроенергії з поновлюваних джерел за технологіями, 2019–2020 та 2020–2021 роки.

З рис. 5.3 можна зробити висновок про річний приріст виробництва електроенергії відновлювальними джерелами, який представлено у табл. 5.2.

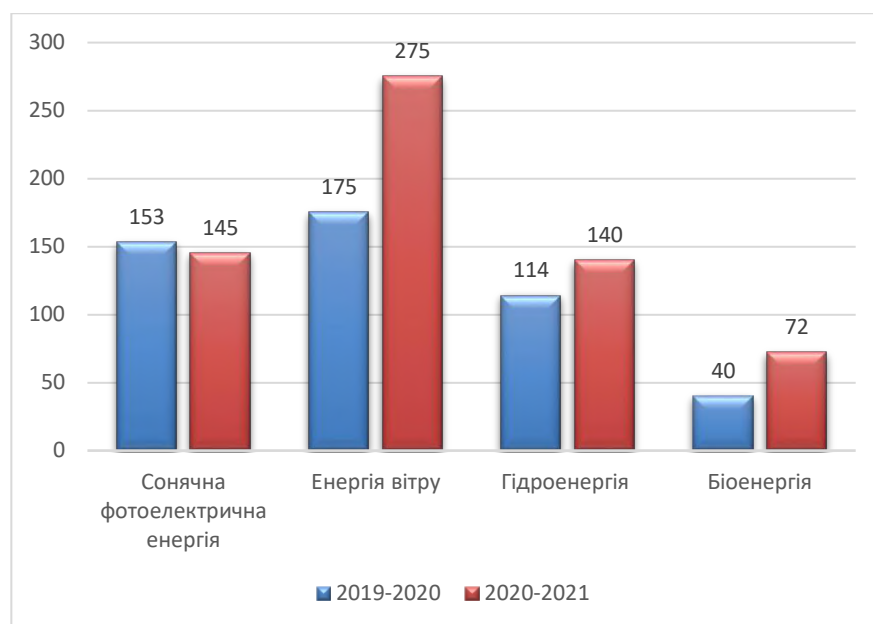


Рисунок 5.3 - Збільшення виробництва електроенергії з поновлюваних джерел за технологіями, 2019–2020 та 2020–2021 роки, ТВтч [9]

Таблиця 5.2 – Річний приріст світового виробництва електроенергії відновлювальними джерелами, 2019-2020 та 2020-21 роки [9]

Роки	Сонячна фотоелектрична енергія	Енергія вітру	Гідроенергія	Біоенергія
2019-2020	23%	12%	3%	6%
2020-2021	18%	17%	3%	10%

З рис. 5.3 та табл. 5.2 можна зробити висновок, що найбільший приріст виробництва енергії відновлювальними джерелами спостерігається у вітроенергетиці — 275 ТВтч, або майже на 17%, що значно перевищує рівень 2020 року. Крайні терміни політики в Китаї та США висунули розробникам ввести рекордний обсяг потужностей у кінці четвертого кварталу 2020 р., що привело до помітного збільшення вироблення електроенергії вже з перших двох місяців 2021 р. В 2021 році Китай згенерував 600 ТВтч, а США - 400 ТВтч, що разом становить більше половини світової вітрової енергії [9]. Найменший приріст спостерігається у гідроенергетиці – по 3% у 2020 та 2021 році.

З вищеподаних досліджень можна зробити висновок, що відбувається інноваційний розвиток сектору енергетики, а саме альтернативної енергетики як в світі, так і в Україні. Проте, при впровадженні таких інноваційних досліджень актуальним є дослідження з визначення особливостей маркетингових аспектів.

Маркетинг альтернативних джерел енергії необхідно розглядати як комплексний підхід, що передбачає всебічне вивчення та прогнозування ринку, попиту та потреб споживачів. Це активна діяльність на ринку електроенергії та енергетичних послуг, підвищення конкурентоспроможності на ринку, підтримка стійкого фінансового положення, швидка адаптація до змін у зовнішньому середовищі, мінімізація ризиків під час обґрунтування інвестиційних рішень на зниження витрат [10].

Українська асоціація відновлювальної енергетики [11] розробила свій стратегічний розвиток, а саме: визначила завдання та шляхи їх розв'язання. У табл. 5.3 систематизовано дану інформацію.

Таблиця 5.3 – Стратегічний розвиток Української асоціації відновлювальної енергетики [11]

Завдання	Шляхи вирішення
1	2
1. Просування відновлюваної енергетики в Україні	<ul style="list-style-type: none"> • сприяння збільшенню частки відновлюваної енергетики в енергетичному балансі України; • інтеграція України у світовий тренд переорієнтації енергетики на використання відновлюваних джерел енергії; • розвиток відновлюваної енергетики як інноваційної складової національної економіки, що сприяє поліпшенню соціально-економічних показників розвитку країни.

Продовження таблиці 5.3

1	2
2. Популяризація відновлюваної енергетики	<ul style="list-style-type: none"> • підвищення інформованості населення та представників бізнесу про об'єктивні переваги використання для енергогенерації відновлюваних джерел енергії, • збір, аналіз та поширення інформації про фінансову привабливість сектора ВДЕ, ефективність таких технологій енергогенерації, потенціал використання ВДЕ, досвід і приклади розвинених країн світу; • привернення уваги до соціальної значущості проектів з відновлюваної енергетики, довгострокових позитивних ефектів використання відновлюваних джерел енергії, • нейтралізація негативу в інформаційному полі.
3. Залучення приватних домогосподарств у сферу застосування відновлюваних джерел енергії	<ul style="list-style-type: none"> • аналіз проблем практичного застосування державного механізму стимулювання виробництва електричної енергії з відновлюваних джерел енергії генеруючими установками приватних домогосподарств та пошуку шляхів їх усунення; • розробка «дорожніх карт» для приватних домогосподарств; • вдосконалення законодавства, пов'язаного з ефективною реалізацією права домогосподарства на реалізацію електроенергії за «зеленим» тарифом.
4. Сприяння підвищенню інвестиційної привабливості та збільшення кількості інвестиційних можливостей в секторі ВДЕ	<ul style="list-style-type: none"> • залучення інвесторів, фінансових та громадських організацій до співпраці та консолідації зусиль, зважаючи на необхідність подолання залежності вітчизняної енергетики від викопних видів палива, переорієнтації її на екологічно безпечну і безпаливну відновлювану енергетику; • пошук можливості спрощення реалізації проектів відновлюваної генерації; • побудова партнерських, взаємовигідних відносин з та між гравцями ринку відновлюваної енергетики.
5. Створення ефективного майданчика для обміну думками та технологічними рішеннями, формування консенсусу учасників ринку з ключових питань його розвитку	<ul style="list-style-type: none"> • захист інтересів інвесторів - учасників Асоціації; • забезпечення інформаційної підтримки з питань розвитку технологій, тенденцій розвитку галузі в цілому.

З табл. 5.3 можна зробити висновок, що стратегічний розвиток Української асоціації відновлювальної енергетики підпорядковується меті – розвитку відновлювальної енергетики України, створення сприятливих умов для ведення

бізнесу у даній сфері та максимальна популяризація використання технологій альтернативної енергетики.

Нижче, у табл. 5.4, представлені успішні кейси великих компанії України, які екологізували своє виробництво перевівши його частково на споживання енергії з альтернативних джерел.

Таблиця 5.4 – Успішні кейси великих компаній України, які перейшли на часткове споживання з альтернативних джерел енергії [сформовано на основі 12]

Компанія	Кейс
1	2
«Helios Strategia»	Компанія реалізує проекти сонячної енергетики та забезпечує повний цикл послуг. Основна частина проектів була виконана на підприємствах для знищення викидів, адже це одне з найкращих рішень для зниження витрат на електроенергію. Такі проекти окупуються через близько 5-8 років.
ДТЕК ВДЕ	Підприємство активно проводить моніторинг птахів, рукокрилих та рослинності на площадках вітроелектростанцій і в буферних зонах площадок. В рамках моніторингу у них є понад 10-річний досвід у співпраці з науковою організацією, яка постійно вдосконалює свою базу та використовує новітні технології. В результаті вони мають чіткі дані про дію вітроелектростанцій на довкілля.
«КРИГЕР ЕНЕРГІЯ»	Компанія за період 20 років побудувала близько 3 тисяч проектів на відновлювальних джерелах енергії в Україні та близько 100 в європейських країнах. Їх основні задачі - це ефективне використання аграрної біомаси, відходів деревообробки та інше. Компанія активно підвищує власну енергоефективність: вони мають енергоефективне освітлення та електроавтомобілі. Товариство реалізувало проєкт утилізації медичних відходів з рекуперацією тепла і сучасним очищенням димових газів.
«Clear Energy»	В 2015 році «Clear Energy» почали виробляти електричну енергію з біомаси. У них також є станція, яка виробляє електричну і теплову енергію з газифікаторів, які вони самі виробляють. На виході компанія має синтез газ, який йде в газопоршневий двигун, а далі виробляється електрична енергія і з подушки двигуна забирається теплова енергія, яку вони дають на 25% дешевше.
«EDS Engineering»	Компанія будує об'єкти відновлюваної енергетики виключно на землях, непридатних для ведення сільського господарства. До прикладу, вони збудували СЕС на 10 МВт у селищі Маків на землях, які раніше використовувалися для переробляння цукрового буряка та у Харківській області – на заболоченій місцевості. Тобто вони свідомо йдуть на додаткові затрати із вирівнювання рельєфу та очищення землі, тримаючи в голові екоспрямовану ідеологію. Після будівництва вони організували збір, сортування та передачу близько 95% будівельних відходів.

Можна зробити висновок, що ринок альтернативної енергетики України має достатньо успішних кейсів. Проте, щоб залучати більше іноземних інвестицій та виховувати майбутнє покоління, яке буде використовувати відновлювальні джерела енергії, необхідно впроваджувати маркетингові підходи.

До методів комунікації енергетичного підприємства відносять: рекламу, заходи зі стимулювання збуту продукції, персональні продажі, мерчандайзинг, SMM-заходи, PR тощо. Їх необхідно впроваджувати комплексно, а орієнтуватися не лише на дорослих, але й дітей.

Наприклад, діткам молодшої та середньої школи можна проводити конкурси, уроки та презентації, щоб вони з дитинства розуміли важливість використання відновлювальних джерел енергії. Дітям старшої школи та студентам можна влаштовувати екскурсії а стажування на енергетичні підприємства. Вони є потенційними працівниками даних компаній і зможуть розширити свій кругозір у даній сфері.

Не менш важливою є соціальна реклама. Необхідно створювати відеоролики, брошури, білборди тощо, у яких буде показано важливість для навколишнього середовища та розвитку людства, використання сонячної, гідроенергії, енергії води тощо.

Компанії, які займаються виробництвом інноваційних технологій енергетики та які впроваджують на своїх підприємствах виробництво енергії з альтернативних джерел, необхідно влаштовувати семінари, виставки. Це буде цікавим для дорослих людей та дасть поштовх до розмірковувань щодо збереження планети Земля.

Енергетична індустрія наповнена текстовими описами продуктів та щільними інформаційними листами, які практично неможливо зрозуміти звичайному споживачеві. І навіть коли організації хочуть використовувати інші форми маркетингу, багато хто з них лякається процесу юридичної перевірки, не мають досвіду або часу для створення високоякісного контенту або не можуть повністю зрозуміти своїх клієнтів.

Але контент-маркетинг може допомогти енергетичним компаніям більш ефективно охопити свою аудиторію, заповнити прогалину у знаннях та пояснити свої продукти та послуги у доступній, інформативній та захоплюючій формі. Крім того, контент-маркетинг генерує втричі більше потенційних клієнтів, ніж вихідний маркетинг, і коштує на 62% менше.

Розглянемо нижче рис. 5.4, на якому згруповано основні канали просування альтернативних джерел енергії. До них відносяться: контекстна реклама Google, PR-заходи, ЗМІ, поліграфічна продукція.

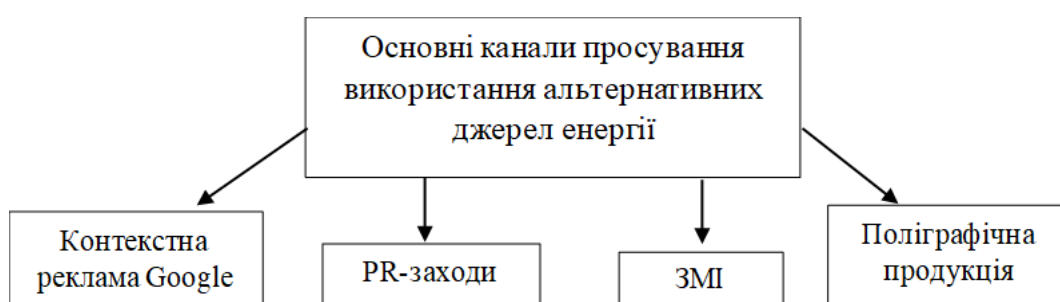


Рисунок 5.4 – Основні канали просування використання альтернативних джерел енергії [сформовано автором]

Розглянемо 3 світових приклади контент-маркетингу компаній енергетичного сектору [13]:

1. «Eni». Ця багатонаціональна нафтова компанія хоче, щоб її репутація ґрунтувалася на захисті та збереженні навколишнього середовища шляхом створення програм та технологій, що зводять до мінімуму викиди парникових газів. Компанія запустила «Eniday», онлайн-журнал, в якому обговорюються інновації в енергетичній галузі, а також працівники, які виконують важку роботу з перетворення природних ресурсів на енергію. Цей локальний контент складається з поєднання письмового контенту та візуального оповідання, щоб навчити та надихнути аудиторію на свою позицію про те, що «енергія – це хороша історія».

2. «Stream Energy». Компанія була названа «Найінноваційнішим маркетологом 2016 року» на Конференції енергетичного маркетингу для роздрібних торговців. Компанія знайшла інноваційний спосіб охопити клієнтів: продавати енергію з уст в уста. «Stream Energy» заохочує поточних клієнтів направляти нових клієнтів в обмін на знижену — навіть безкоштовну — енергію. Цей підхід використовує контент, створений клієнтами, щоб охопити ширшу аудиторію потенційних клієнтів. Крім того, компанія постійно публікує контент, щоб навчити свою аудиторію, як скорочувати витрати та приймати більше рішень, які сприятимуть довкіллю. Усі ці зусилля зміцнюють довіру до «Stream Energy» і дозволяють компанії тримати свою аудиторію в курсі та в захваті від того, що робить компанія.

3. «Georgia Power». Компанія охопила соціальні мережі. Ця енергетична компанія, що базується в Атланті, має центр соціальних медіа, розташований неподалік від Georgia Power Storm Center і призначений для забезпечення точної та своєчасної комунікації з клієнтами в соціальних мережах під час негоди. Навіть коли погода не сувора, фірма спілкується зі своїми клієнтами понад 6000 разів на місяць у соціальних мережах, відповідаючи на запитання про обслуговування, допомагаючи з варіантами оплати, пропонуючи поради з енергоефективності тощо. Цей фокус на обміні контентом із клієнтами в соціальних мережах дозволяє компанії допомагати своїм клієнтам отримувати більше інформації про споживання енергії та здобути довіру до Georgia Power як довіреного голосу в енергетичному секторі.

Ці компанії доводять, що не обов'язково бути в «модній» галузі, щоб побачити цінність контент-маркетингу. Коли компанії в усіх галузях знаходять правильний маркетинговий мікс вмісту для своїх унікальних бізнесів і цілей, вони можуть охопити свою аудиторію автентичним, привабливим способом і отримати маркетингові результати, які вони шукають.

З вищеподаних прикладів реклами, можна зробити декілька висновків:

- основні кольори, які використовуються для просування альтернативних джерел енергії є жовтий, оранжевий, синій, зелений. Як правило, це природні кольори планети Земля;

- основні акценти, які прописують у рекламі – збереження ресурсів планети та гарантія на дані сонячні батареї;

- також на обох варіантах реклами зображено родину, а отже, маркетологи хочуть донести споживачам про турботу компанії щодо збереження сімейних цінностей та майбутнього людства завдяки енергії Сонця.

Ефективний маркетинг відновлюваних джерел енергії повинен враховувати маркетингові тенденції. Незалежно від обраного напрямку маркетинг зобов'язаний працювати з клієнтами там, де вони присутні. В теперешні часи, якщо маркетинг не працює з соціальними мережами, то його фактично не існує. Останнім трендом є використання історій у соціальних мережах. Маркетинг альтернативної енергетики вимагає використання історій. Компанії та кінцеві споживачі вже давно використовують соціальні мережі, такі як Facebook та Instagram. Вони розповідають про свою історію, роботу, події, досягнення та невдачі. Ділитися своїми історіями з іншими користувачами соціальних мереж – це досить ефективний і абсолютно ненав'язливий спосіб маркетингу відновлюваної енергії. Голосовий пошук стає все більш популярним серед користувачів мобільних пристроїв. SEO голосового пошуку потребує оптимізації. Оптимізація також полягає в швидкості завантаження сайту і його реакції на мобільних пристроях і всіх платформах. Далі йде оптимізація текстової інформації. Воно повинно бути простим і зрозумілим. Компанії розміщують інформацію досить професійною мовою відповідно до політики та бренду компанії, але часто перестаряються, намагаючись продемонструвати свій професіоналізм. Текст необхідно писати, спираючись на прості голосові пошукові запити. Використання семантичних ключових слів буде досить ефективним, але в обмеженій кількості.

Основними проблемами щодо реалізації маркетингової стратегії альтернативних джерел енергії та їх вирішенням є [сформовано на основі 15]:

- Труднощі сегментації ринку. Низька якість або відсутність сегментації ринку є потенціалом для розвитку маркетингу компанії в сфері альтернативної енергетики. Поглиблене розуміння особливостей кінцевих споживачів призводить до того, що маркетинг набуває форм, які відповідають потребам конкретних споживачів, долає ряд заперечень, особливо щодо вартості початкових капіталовкладень. Крім того, користувачі альтернативної енергетики, найчастіше, є новаторами та першими, що необхідно враховувати при сегментації;

- Низька обізнаність клієнтів. Якщо споживачі не знають про альтернативну енергетику та її вплив на навколишнє середовище, то вони не будуть купувати та встановлювати такі системи. Пріоритетом є підвищення впізнаваності компанії, її продуктів і послуг. Достатньо ефективною рекламною політикою є посилення рекламної кампанії в періоди погіршення погодних умов. Пов'язування зміни клімату, погіршення навколишнього середовища з альтернативною енергетикою як можливість змінити ситуацію. Споживачі повинні розуміти, як вони можуть зробити свій внесок у кращий розвиток майбутнього людства;

- Нездатність навчати клієнтів. Успіх малого маркетингу альтернативної енергетики пов'язаний із зусиллями інтегрувати освіту в маркетингову стратегію. Освіта стає ключем до альтернативних споживачів енергії. Надання переваг, як функціональних, так і нефункціональних, підвищує ефективність маркетингу. Знання споживачів про те, як вони впливають на навколишнє середовище, дає можливість збільшити продажі. Крім того, виплати цінових надбавок відбуваються за рахунок підвищення споживчої ефективності.

Використання відновлювальних джерел енергії має такі переваги: невичерпність та відсутність шкідливих викидів, відносна дешевизна. Проте, недоліком є залежність від змін клімату та рельєфу, які можуть заважати у використанні енергії Сонця, води, вітру тощо. Проаналізовані ринки альтернативної енергетики мають тенденцію до збільшення. У середньому Україна має 7% виробництва енергії відновлювальними джерелами енергії у

загальній структурі енергоносіїв. У світі лідерами з використання альтернативних джерел є Китай, США, Європейський Союз та Індія. З країн Європейського Союзу станом на 2020 року лідерами були Швеція (60,1%), Фінляндія (43,8%) і Данія (31,6%). Щодо маркетингового аспекту, то з розвитком інноваційних енергетичних технологій відбувається й вдосконалення методів просування використання альтернативних джерел енергії. В Україні безліч великих компаній почали переводити своє виробництво на використання відновлювальної енергії. У світі компанії впроваджують онлайн-журнали, соціальну рекламу, медіа-рекламу, яка стимулює багатьох споживачів до встановлення інноваційних технологій альтернативної енергетики у власних домах. Проте, світ та, особливо, Україна ще не досягли високих результатів впровадження альтернативної енергетики в усі сфери життя, тому дані проблеми мають перспективи вирішення у майбутньому та подальші дослідження цієї сфери повинні ґрунтуватися на покращенні ситуації.

ВИСНОВКИ

Формалізовано та систематизовано опис розвитку енергетичної галузі національної економіки в умовах глобальних та локальних безпекових викликів при споживанні природного газу, нафти та виробництві атомної енергії шляхом побудови матриці факторів при переході до кліматично нейтральної економіки та каталізації сталого інноваційного розвитку.

Сформовано базу даних екосистемної трансформації енергетичного сектору з врахуванням предикторів чистого виробництва електроенергії з відновлюваних ресурсів на принципах кліматичної нейтральності та інклюзивної збалансованості шляхом поєднання інструментарію Data Mining, Machine Learning, Deep Learning.

Сформовано методологію нівелювання конфліктів стейкхолдерів та безпекові патерни у форматі інституційного партнерства стейкхолдерів і стратегії розумної інтеграції між секторами, та показано, що детермінізм варіацій у прийнятті рішень стейкхолдерів не тільки може призводити до проблем гнучкості енергетичної системи, але й значно збільшує нестабільність між секторами.

Побудована система критеріїв та опис передумов трансформації об'єднаної енергетичної системи з використанням альтернативних джерел енергії з метою досягнення вуглецевого нейтралітету до 2050 року на базі моделі марковського перемикання для трьох режимів

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Alrwashdeh, S. S. (2022). Energy sources assessment in Jordan. *Results in Engineering*, 13 doi:10.1016/j.rineng.2021.100329
2. Bhowmik, D. (2019). Decoupling CO2 Emissions in Nordic countries: Panel Data Analysis. *SocioEconomic Challenges*, 3(2), 15-30. [http://doi.org/10.21272/sec.3\(2\).15-30.2019](http://doi.org/10.21272/sec.3(2).15-30.2019).
3. Burghard, U., Dütschke, E., Caldes, N., Oltra, C.: Cross-border concentrated solar power projects - opportunity or dead end? A study into actor views in europe. *Energy Policy* 163 (2022). doi:10.1016/j.enpol.2022.112833.
4. C/2022/0631 (2022). Commission Delegated Regulation (EU) /... amending Delegated Regulation (EU) 2021/2139 as regards economic activities in certain energy sectors and Delegated Regulation (EU) 2021/2178 as regards specific public disclosures for those economic activities. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=PI_COM:C\(2022\)631](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=PI_COM:C(2022)631)
5. Cai, Y., Zhang, D., Chang, T., & Lee, C. -. (2022). Macroeconomic outcomes of OPEC and non-OPEC oil supply shocks in the euro area. *Energy Economics*, 109 doi:10.1016/j.eneco.2022.105975
6. Cergibozan, R.: Renewable energy sources as a solution for energy security risk: Empirical evidence from OECD countries. *Renewable Energy* 183, 617–626 (2022). doi:10.1016/j.renene.2021.11.056.
7. Chen, K., Ng, K. H., Cheng, C. K., Cheng, Y. W., Chong, C. C., Vo, D. -. N., . . . Ismail, M. H. (2022). Biomass-derived carbon-based and silica-based materials for catalytic and adsorptive applications- an update since 2010. *Chemosphere*, 287 doi:10.1016/j.chemosphere.2021.132222
8. Cho, I. H. (2022). To escape or embrace reactors? the politics of nuclear phase-out in Germany and south Korea. *Pacific Review*, 35(1), 32-58. doi:10.1080/09512748.2020.1806341
9. Cholewa, M., Mammadov, F. & Nowaczek, A. The obstacles and challenges of transition towards a renewable and sustainable energy system in Azerbaijan and

Poland. *Mineral Economics*, 35, 155–169 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13563-021-00288-x>

10. Chygryn, O., Lyulyov, O., Pimonenko, T., & Mlaabdal, S. (2020). Efficiency of oil-production: The role of institutional factors. *Engineering Management in Production and Services*, 12(4), 92-104. doi:10.2478/emj-2020-0030

11. COM/2022/108 Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM:2022:108:FIN>

12. Duarah, P., Haldar, D., Patel, A. K., Dong, C. -, Singhania, R. R., Purkait, M. K.: A review on global perspectives of sustainable development in bioenergy generation. *Bioresource Technology* 348 (2022). doi:10.1016/j.biortech.2022.126791.

13. El Amri, A., Boutti, R., Oulfarsi, S., Rodhain, F., Bouzahir, B. (2020). Carbon financial markets underlying climate risk management, pricing and forecasting: Fundamental analysis. *Financial Markets, Institutions and Risks*, 4(4), 31-44. [https://doi.org/10.21272/fmir.4\(4\).31-44.2020](https://doi.org/10.21272/fmir.4(4).31-44.2020)

14. Elnikova, Ju., Barhaq, A.R. (2020). Transparency of Responsible Investment Environment. *Business Ethics and Leadership*, 4(4), 68-75. [https://doi.org/10.21272/bel.4\(4\).68-75.2020](https://doi.org/10.21272/bel.4(4).68-75.2020)

15. Eurostat (2022a). Energy - monthly data [ei_isen_m]. The official website of the statistical office of the European Union. <https://ec.europa.eu/eurostat/>.

16. Eurostat (2022b). Energy statistics - an overview. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Energy_dependency

17. Eurostat (2022c). EU energy mix and import dependency. Eurostat Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_energy_mix_and_import_dependency#EU_energy_dependency_on_Russia

18. Eurostat (2022d). Net electricity generation by type of fuel - monthly data [nrg_cb_pem]. The official website of the statistical office of the European Union. <https://ec.europa.eu/eurostat/>.
19. Eurostat (2022f). Simplified energy balances. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_bal_s/
20. Fennovoima has terminated the contract for the delivery of the Hanhikivi 1 nuclear power plant with Rosatom. (2022) <https://www.fennovoima.fi/en/press-releases/fennovoima-has-terminated-contract-delivery-hanhikivi-1-nuclear-power-plant-rosatom>
21. George, B. (2020). Inclusive Sustainable Development in the Caribbean Region: Social Capital and the Creation of Competitive Advantage in Tourism Networks. *Business Ethics and Leadership*, 4(3), 119-126. [https://doi.org/10.21272/bel.4\(3\).119-126.2020](https://doi.org/10.21272/bel.4(3).119-126.2020)
22. Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50.
23. Goldfeld, S.M. & R.E. Quandt (1973). A Markov model for switching regressions, *Journal of Econometrics*, 1, 3–15. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(73\)90002-X](https://doi.org/10.1016/0304-4076(73)90002-X).
24. Gong, X.: Energy security through a financial lens: Rethinking geopolitics, strategic investment, and governance in china's global energy expansion. *Energy Research and Social Science* 83 (2022). doi:10.1016/j.erss.2021.102341.
25. GOV.UK (2022). British energy security strategy. <https://www.gov.uk/government/publications/british-energy-security-strategy/british-energy-security-strategy>
26. Grangeia, C., Santos, L., Lazaro, L. L. B.: The brazilian biofuel policy (Renova-Bio) and its uncertainties: An assessment of technical, socioeconomic and institutional aspects. *Energy Conversion and Management: X* 13 (2022). doi:10.1016/j.ecmx.2021.100156.

27. Hamilton, J.D. (1989). A new approach to the economic analysis of nonstationary timeseries and the business cycle, *Econometrica*, 57, 357–384. <https://doi.org/10.2307/1912559>.
28. Hof, A. F., Esmeijer, K., de Boer, H. S., Daioglou, V., Doelman, J. C., Elzen, M. G. J. D., . . . van Vuuren, D. P.: Regional energy diversity and sovereignty in different 2 °C and 1.5 °C pathways. *Energy* 239 (2022). doi:10.1016/j.energy.2021.122197.
29. Horbach, J., Rammer, C., & Rennings, K. (2012). Determinants of eco-innovations by type of environmental impact - the role of regulatory push/pull, technology push and market pull. *Ecological Economics*, 78, 112-122. doi:10.1016/j.ecolecon.2012.04.005.
30. IEA (2020). European Union 2020. IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/european-union-2020>.
31. IEA (2021). Net Zero by 2050, IEA, Paris. https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf
32. Jiang, H. -, Liu, L. -, Dong, K., & Fu, Y. -. (2022). How will sectoral coverage in the carbon trading system affect the total oil consumption in China? A CGE-based analysis. *Energy Economics*, 110 doi:10.1016/j.eneco.2022.105996
33. Johnstone, N., Haščič, I., & Popp, D. (2010). Renewable energy policies and technological innovation: Evidence based on patent counts. *Environmental and Resource Economics*, 45(1), 133-155. doi:10.1007/s10640-009-9309-1.
34. Juszczak, O., Juszczak, J., Juszczak, S., Takala, J.: Barriers for renewable energy technologies diffusion: Empirical evidence from finland and poland. *Energies* 15(2) (2022). doi:10.3390/en15020527.
35. Kang, H.: An analysis of the relationship between energy trilemma and economic growth. *Sustainability (Switzerland)* 14(7) (2022). doi:10.3390/su14073863.
36. Kanwal, S., Mehran, M. T., Hassan, M., Anwar, M., Naqvi, S. R., & Khoja, A. H. (2022). An integrated future approach for the energy security of Pakistan: Replacement of fossil fuels with syngas for better environment and socio-economic

development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156
doi:10.1016/j.rser.2021.111978

37. Karpavicius, T., & Balezentis, T. (2022). Public service obligation levy in the context of energy sustainability and security: The cases of Ireland, Greece, Denmark and Lithuania. *Energies*, 15(1) doi:10.3390/en15010016

38. Kester, J.: The scare behind energy security: Four conceptualisations of scarcity and a never-ending search for abundance. *Journal of International Relations and Development* 25(1), 31–53 (2022). doi:10.1057/s41268-021-00216-0.

39. Kolosok, S., Bilan, Y., Vasylieva, T., Wojciechowski, A., & Morawski, M. (2021). A scoping review of renewable energy, sustainability and the environment. *Energies*, 14(15) doi:10.3390/en14154490.

40. Korkmaz, O., & Önöz, B. (2022). Modelling the potential impacts of nuclear energy and renewables in the Turkish energy system. *Energies*, 15(4) doi:10.3390/en15041392

41. Kwilinski, A., Lyulyov, O., Dzwigol, H., Vakulenko, I., & Pimonenko, T. (2022). Integrative smart grids' assessment system. *Energies*, 15(2) doi:10.3390/en15020545.

42. Ley, M., Stucki, T., & Woerter, M. (2016). The Impact of Energy Prices on Green Innovation. *The Energy Journal*, 37(1), 41–75. <http://www.jstor.org/stable/24696701>.

43. Lyeonov, S; Bilan, Y; Rubanov, P; Dovaliene, A; Marjanski, A. (2020). Correlation Links of Innovations in Financial Services and Business Environment Development. 35th International-Business-Information-Management-Association Conference (IBIMA). 8498–8513.

44. Lyulyov, O., Vakulenko, I., Pimonenko, T., Kwilinski, A., Dzwigol, H., & Dzwigol-Barosz, M. (2021). Comprehensive assessment of smart grids: Is there a universal approach? *Energies*, 14(12) doi:10.3390/en14123497.

45. Maneejuk, P., Thongkairat, S., & Srichaikul, W. (2021). Time-varying co-movement analysis between COVID-19 shocks and the energy markets using the

Markov Switching Dynamic Copula approach. *Energy Reports*, 7, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.egyр.2021.05.076>.

46. Mara, D., Nate, S., Stavytskyy, A., & Kharlamova, G. (2022). The place of energy security in the national security framework: An assessment approach. *Energies*, 15(2) doi:10.3390/en15020658

47. Mišík, M. (2022). The EU needs to improve its external energy security. *Energy policy*, 165 doi:10.1016/j.enpol.2022.112930

48. Moutinho, V., Oliveira, H., & Mota, J. (2022). Examining the long term relationships between energy commodities prices and carbon prices on electricity prices using Markov Switching Regression. *Energy Reports*, 8, 589-594. <https://doi.org/10.1016/j.egyр.2022.03.115>.

49. Mróz, M. (2022). Energy security in danger? A comparative analysis of oil and copper supply. *Energies*, 15(2) doi:10.3390/en15020560

50. Nandimandalam, H., Gude, V. G., Marufuzzaman, M.: Environmental impact assessment of biomass supported electricity generation for sustainable rural energy systems - A case study of Grenada county, Mississippi, USA. *Science of the Total Environment* 802 (2022). doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149716.

51. Newell, R. G., Jaffe, A. B., & Stavins, R. N. (1999). The induced innovation hypothesis and energy-saving technological change. *Quarterly Journal of Economics*, 114(3), 941-975. doi:10.1162/003355399556188.

52. Novikau, A.: Current challenges and prospects of wind energy in Belarus. *Renewable Energy* 182, 1049–1059 (2022). doi:10.1016/j.renene.2021.11.011.

53. Nwanekezie, K., Noble, B., Poelzer, G.: Strategic assessment for energy transitions: A case study of renewable energy development in Saskatchewan, Canada. *Environmental Impact Assessment Review* 92 (2022). doi:10.1016/j.eiar.2021.106688.

54. Nyga-Łukaszewska, H., Napiórkowski, T. M.: Does energy demand security affect international competitiveness? case of selected energy-exporting OECD countries. *Energies* 15(6) (2022). doi:10.3390/en15061991.

55. Ojeda, F.A. (2021). Origin, Use and Meaning of the Innovation Diamond. *Business Ethics and Leadership*, 5(4), 48-58. [https://doi.org/10.21272/bel.5\(4\).48-58.2021](https://doi.org/10.21272/bel.5(4).48-58.2021).
56. Pavlyk, V. (2020). Assessment of green investment impact on the energy efficiency gap of the national economy. *Financial Markets, Institutions and Risks*, 4(1), 117-123. [http://doi.org/10.21272/fmir.4\(1\).117-123.2020](http://doi.org/10.21272/fmir.4(1).117-123.2020).
57. Pavlyk, V. (2020). Institutional Determinants Of Assessing Energy Efficiency Gaps In The National Economy. *SocioEconomic Challenges*, 4(1), 122-128. [http://doi.org/10.21272/sec.4\(1\).122-128.2020](http://doi.org/10.21272/sec.4(1).122-128.2020).
58. Performance of State Atomic Energy Corporation Rosatom in 2020. <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/d83/d832075be25854001173de592f99953d.pdf>
59. Pimonenko, T., Us, Ya., Myroshnychenko, Yu., Dubyna, O., Vasylyna, T. (2021). Green Financing for Carbon-Free Growth: Role of Banks Marketing Strategy. *Financial Markets, Institutions and Risks*, 5(3), 71-78. [https://doi.org/10.21272/fmir.5\(3\).71-78.2021](https://doi.org/10.21272/fmir.5(3).71-78.2021)
60. Qin, Y., Zhou, M., Pan, D., Klimont, Z., Gingerich, D. B., Mauzerall, D. L., . . . Bielicki, J. M. (2022). Environmental consequences of potential strategies for China to prepare for natural gas import disruptions. *Environmental Science and Technology*, 56(2), 1183-1193. doi:10.1021/acs.est.1c03685
61. Qiu, B., Yang, C., Shao, Q., Liu, Y., Chu, H.: Recent advances on industrial solid waste catalysts for improving the quality of bio-oil from biomass catalytic cracking: A review. *Fuel* 315 (2022). doi:10.1016/j.fuel.2022.123218.
62. Rabe, M., Bilan, Y., Widera, K., Vasa, L.: Application of the linear programming method in the construction of a mathematical model of optimization distributed energy. *Energies* 15(5) (2022). doi:10.3390/en15051872.
63. Radulescu, D., Sulger, P.: Interdependencies between countries in the provision of energy. *Energy Economics* 107 (2022). doi:10.1016/j.eneco.2021.105799.
64. Rodríguez-Fernández, L., Carvajal, A. B. F., & de Tejada, V. F. (2022). Improving the concept of energy security in an energy transition environment:

Application to the gas sector in the European union. *Extractive Industries and Society*, 9 doi:10.1016/j.exis.2022.101045

65. Sahoo, K. K. (2017). Transform of Ethical Practices in Globalized Economy, a Special Focus on Ghana. *Business Ethics and Leadership*, 1(4), 58-65. DOI: 10.21272/bel.1(4).58-65.2017

66. Samoilikova, A. (2020). Financial Policy of Innovation Development Providing: The Impact Formalization. *Financial Markets, Institutions and Risks*, 4(2), 5-15. [https://doi.org/10.21272/fmir.4\(2\).5-15.2020](https://doi.org/10.21272/fmir.4(2).5-15.2020).

67. Schipfer, F., Mäki, E., Schmieder, U., Lange, N., Schildhauer, T., Hennig, C., Thrän, D.: Status of and expectations for flexible bioenergy to support resource efficiency and to accelerate the energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 158 (2022). doi:10.1016/j.rser.2022.112094.

68. Syhyda, L., and Bondarenko, A. (2020). Innovations and Industry 4.0: A Bibliometric Analysis. *Business Inform* 6:40–48. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-6-40-48>.

69. Temkeng, S. D., & Fofack, A. D. (2021). A Markov-switching dynamic regression analysis of the asymmetries related to the determinants of US crude oil production between 1982 and 2019. *Petroleum Science*, 18(2), 679-686. <https://doi.org/10.1007/s12182-021-00549-y>.

70. Tutar, H., Karademir, O., Guler, S. & Tutar, S. (2019). Management of Innovations in Education: Students Satisfaction and Career Adoptability. *Marketing and Management of Innovations*, 4, 321-335. <http://doi.org/10.21272/mmi.2019.4-25>

71. Tutar, H., Sarkhanov, T., & Guliyeva, N. (2022). Eastern mediterranean area in energy security of the european union: From sea border issues to economic conflicts of interest. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(1), 332-341. doi:10.32479/ijeep.12602

72. Us, Ya., Pimonenko, T., Tambovceva, T., & Segers, J-P. (2020). Green transformations in the healthcare system: the covid-19 impact. *Health Economics and Management Review*, 1(1), 48-59. <https://doi.org/10.21272/hem.2020.1-04>

73. Usman, A., Ozturk, I., Naqvi, S. M. M. A., Ullah, S., & Javed, M. I. (2022). Revealing the nexus between nuclear energy and ecological footprint in STIRPAT model of advanced economies: Fresh evidence from novel CS-ARDL model. *Progress in Nuclear Energy*, 148 doi:10.1016/j.pnucene.2022.104220
74. Vakulenko, I., & Myroshnychenko, I. (2015). Approaches to the organization of the energy efficient activity at the regional level in the context of limited budget resources during the transformation of energy market paradigm. *Environmental and Climate Technologies*, 15(1), 59-76. doi:10.1515/rtuect-2015-0006
75. Vakulenko, I., Saher, L., Syhyda, L., Kolosok, S., Yevdokymova, A.: The first step in removing communication and organizational barriers to stakeholders' interaction in smart grids: A theoretical approach. *E3S Web of Conferences* 234 (2021). doi:10.1051/e3sconf/202123400020
76. Virchenko, V., Petrunia, Yu., Osetskyi, V., Makarenko, M., & Sheludko, V. (2021). Commercialization of Intellectual Property: Innovative Impact on Global Competitiveness of National Economies. *Marketing and Management of Innovations*, 2, 25-39. <http://doi.org/10.21272/mmi.2021.2-02>.
77. Vorontsova, A. S., Lieonov, S. V., Vasylieva, T. A., & Artiukhov, A. Y. (2018). Innovations in the financing of lifelong learning system: expenditure optimization model. *Marketing and Management of Innovations*, 2, 218-231. <http://doi.org/10.21272/mmi.2018.2-18>.
78. Voytyuk, O. (2022). The baltic pipe and its impact on energy security in central and eastern europe. [Baltic Pipe oraz jego wplyw na bezpieczenstwo energetyczne w regionie Europy Srodkowo-Wschodniej] *Polityka Energetyczna*, 25(1), 89-108. doi:10.33223/epj/145554
79. Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Bürer, M. J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, 35(5), 2683-2691. doi:10.1016/j.enpol.2006.12.001.
80. Yang, B., Ding, L., Zhan, X., Tao, X., Peng, F.: Evaluation and analysis of energy security in China based on the DPSIR model. *Energy Reports* 8, 607–615 (2022). doi:10.1016/j.egyr.2022.01.229.

81. Yang, Y., Liu, Z., Saydaliev, H. B., & Iqbal, S. (2022). Economic impact of crude oil supply disruption on social welfare losses and strategic petroleum reserves. *Resources Policy*, 77 doi:10.1016/j.resourpol.2022.102689
82. Ziabina, Ye., Kovalenko, Ye. (2021). Regularities In The Development Of The Theory Of Energy Efficiency Management. *SocioEconomic Challenges*, 5(1), 117-132. [https://doi.org/10.21272/sec.5\(1\).117-132.2021](https://doi.org/10.21272/sec.5(1).117-132.2021)
83. Ziabina, Ye., Pimonenko, T., Starchenko, L. (2020). Energy Efficiency Of National Economy: Social, Economic And Ecological Indicators. *SocioEconomic Challenges*, 4(4), 160-174. [https://doi.org/10.21272/sec.4\(4\).160-174.2020](https://doi.org/10.21272/sec.4(4).160-174.2020)