



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

ДОСВІД РОЗБУДОВИ РОЗУМНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ НА МІЖНАРОДНОМУ РІВНІ

Монографія

За редакцією кандидата економічних наук,
доцента С. І. Колосок

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету

Суми
Сумський державний університет
2019

УДК 621.31

Д 70

Авторський колектив:

І. А. Вакуленко

С. І. Колосок, канд. екон. наук, доцент ;

О. В. Кубатко, канд. екон. наук, доцент ;

І. С. Мареха, канд. екон. наук;

Ю. Т. Матвеева, канд. екон. наук;

Ю. А. Опанасюк, канд. екон. наук

Рецензенти:

Л. І. Михайлова – доктор економічних наук, професор (Сумський національний аграрний університет);

О. В. Шкарупа – доктор економічних наук, доцент (Сумський державний університет)

Рекомендовано до видання

вченою радою Сумського державного університету

(протокол № 13 від 20 червня 2019 року)

Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні : монографія / І. А. Вакуленко, С. І. Колосок, О. В. Кубатко та ін. ; за ред. С. І. Колосок. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 109 с.

У колективній монографії розглянуто базові аспекти розбудови розумних енергетичних мереж. Проаналізовано сучасний стан енергетичної системи на міжнародному рівні та виявлено причини неефективності її роботи. Колективну монографію виконано в межах НДР «Оптимізаційна модель розбудови розумних та безпечних енергетичних мереж: інноваційні технології екологізації підприємств та регіонів» (номер державної реєстрації НДР 0119U100766).

Розрахована на викладачів, аспірантів, студентів закладів вищої освіти та співробітників професійних установ.

УДК 621.31

© Вакуленко І. А., Колосок С. І.,

Кубатко О. В. та ін., 2019

© Сумський державний університет, 2019

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки	5
Вступ	7
Розділ 1 Аналіз енергоефективності світових енергетичних мереж.....	10
1.1 Сучасний стан світових енергетичних мереж	10
1.2 Тенденції розвитку ринкової енергетичної системи	27
Розділ 2 Інтелектуальні світові енергетичні системи.....	40
2.1 Характеристика світових енергетичних систем	40
2.2 Європейська модель впровадження розумних енергетичних технологій	49
Розділ 3 Стан та перспективи впровадження розумних енергетичних технологій.....	71
3.1 Класифікація розумних та безпечних рішень в енергетиці.....	71
3.2 Техніко-технологічний аналіз стану енергетичних мереж в Європі	82
Розділ 4 Регулювання SMART GRIP інфраструктури в Європі.....	93
4.1 Концепція SMART GRIP інфраструктури в Європі	93
4.2 Використання SMART GRIP як інструменту підвищення енергоефективності.....	94

Висновки.....	97
Список використаних джерел.....	98

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ADN	активна розподільна мережа
GIZ	Німецьке товариство міжнародного співробітництва
EDI	електронний обмін даними
ENTSO-E	Європейська мережа системних операторів передачі електроенергії
IEEE	Інститут інженерів з електротехніки та електроніки
HVO	гідроочищена рослинна олія
IoT	інтернет речей
Smart Grids	розумні енергомережі
Smart Metering	інтелектуальні засоби виміру
RISE	нормативні показники сталої енергетики
V2G	Vehicle-to-grid, система «електромобіль-та-мережа»
АБР	Африканський банк розвитку
АЕС	атомна електростанція
ВВП	валовий внутрішній продукт
ВДЕ	відновлювані джерела енергії
ГВт	гігават
ГЕС	гідроелектростанція
ЄТПЕМ	Європейська технологічна платформа електромереж майбутнього
ЄТПІСС	Європейська технологічна платформа інтеграції смарт-систем
ІКТ	інформаційно-комунікаційні технології
МВт	мегават
МЕА	Міжнародне енергетичне агентство

ОЕСР	Організація економічного співробітництва і розвитку
ООН	Організація об'єднаних націй
ОПЕК	Організація країн-експортерів нафти
ТЕС	теплова електростанція
ТЕЦ	теплоелектроцентрально
ТП	технологічна платформа
т. н. е.	тон нафтового еквівалента
ЮНЕП	Програма ООН з довкілля

ВСТУП

Зміна світових вимог до принципів функціонування енергетичних мереж спричиняє необхідність їх модернізації не тільки у технічному аспекті, але й у концептуальному, тобто у зміні принципової моделі організації енергетичних систем.

Головним завданням при розбудові енергетичних мереж є необхідність створення умов для економічно ефективного переходу від традиційної моделі енергосистеми до моделі розподіленої енергетичної генерації. Традиційна модель містить великі централізовані енергогенеруючі системи для продукування енергії, що транспортується до кінцевих користувачів лише для споживання. У моделі ж з розподіленою енергетичною генерацією передбачена можливість залучення до енергетичних систем невеликих за потужністю джерел генерації, як правило, – при створенні енергії з використанням відновлюваних джерел. У такому випадку користувач може бути одночасно і споживачем енергії, і її виробником або дилером, та передавати енергію до енергетичної системи за плату, визначену в рамках тарифної політики держави чи регіону.

Для реалізації масштабного переходу до нової моделі перебудови енергетичних систем вже були розроблені провідними державами відповідні механізми, що передбачають закріплення бажаних індикативних показників у законодавчих та нормативних документах, стратегіях розвитку, цільових програмах трансформування енергетичних систем. Окрім того, урядами держав вже сформована система економічних стимулів для проведення перетворень в енергетичному секторі задля широкого

залучення недержавних компаній, організацій та фізичних осіб до таких реформ.

З огляду на нове бачення моделі енергетичної генерації, у монографії досліджено світовий досвід з модернізації енергетичних систем на основі розбудови розумних енергетичних мереж, що можуть бути підґрунтям для переходу до моделі енергетичної системи з розподіленою енергетичною генерацією.

У першому розділі монографії аналізується сучасний стан енергетичних мереж та тенденції до розвитку ринкової енергетичної системи.

Другий розділ містить характеристику світових енергетичних систем, європейської моделі впровадження розумних енергетичних технологій, аналіз результатів реалізації окремих проєктів розумних мереж.

У третьому розділі досліджується техніко-економічний стан енергетичних мереж в Європі, наводиться класифікація розумних та безпечних рішень в енергетиці.

Опис питань нормативного регулювання SMART GRID інфраструктури, а також її використання як інструменту підвищення енергоефективності представлено у четвертому розділі.

Колективну монографію виконано у межах науково-дослідної роботи «Оптимізаційна модель розбудови розумних та безпечних енергетичних мереж: інноваційні технології екологізації підприємств та регіонів» (номер державної реєстрації НДР: 0119U100766) авторським колективом:

- Вакуленко Ігорем Анатолійовичем (вступ, висновки, підрозд. 2.1 – 3.2);

- Колосок Світланою Іванівною, кандидатом економічних наук, доцентом (вступ, висновки, підрозд. 2.1 – 3.2);

- Кубатко Олександрою Вікторівною, кандидатом економічних наук, доцентом (пірозд. 1.1, 1.2);
- Марехою Іриною Сергіївною, кандидатом економічних наук (підрозд. 2.1 – 3.2);
- Матвєєвою Юлією Тагібеківною, кандидатом економічних наук (підрозд. 2.1 – 3.2);
- Опанасюк Юлією Анатоліївною, кандидатом економічних наук (підрозд. 4.1, 4.2).

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СВІТОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

1.1 Сучасний стан світових енергетичних мереж

Попит на енергоносії і пов'язані з цим послуги для забезпечення соціально-економічного розвитку та поліпшення добробуту суспільства постійно зростає. Суспільство потребує енергетичні ресурси для задоволення основних потреб людини (наприклад, освітлення, приготування їжі, просторовий комфорт, пересування і комунікації) і для обслуговування виробничих процесів. Глобальне використання традиційних невідновних джерел енергії є домінуючим в електропостачанні та здатне приводити до погіршення навколишнього середовища. Останні дані підтверджують, що споживання викопного палива обумовлює більшість глобальних викидів парникових газів антропогенного походження. Так, на початку двадцять першого сторіччя в середньому за рік в атмосферу виділяється близько 5 млрд т. оксиду вуглецю, що може привести до порушення екологічної рівноваги в глобальному масштабі. Тому на міжнародному рівні формуються спроби для збалансованого розвитку та підвищення енергоефективності систем.

Заходи щодо підвищення енергоефективності, інвестиції та моделі поведінки споживачів є єдиним фактором, що сприяє збільшенню продуктивності енергії за останні кілька десятиліть. До інших продуктивних факторів відносять: зміни в економічній структурі країни/(економічної системи різного рівня) в бік підвищення активності в менш енергоємних галузях, аутсорсинг деяких галузей важкої промисловості, конструктивні зміни, що стимулюють технологічні досягнення, які в якості побічного продукту привели до

підвищення енергоефективності та міграції населення в більш теплі країни.

З огляду на досвід США, слід відзначити особливу державну політику, яка внесла значний вклад в підвищення продуктивності виробництва енергії. Причому, політика в галузі енергоефективності розвивалася не рівномірно у всіх п'ятдесяти штатах. У США є цілий ряд факторів, таких як демографічні, кліматичні та ціни на енергоносії, що впливають на вибір політики в галузі енергоефективності. Таким чином, штати, в яких діють заходи з підвищення енергоефективності, мають тенденцію враховувати сектори і формувати моделі, що найбільш підходять для їх економічного, політичного і соціального аспектів. Незважаючи на те, що важко визначити індивідуальний вплив, який кожен штат має, важливо відзначити підходи, що мають значний вплив на підвищення ефективності використання енергії. Так, є штати (такі як Каліфорнія), котрі постійно здійснюють підвищення енергоефективності. Але при цьому є деякі штати, які колись були лідерами по впровадженню заходів енергоефективності, проте сьогодні знизили свої показники, а інші (штати), які спочатку відстали, прискорили темпи своєї політики в галузі енергоефективності. На сьогодні досить важко провести загальне порівняння між усіма штатами, і одним з основних інструментів, що використовуються для рангування показників енергоефективності на рівні штатів, є щорічна карта показників енергоефективності («The history of energy efficiency», 2013).

Таким чином, в першу десятку штатів в 2012-2015 рр. входили: Каліфорнія, Нью-Йорк, Орегон, Вермонт, Вашингтон, Род-Айленд, Коннектикут, Міннесота, Меріленд і Массачусетс. Серед перших десяти були Міссісіпі, Вайомінг і Північна Дакота. Система показників

показує, що штати в цілому просунулися вперед з політикою і програмами в області енергоефективності, але можливості для поліпшення постійно з'являються. При цьому в 2016 р. фінансування програми енергоефективності збільшилася до 7,99 млрд. доларів США в порівнянні з 6,6 млрд. доларів США в попередньому році. Проте, тільки 14 штатів мали бюджети в області енергоефективності, які становили понад 3% доходів від комунальних послуг. Спочатку в Массачусетсі було 5,77% або 453 млн. доларів США і Вермонт відстали з 5,64% або \$ 40,7 млн. У той же час, приблизно двадцять чотири штату впровадили стандарти ресурсів енергоефективності, встановивши довгострокові цілі в галузі енергозбереження та підштовхнувши сектор комунальних послуг до інвестування в програми з енергоефективності («The history of energy efficiency», 2013).

Що стосується будівельних норм, то тридцять шість штатів прийняли або досягли значного прогресу в напрямку запровадження найостанніших (2009 IECC і ASHRAE 90.1-2007) будівельних норм і правил. Крім того, згідно з даними Ради з екологічного будівництва США, тридцять чотири уряди штатів прийняли різні ініціативи у сфері енергоефективного та екологічного проектування, включаючи законодавство, розпорядження, постанови, розпорядження, політика і стимули» («The history of energy efficiency», 2013). Так, у 2017 р. зазначена програма профінансована Міністерством енергетики в розмірі 228 млн доларів США.

Варто відмітити, що майже всі штати фінансують програми щодо зменшення енерговитрат для домогосподарств з низькими доходами, підвищуючи енергоефективність своїх будинків, забезпечуючи при цьому їх здоров'я та безпеку. У більшості штатів додаткове фінансування надають енергопостачальні компанії.

Крім того, на місцевому рівні з'явилися інноваційні механізми, що стимулюють енергозбереження в будівлях. Одним із прикладів є Нью-Йорк, де прийнято 4 законодавчих акти для збільшення ефективності використання енергії у великих будинках. Відповідно до закону «Про контрольні показники» (місцевий закон № 84, чинний в Нью-Йорку), вимагає від власників великих будинків щорічно реєструвати і розповсюджувати дані про споживання енергії та води. Історично уже в 2011 р. близько 2370 будинків діяли на підставі зазначеного закону («The history of energy efficiency», 2013).

Таким чином, США постійно приділяють увагу підвищенню енергоефективності. При цьому важливо відзначити, що і інші країни беруть участь в реалізації прогресивних цілей в галузі енергоефективності. Це забезпечує додатковий стимул для внутрішньої продуктивності енергії в країні і дозволяє здійснювати порівняння показників енергоефективності на міжнародному рівні. (Табл. 1)

У даний час Німеччина і Японія є лідерами в підвищенні енергоефективності. В Японії на сьогодні отримано один з найнижчих показників споживання енергії на одиницю ВВП в світі, і це єдина країна, яка виконує всі двадцять п'ять рекомендацій з політики в галузі енергоефективності Міжнародного енергетичного агентства (МЕА). Політика Німеччини спрямована на зниження енергоємності на 50% до 2050 р.

Таблиця 1 – Основні шляхи у напрямку енергоефективності

Країна	Шляхи у напрямку енергоефективності
Бразилія	Національний план дій з підвищення енергоефективності спрямований на скорочення споживання електроенергії на 10% до 2030 року. У жовтні 2011 року Міністерство гірничодобувної промисловості і енергетики затвердило Національний план з енергоефективності приміщень і основним головним принципом, якого є заходи по досягненню енергоефективності. За оцінками міністерства Бразилії, інвестиції в розширення виробництва електроенергії в період між 2008 і 2017 рр. складають понад 350 млрд. дол. США.
Канада	У 2008 році окремі канадські провінції зобов'язалися підвищити енергоефективність на 20% до 2020 року за рахунок поліпшення будівельних норм і правил, регулювання продуктів, політика в галузі «зеленого» будівництва, аудит і допомогу в модернізації.
Китай	В дванадцятому п'ятирічному плані (2011-2015 рр.) встановлено цільовий показники зниження енергоємності на 16% в 2015 р. і скорочення викидів CO ₂ на 40% до 2020 р. в порівнянні з 2005р. Для провінцій також розроблені індивідуальні плани в галузі енергоефективності.

Продовження табл. 1

Данія	Досягнення незалежності від традиційних видів пального до 2050 р., що в свою чергу призведе до зменшення валового споживання енергії на 4% (від рівня 2006 р.) до 2020 р. Крім того, в 2020 р. країна планує прагнути стати однією з трьох найбільш енергоефективних країн на основі енергоємності.
Франція	Враховуючі директиву Європейського союзу (ЄС) з метою досягнення зниження споживання енергії на 9% в порівнянні з 2008-2016 рр. Також планується скорочення споживання енергії на 20% до 2020 р. Політика Уряду також спрямована на зменшення енергоємності на 2% щорічно до 2020 р. і на 2,5% щорічно до 2030 р., приділяючи особливу увагу транспортному і будівельному секторам.
Німеччина	З 2008 – 2016 рр., в країні існував Національний план дій в галузі енергоефективності та цільові показники енергоємності для підвищення енергоефективності на 9% в період з 2007 по 2016 рр. Також політика Уряду спрямована на скорочення використання первинної енергії на 20% до 2020 р. і 50% - до 2050 року. Країна вимірює цільову енергоефективність по секторам, при цьому найбільша економія електроенергії очікується від житлового сектора.

Продовження табл. 1

Індія	В 2002 р., був прийнятий закон «Про енергозбереження Індії», який створив Бюро з енергоефективності з метою реалізації положень щодо зменшення електроенергії. Так, згідно положень у Індії є мета скорочення споживання енергії на 5% до 2017 р.
Японія	Зменшення енергоємності на 30% до 2030 р. Спрямованість країни на підвищення енергоефективності за рахунок сформованого попиту на енергоносії, зниження залежності від нафти. Крім того, в 70-х рр.. минулого століття, була впроваджена концепція стандартів щодо систем управління для безперервного поліпшення енергетичних показників, вимагаючи від компаній призначати енергетичних менеджерів і щорічно повідомляти Уряд про свої результати. Дана концепція була глобалізована, як стандарт ISO 50001.
Мексика	Поставила мету - 2% економії енергії до 2012 р. і 18% економії до 2030 р. Крім того, країна зменшила споживання електроенергії на 43416 ГВт в порівнянні до 2012 р. Також уряд країни має національну енергетичну стратегію, що спрямована на забезпечити 35% загальної енергії від відновлювальних джерел до 2024 року.

Продовження табл. 1

Швеція	Національний план з енергоефективності Швеції, що базується директиві ЄС, спрямований на зниження енергоспоживання на 9% до 2016 р. Орієнтовні цільові показники щодо скорочення споживання енергії в 2010 і 2016 рр. були прийняті із зазначенням, що кінцеве споживання енергії скоротилося на 6,5% до 2010 р. і на 9% до 2016 р. Крім того, Уряд країни прийняв довгострокову мету щодо підвищення енергоефективності на 20% до 2020 р., що виражена в якості міжгалузевої мети зниження енергоємності на 20% в період між 2008 і 2020 рр.
Великобританія	Згідно плану енергоефективності, Великобританія запропонувала зменшення енергії на 9% в 2016 р. Проте, в результаті вживання енергоефективних заходів країні вдалося досягти економії енергії на 18% в 2016 р.
США	Планується зменшення енергоємності ВВП на 25% до 2030 р. Крім того, Комісія пропонує подвоїти продуктивність енергії до 2030 р. в порівнянні з базовим рівнем 2011 р.

Джерело: Побудовано автором на підставі праць («Energy consumption in 2017», 2019; Energy consumption in 2016», 2018; «The history of energy efficiency», 2013)

В результаті досягнуто суттєве збільшення виробництва поновлюваних джерел енергії, крім гідроенергетики, природного газу і нафти. Нині планується, що загальне виробництво енергії в США збільшиться приблизно на 31% з 2017 по 2050 рр. Прогнозоване виробництво енергії в США також пов'язано з наявністю ресурсів, технологій і обсягом інвестицій в ці технології («Annual Energy Outlook 2018 with projections to 2050», 2018).

За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), енергоефективність є першочерговим завданням, що сприяє обмежити шкідливий вплив на навколишнє середовище і стимулювати країни до зниження викидів CO₂. Крім того, МЕА відмічає, що до 2035 року інвестиції в енергоефективність мають покрити майже половину всіх глобальних інвестицій в енергетику, необхідних для того, щоб залишатися на допустимому рівні температури нижче межі в два градуси. Відповідно, енергоефективність є одним з ключових елементів енергетичної політики для країн Європейського Союзу.

Це відображено в існуючому законодавстві і в цільових показниках, які повинні бути досягнуті в межах 2020 і 2030 рр. Проте, на міжнародному рівні існує думка, що значний потенціал економічної і технічної енергоефективності не був використаний. Заходи, які реалізовані на сьогоднішній день з метою підвищення енергоефективності, поки що залишаються незначними на шляху до досягнення енергетичних цілей, встановлених Європейським союзом.

Зокрема, в програмах розвитку енергетики варто брати до уваги існуючі бар'єри, такі як невизначений характер потенціалу енергозбереження, присутність багатьох учасників ринку з частково суперечливими інтересами, нестійкі ціни на енергоносії і дуже тривалий

період окупності інвестицій в енергоефективні заходи. Незважаючи на високий потенціал і встановлені цілі щодо підвищення енергоефективності, результат часто не виправдовує очікувань.

Енергія є ключовим елементом економіки Європейського Союзу. Країни ЄС мають лише 3,5% світових запасів газу і 2% запасів нафти, але в світовому споживанні енергії беруть участь приблизно однієї сьомої (Гонда В., 2015) ЄС споживає 11% світової енергії (тобто 1 606 млн т.н.е. в 2015 р.), близько 53% цієї енергії імпортується за ціною понад 400 млрд. Євро на рік (~ 3% ВВП ЄС в 2015 р.), що робить ЄС одним із найбільших імпортерів енергії в усьому світі («Energy Efficiency in Europe», 2016).

У даний час ЄС покриває за рахунок імпорту 82% своєї потреби в нафті, 58% попиту на газ і 39% попиту на вугілля. Іншими важливими експортерами вуглеводнів в країни ЄС є: природного газу – Норвегія та Алжир, нафти – країни ОПЕК, вугілля – Південна Африка і Австралія (Гонда, 2015).

Тому зниження споживання енергії з традиційних джерел має для країн європейського союзу першорядне значення. У 2015 р. була запропонована нова енергетична стратегія (Energy Union Strategy), згідно якою були сформульовані цілі передбачали підвищення енергоефективності на 20% до 2020 р і на 27% до 2030 р. У цьому контексті Європейська комісія закликала до фундаментального переосмислення енергоефективності та рекомендувала розглядати її, як власне джерело зекономленої енергії («Energy Efficiency in Europe», 2016).

Іншими словами, країни ЄС пообіцяли досягти споживання первинної енергії не більше 1483 млн тон нафтового еквівалента (т. н. е.) і кінцевого споживання енергії не більше 1086 млн. тне в 2020 р. У 2016 році

споживання первинної енергії в ЄС було на 4% нижче у запропонованих цілях ефективності нової енергетичної стратегії.

З 1990 р. споживання скоротилося на 1,7%. Проте, за минулі роки відстань від цільового показника споживання первинної енергії сильно коливалася. Найбільше відхилення від цільового показника було в 2006 році (16,2%, рівень споживання первинної енергії 1729 млн т. н. е.), тоді як рекордний мінімум був досягнутий в 2014 році (1,7%, 1509 млн т. н. е.). За останні два роки розрив знову виріс до 4%, що вище цільового показника 2020 року, і відповідає споживанню в 1543 млн т. н. е. в 2016 році («Energy consumption in 2017», 2019).

Таким чином, цілі щодо економії енергії на 20% в 2020 р., що сформовані в директивах ЄС спрямовані на підвищення енергоефективності є потенційно та практично досяжними.

На європейському ринку прогнозується, що економія первинної енергії досягне лише 17,6% до 2020 року («Energy Efficiency in Europe», 2016).

Проте, споживання енергії у 2017 році країнами Європейського Союзу продовжує збільшуватися третій рік поспіль, і на 3,3% вище цільового показника ефективності на 2020 р. тим самим знижується значимість цілей в галузі енергоефективності. Споживання первинної енергії становила 1561 млн тон нафтового еквівалента, у той час як кінцеве енергоспоживання досягло 1222 млн т. н. е. У порівнянні з минулим роком обидва рівні збільшилися приблизно на 1%.

Таким чином, за останні три роки споживання енергії зростало приблизно однаковими темпами: до 1 537 млн т. н. е. в 2015 році, 1 547 млн т. н. е. в 2016 році та 1 561 млн т. н. е. в 2017 році («Energy consumption in 2017», 2019; «Energy consumption in 2016», 2018).

У 2017 році споживання первинної енергії знизилося в порівнянні з попереднім роком в восьми державах-членах ЄС рис.1.

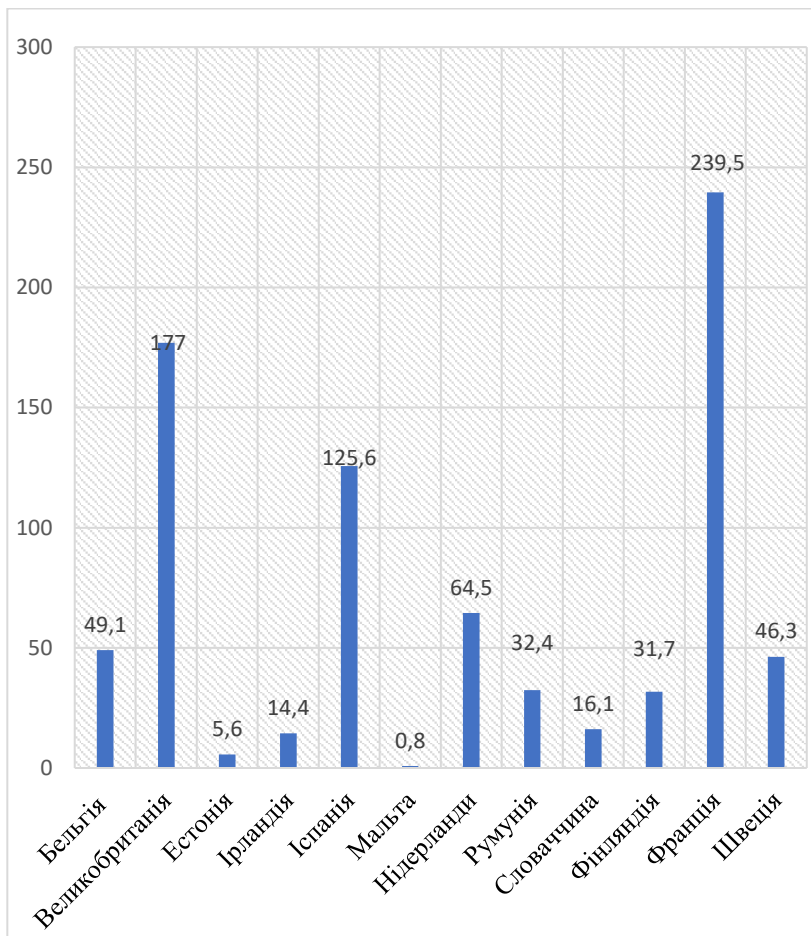


Рисунок 1 – Споживання первинної енергії в 2017 р. країнами ЄС, млн тон («Energy consumption in 2017», 2019)

За даними рис. 1, видно, особливості споживання первинної енергії в 2017 р країнами європейського союзу. Так, Естонія в порівнянні з 2016 р знизилася споживання енергії на 4,2%, Великобританія на 1,6%, Ірландія – на 1,4%, Швеція – на 1,6%, Фінляндія – на 1,2%, Нідерланди – на 0,5%, Франція – на 0,3%, Бельгія – на 0,3%.

При цьому деякі країни продемонстрували приріст в споживанні енергії. Мальта збільшила обсяг споживання первинної енергії на 12,9%, Румунія – на 5,8%, Іспанія – на 5,4%, Словаччина – на 5,1%.

Крім того, серед 28 держав-членів, в яких споживання первинної енергії знизилося в період з 2006 по 2017 рік, можна віднести Грецію (-2,4% на рік) і Литву (-2,2% в рік), де зафіксовані середньорічні зниження більш, ніж на 2% в рік («Energy consumption in 2017», 2019).

Країни європейського союзу активно приймають участь у розробленні програм та прийнятті законодавчих документів, спрямованих на підвищення енергоефективності та зменшення обсягів споживання первинної енергії. Варто відмітити, що відповідні кроки в напрямку енергоефективності та енергозбереження робляться і в Україні. У 1994 р був прийнятий Закон України «Про енергозбереження» (1994). Відповідно до закону, передбачається економія паливно-енергетичних ресурсів, що виражається у зниженні їх питомих витрат на виробництво продукції. Крім того, закон передбачає стимулювання заходів щодо підвищення енергоефективних через створений Фонд енергоефективності. Передбачається впровадження інструментів відносно здійснення заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності будівель та енергозбереження, зокрема в житловому секторі («Про Фонд енергоефективності», 2017).

У 1996 р. Верховна Рада прийняла «Національну енергетичну програму України до 2010 року», а в 2006 р.

Кабінет Міністрів затвердив «Енергетичну стратегію України на період до 2030 року». На сьогоднішній день у сфері енергоефективності та енергозбереження ухвалено понад 200 законодавчих постанов, на підставі яких постійно формуються законодавчі акти регіонального та муніципального значення.

В минулому році Міністерство економічного розвитку і торгівлі оцінило втрати України через низьку енергоефективності – майже 1,5 млрд. доларів США щорічно.

Для того, щоб більш повно зрозуміти причини низького значення показників енергоефективності, проаналізуємо передумови розвитку національної економічної системи. Отже, починаючи з 2008–2009 рр. в умовах розгортання фінансово-економічної кризи, національна економічна система розвивалась у двох напрямках. По-перше, в напрямі протидії негативним кризовим явищам та відповідно протидії будь-яким зовнішнім та внутрішнім шокам. По-друге, в напрямі підсилення дії факторів впливу та руху у напрямі тиску головних економічних змін, що виникли в 2008–2009 рр. До перших заходів необхідно віднести впровадження енергоефективного обладнання та технологій більшою частиною металургійних підприємств, перехід на використання порошкового вугільного вприскування замість природного газу при виплавленні металу та використання технології електродугового плавлення металу. Із аналізу зазначених заходів випливає, що не змінюючи структуру випуску продукції, економічна система намагається пристосуватися до негативних змін зовнішнього характеру, насамперед до зростання цін на імпортні енергоносії. Проте, адаптаційні заходи є ефективними лише впродовж певного часу. Збереження неефективної структури експорту, більше половини якого

це продукція проміжного споживання, а частка високотехнологічної продукції становить декілька відсотків, ставлять під загрозу довгострокове економічне зростання національної економіки (Туган-Барановский, 2004). До факторів впливу другого роду необхідно віднести закриття неефективних енергетично містких виробництв та перепрофілювання і зміни структури випуску продукції на підприємствах у зв'язку зі зміною економічної кон'юнктури.

У праці (Кубатко, 2017) було оцінено роботу індустрій національної економіки трьома методами: 1) методом ітеративної ефективної оцінки Зельнера (IZEF); 2) методом стохастичного аналізу кордону ефективності з фіксованими часовими ефектами; 3) методом стохастичного аналізу кордону ефективності зі змінними часовими ефектами. На основі аналізу було отримано результати для 12 головних індустрій національної економіки. Результати моделювання усіма трьома методами доводять, що підвищення цін на енергоносії призводить до зростання співвідношення використання між капіталом та енергетичними ресурсами на користь основних фондів. Дослідження тенденцій свідчить, що вітчизняні виробники в умовах зростання цін на енергетичні ресурси проводять активне інвестування в основні фонди (капітал) з метою підвищення ефективності наявних ресурсів (рис. 2).

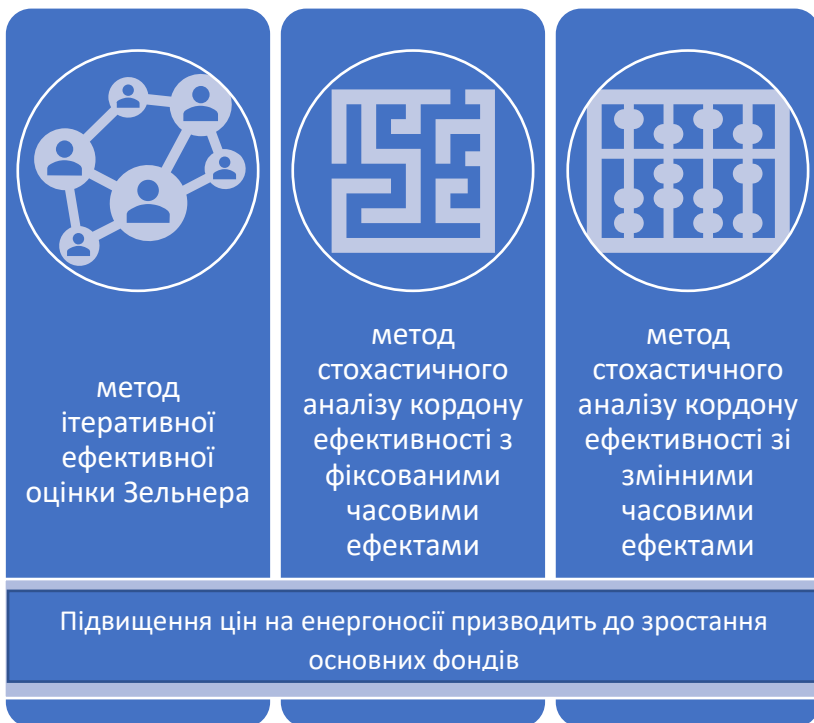


Рисунок 2 – Результати моделювання національної економіки

Поступове зростання цін на енергетичні ресурси може розглядатися як негативний ресурсний шок, що сприяє впровадженню технологій енергоефективності та ресурсозбереження. Починаючи з 2006 р., спостерігалися тенденції зменшення частки природного газу в структурі енергоносіїв з одночасним зростанням частки вугілля з 22 % у 2005 р. до 34 % у 2011–2017 рр.

У цілому, аналізуючи економічний розвиток національної економіки за період 2006–2012 рр., Т. Шинкаренко приходять до висновку, що зростання ціни

на газ за 1 тисячу м³ із 50 доларів США до більше, ніж 300 доларів США посприяло появі значної кількості незадоволеності. Так, зростання інвестицій в економіку України в 2006 році відбувалося в умовах скорочення експорту, що загалом не є сприятливим фактором для позитивного інвестиційного фону, проте зростання цін на природний газ стало стимулюючим фактором упровадження заходів щодо зменшення залежності виробничих підприємства від імпортних енергоносіїв. Негативний наслідок зростання цін на імпортні енергоносії посприяв виникненню потужного внутрішнього інвестиційного поштовху: інвестиції за 1 рік зросли більше ніж на 21 % (Туган-Барановский, 2004).

Низька швидкість зміни структури споживання енергоресурсів пояснюється складністю технологічних процесів переходу на альтернативні джерела енергії. Слабка змішуваність між капіталом та енергетичними ресурсами у національній економіці свідчить про те, що процеси адаптації вітчизняних підприємств до цінових енергетичних змін є нелегкими. Загалом названі фактори можна розглядати як у комплексі один з одним, так і окремо. Наприклад, низькі доходи населення унеможливають проведення заходів із збереження тепла та сплати рахунків за енергетичні ресурси (оскільки майже весь дохід може витратитися на харчування). З іншого боку, низька енергоефективність будинків є фактором зростання обсягів спожитих енергетичних ресурсів, що в кінцевому підсумку відобразиться на зменшенні наявного доходу до споживання (Кубатко, 2017).

Підсумовуючі слід зазначити, що країни європейського союзу, США, Україна мають певні протиріччя та проблеми розвитку в напрямку зменшення обсягів споживання первинної енергії та впровадження енергоефективних заходів. Проте, на законодавчому рівні

всі країни намагаються формулювати цілі щодо підвищення продуктивності енергії та розповсюджувати досвід у галузі енергоефективності на міжнародному рівні.

1.2 Тенденції розвитку ринкової енергетичної системи

Розумні і безпечні електромережі на сьогоднішній день розглядаються як технології, що сприяють переходу системи від традиційних електричних мереж до більш стійких і екологічно безпечних систем. Проте, в науковому співтоваристві існують суттєві протиріччя щодо впровадження подібних технологій як можливостей забезпечення енергетичної безпеки і справедливості.

З огляду на наслідки впливу на навколишнє середовище і керуючись політикою забезпечення енергоефективності в області комунікаційних технологій, розподілу електроенергії, енергетичні системи почали змінюватися на більш екологічно безпечні. Згідно з доповіддю («ETP Smart Grids», 2015), платформа Smart Grids визначається як інтелектуальна енергосистема, яка інтегрує дії всіх споживачів і здійснює генерацію енергії і надалі ефективно здійснює стійкі, економічні і безпечні поставки електроенергії. Подібні визначення Smart Grids, як розумних енергетичних систем розглядається також в доповіді («Top Markets Report», 2019). У даному випадку розумні енергомережі - Smart Grids подаються споживачам енергії як розумні енергосистеми, котрі самі здатні генерувати електроенергію.

Фархангі Х. (2017) визначив Smart grid як нові потужності, які здатні забезпечити послуги з електропостачання новими можливостями, такими як управління, комунікації зі споживачами енергії і інтеграції відновлюваних джерел енергії. Згідно, цього підходу,

зрозуміло, що розумна мережа дозволяє енергетичним підприємствам більш ефективно організовувати роботу з енергопостачання і одночасно здійснювати капітальні витрати за рахунок енергозбереження для підвищення операційної ефективності використання поновлюваних джерел енергії (Farhangi, 2017).

На наш погляд використання технології Smart grid, як розумних і безпечних енергетичних мереж дає можливість генерації різних видів енергії в електричну на індустріальних об'єктах. При цьому першочерговим значенням є забезпечення енергетичної безпеки, екологічної стійкості та енергетичної рівності. Наведені три складові утворюють енергетичну трилему, котра відображується у одному із індексів. Як ефективний енергетичний індекс, трилема була запропонована Світовою енергетичною радою та згідно з доповіддю («Energy Transition Toolkit», 2018) визначається за критеріями безпеки, справедливості і стійкості (рис. 3).

На міжнародному рівні здійснюється збалансоване оцінювання кожної країни за індексом енергетичної трилеми, в результаті чого здійснюється ранжування показників відносно один одного. При цьому країни з найбільш розвиненими і збалансованими значеннями енергетичної трилеми займають більш високі позиції. Довгострокові оцінки показують відносні поліпшення, досягнуті країнами з часом у контексті національних систем управління і ринків.

Динамічний аналіз дозволяє на основі інструменту трилеми отримати інформацію про конкретні поліпшення країни за конкретним показником.

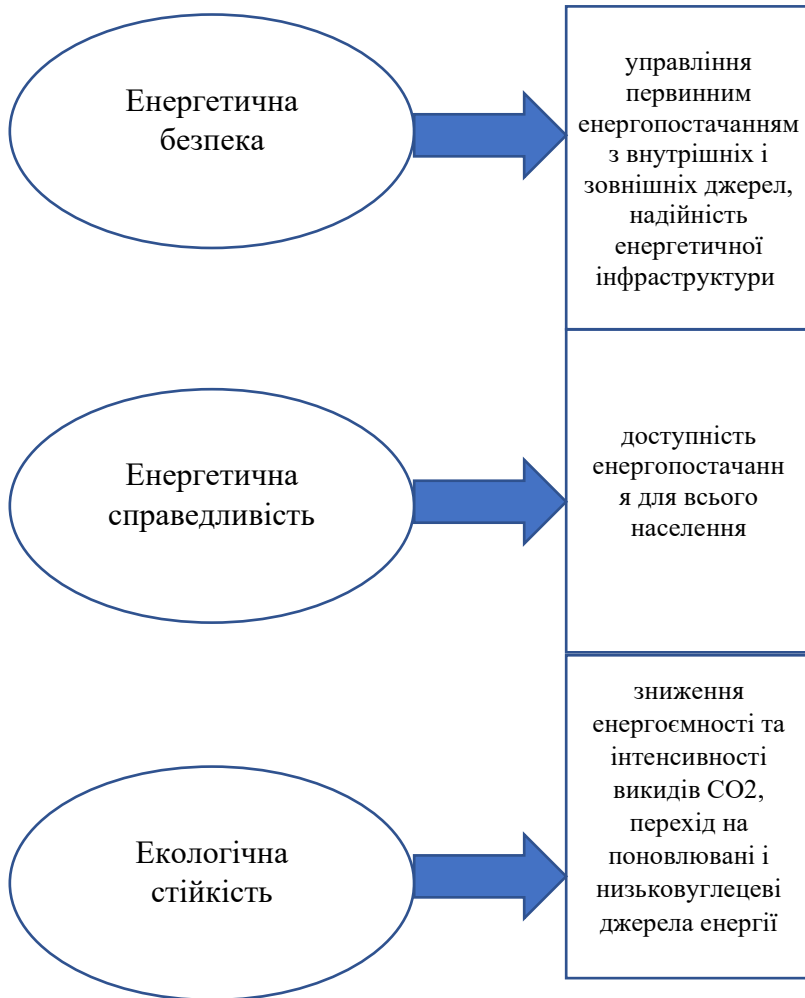


Рисунок 3 – Складові «енергетичної трилеми»

Зазначимо, що індекс енергетичної трилеми може використовуватися не тільки на міжнародному, а й на регіональному рівні з метою оцінки ефективності енергетичної політики для забезпечення збалансованого розвитку та управління.

Рейтинг світової енергетичної трилеми (World Energy Trilemma) дає можливість країнам оцінювати політичні досягнення, тенденції та результати діяльності, сприяючи при цьому на моделювання оптимальної структури енергетичної системи. Так, згідно з даними наведеними світовою енергетичною радою, індекс енергетичної трилеми по країнах приведений у табл. 2.

За даними таблиці 2 видно, що провідні позиції за індексом енергетичної трилеми займає Данія. Зокрема, за показником енергетичної безпеки, Данія займає перше місце в світі. Передмовою передових позицій Данії було прийняття в 2012 р нової енергетичної стратегії, згідно з якою до 2050 року країна бере на себе зобов'язання забезпечити 100% відновлюваної енергії в енергетичному і транспортному секторах. При цьому до 2020 року передбачено підвищення енергоефективності, використання відновлюваних джерел енергії. Цілі, які повинні бути досягнуті до 2020 року, включають приблизно 50% споживання електроенергії, яка одержувана від енергії вітру, і більше 35% кінцевого споживання енергії, що отримується з поновлюваних джерел енергії. Для реалізації поставлених цілей, уряд Данії передбачає відмову від викопного палива (відсутність викопного палива для транспортного сектора) і скорочення викидів CO₂. («Historical Trilemma Scores», н. д.).

Таблиця 2 – Індекс енергетичної трилеми за країнам

Країни	2016	2017	2018
Австралія	31	33	38
Бельгія	23	19	24
Греція	33	29	32
Данія	1	1	1
Ізраїль	34	26	15
Ірландія	20	20	17
Італія	17	16	20
Канада	22	21	13
Корея	44	39	35
Мексика	52	57	58
Німеччина	5	6	7
Нова Зеландія	9	9	8
Норвегія	7	7	9
Об'єднане Королівство	11	5	5
Португалія	18	18	22
Сполучені Штати	14	15	14
Туреччина	46	50	44
Україна	63	48	57
Фінляндія	8	11	12
Чилі	38	36	42
Швеція	3	2	3
Японія	30	30	30

Джерело: побудовано автором на даними ресурсу («Historical Trilemma Scores», н. д.)

Серед лідерів, розумної та безпечної енергетики Швеція посідає друге місце, при цьому в країні спостерігається поліпшення в області енергетичної безпеки. Політика і фінансова підтримка, що проводиться в Швеції сприяють використанню в якості транспортних засобів

електромобілі. Крім того, країною поставлені цілі щодо збільшення частки біопалива для використання в транспорті до 10% до 2020 року. Проте, ця частка вже була, досягла на рівні 31% в 2016 році. Причинами такого стрімкого збільшення перш за все, є швидкі збільшення змішування НВО-біодизеля і інших біопалив і збільшення кількості автомобілів, що працюють на біогазі («Historical Trilemma Scores», н. д.).

Сполучене Королівство Великобританії має збалансовані показники у всіх вимірах трилеми. Великобританія ефективно підтримує складові енергетичної трилеми, сформувавши різні джерела постачання первинної енергії. Так, на початку двадцятого першого сторіччя у країні спостерігається стрімкий спад поставок вугілля, на який припадає всього 5% енергопостачань в Великобританії (зниження з більш ніж 20% від загального обсягу). Пріоритет держави спрямований на відновлювальні джерела енергії, потужність яких постійно продовжує зростати. Так наприклад, у 2017 році спостерігається збільшення поставок від берегових і прибережних вітрів – з 41 ГВт поставок з відновлювальних джерел до 47 ГВт. В даний час відновлювальні джерела енергії становлять 30% від загального обсягу енергоносіїв в Великобританії («Historical Trilemma Scores», н. д.).

Серед лідерів енергетичної трилеми досить тривалий час знаходиться Німеччина. Незважаючи на те, що існують відносні зміни за показниками справедливості і стійкості, в цілому за індексом енергетичної трилеми Німеччина має високі значення. Це в першу чергу обумовлено переходом від традиційних джерел до відновлювальних джерел енергії. Планується збільшення вироблення електроенергії з поновлюваних джерел на 65% до 2030 р. Прагнучи до здійснення переходу до більш економічного і ефективного

розвитку, рішення про перетворення ринку електроенергії з системи, заснованої на пільгових тарифах, в процес проведення торгів для виробників зеленої енергії стало важливою зміною в 2016 році («Historical Trilemma Scores», н. д.).

Так, частка відновлюваної енергії в загальному виробництві енергії в Німеччині становить 33,1%. Іншими словами, в 2017 році третина електроенергії в ФРН вироблялася з вітру, біомаси, сонця і на гідроелектростанціях. У 2016 р. даний показник становив 29 %.

Відновлювальні джерела енергії і їх інтеграція в існуючу систему залишаються серйозною проблемою для енергетичної політики Німеччини, тому розширення електромереж та розвиток відповідних сховищ є основою успішної інтеграції відновлюваних джерел енергії.

Для більш збалансованого значення індексу енергетичної трилеми пріоритетним є забезпечення енергетичної безпеки та екологічної стійкості, які слід розглядати, як генерацію електроенергії на основі використання відновлювальних джерел енергії. Так, за оцінками Світового банку і даними організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР), виділяються країни, які мають високі показники по виробництву і споживанню відновлювальних джерел енергії (табл. 3).

Таблиця 3 – Виробництво та споживання енергії з поновлюваних джерел країнами-членами ОЕСР, 2014 – 2015 рр.

Країни	2014			2015		
	Споживання відновлюваної енергії (усього %)	Потужність відновлюваної електроенергії (% від загального обсягу виробництва електроенергії)	Виробництво електроенергії з відновлюваних джерел, крім гідроелектричних (% від загальної кількості)	Споживання відновлюваної енергії (усього %)	Потужність відновлюваної електроенергії (% від загального обсягу виробництва електроенергії)	Виробництво електроенергії з відновлюваних джерел, крім гідроелектричних (% від загальної кількості)
Австралія	9.28	14.9	7.50	9.18	13.64	8.34
Бельгія	9.07	17.08	16.67	9.20	20.80	20.34
Канада	22.02	62.82	5.57	22.03	63.01	6.27
Чілі	26.71	42.41	10.13	24.88	43.69	11.93
Фінляндія	41.23	38.58	18.91	43.24	44.49	20.05
Німеччина	13.38	26.13	22.98	14.21	29.23	26.27

Продовження табл. 3

Угорщина	15.67	10.68	9.66	15.56	10.58	9.81
Ізраїль	3.68	1.51	1.49	3.71	1.89	1.85
Японія	5.63	14.06	6.30	6.29	15.98	7.76
Мексика	6.88	20.94	15.28	9.03	32.38	24.94
Нова Зеландія	5.66	11.32	11.21	5.89	12.44	12.36
Норвегія	30.32	79.20	23.31	30.79	80.08	24.58
Швеція	49.69	55.84	14.31	53.25	63.26	16.75
Сполучене Королівство	7.39	19.26	17.51	8.71	24.84	22.97
Сполучені Штати	8.75	12.95	6.90	8.72	13.22	7.39

Джерело: побудовано автором на даними ресурсів («Renewable energy», 2019; «Electricity generation», 2019)

Для багатьох країн, таких як США, Китай, Бразилія, Канада, Німеччина перетворення енергії на основі відновлювальних джерел енергії є важливим компонентом енергопостачання. Безумовно, привабливість відновлюваних джерел енергії є очевидна у першу чергу через невичерпність, екологічність, незалежність від кон'юнктури цін на світових ринках традиційних джерел енергії.

Крім того, в програмі ООН по навколишньому середовищу зазначається, що альтернативні джерела енергії забезпечили 60% зростання енергетичного потенціалу в Європі і більше близько половини – в США. Світові інвестиції у відновлювану енергетику в 2017 році досягли 279,8 млрд доларів США, що на 2% вище ніж в 2016 р.,

навіть незважаючи на те, що витрати на вітряну і сонячної енергії знизилися.

Інвестиції у відновлювану енергетику у розвинених країнах в 2017 р. скоротилися на 19%, зазначимо, що інвестиції скоротилися не лише в двох країнах-лідерах – США і Японії, але і в провідних європейських країнах – Німеччині і Великобританії. Так, за даними німецької асоціації енергетики та водного господарства, ФРН планує побудувати і ввести в експлуатацію 76 електростанцій загальною потужністю 38 тис. МВт до 2020 р. Крім того, у вересні 2017 р., уряд прибережних федеральних земель, підприємницькі об'єднання та профспілки звернулися до уряду ФРН із закликом дозволити до 2030 р. установку в територіальних водах країни вітрогенераторів сумарною потужністю в 20 ГВт, з подальшим збільшенням ліміту до 2035 року на 30 ГВт.

Згідно з доповіддю Інституту енергетичної економіки та фінансового аналізу, Китай знаходиться на шляху до того, щоб стати провідним міжнародним інвестором у відновлювальні джерела енергії, тому в останні роки все частіше інвестує в «зелені» проекти в інших країнах.

Китай витратив майже 45 млрд доларів США на чисту енергетику. Тільки сонячних батарей Китаєм експортовано на 8 млрд доларів США, що значно перевищує показники Німеччини та Сполучених Штатів Америки (Чмерук, 2018). Також Китай планує інвестувати до 2020 року 361 мільярд доларів США у відновлювальні джерела енергії. У рамках даного плану передбачається створити в енергетичному секторі 13 мільйонів робочих місць і збільшити частку відновлювальних джерел в загальному обсязі виробництва електроенергії до 15%, що еквівалентно 580 мільйонам тон вугілля.

Також значне збільшення інвестицій у відновлювальні джерела енергії забезпечили країнам, що розвиваються, а саме Мексиці, Єгипту, Об'єднаним Арабським Еміратам і Аргентині суттєві позитивні позиції («Renewables 2018 Global Status Report», 2018).

Передбачається, що відновлювана енергетика в ОАЕ є реальною можливістю забезпечити енергетичну незалежність держави. Так, у 2015 році в Дубаї почалося будівництво заводу сонячної електроенергії. Наявність такого великого проєкту, на думку експертів, приверне увагу інвесторів з усього світу до національної альтернативної енергетики в ОАЕ.

Крім того, до 2030 року 5% всієї енергії в Об'єднаних Арабських Еміратах буде припадати на сонячні батареї. На сьогодні, держава здійснює фінансування масштабних проєктів з альтернативних джерел енергії по всьому світі, проводить активне кредитування будівництва і спорудження об'єктів відновлюваної енергії в Ірані, Мавританії, Аргентині, на Кубі і островах Сент-Вінсент (Чмерук, 2018).

За результатами 2017 року глобальні інвестиції в виробництво відновлюваної енергії, не включаючи гідроелектростанції, склали 279,8 млрд доларів США. При цьому частка загального обсягу інвестицій у розвиток сонячної енергетики складала 57%, близько 160,8 млрд дол. США, і збільшилися на 18% у порівнянні з 2016 роком.

Цей показник перевищує обсяг інвестицій у потужності, що працюють на газі та вугіллі, близько на 103 млрд доларів США. Більше половини всіх установок з виробництва сонячної енергії припадає на Китай. Також активними країнами, які користуються сонячними батареями є Австралія, Мексика та Швеція («ЮНЕП», 2018).

Експерти ЮНЕП у доповіді «Глобальні тенденції інвестицій у відновлювану енергетику», котру підготовлено Програмою ООН з навколишнього середовища, повідомляють про скорочення інвестицій в відновлювальні джерела енергії.

Наприклад, в США інвестиції скоротилися на шість відсотків – до 40,5 млрд доларів США у 2017 році. У той же час на Європейських ринках відзначено незначне зниження інвестицій в відновлювальні джерела енергії. Але, не дивлячись на наведені факти, експерти ЮНЕП все ж вказують на позитивну динаміку зростання інвестицій в відновлювальні джерела енергії у середньостроковій перспективі.

Так, в період з 2007 по 2017 рр. проекти з відновлювальних джерел енергії в середньому постійно зростали із позитивним темпом, що забезпечило збільшення з 5,2% до 12,1% частки електрики, що вироблена із використанням енергії вітру, сонячних батарей, відходів, геотермальних джерел, морських хвиль і невеликих гідрооб'єктів.

Що стосується структури інвестицій, то за 2017 рік у Європі 73,4% інвестицій в електроенергетику припадали на відновлювальні джерела енергії. Прогнозується, також що відновлювана енергетика приверне до 2040 року 7,8 трлн доларів інвестицій. В Європі відновлювальна енергія буде до 2040 покривати 70% потреб, в США - 44% («Global trends in renewable energy investment», 2018).

Використання і розподіл джерел відновлюваної енергії в системі розумних мереж уже на сьогодні забезпечили близько 6% нових підключень до електрики в усьому світі в період з 2012 по 2016 рр.

У розвинутих країнах світу технології Smart grid грають ключову роль в задоволенні енергетичних потреб і забезпечення засобів до існування мільйонів людей, що живуть в сільських і віддалених районах.

РОЗДІЛ 2 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СВІТОВІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ

2.1 Характеристика світових енергетичних систем

В сучасних умовах найбільш пріоритетним напрямком в розвитку енергетики провідних країн є саме дослідження розумних енергетичних мереж (smart grid) та інтелектуальних засобів виміру.

Міністерство енергетики США позиціонує розумні мережі як повністю автоматизовану енергетичну систему, що забезпечує двосторонній потік електричної енергії та інформації між електричними станціями і пристроями повсюдно. Розумні енергетичні мережі за рахунок застосування новітніх технологій, інструментів та методів дозволяють наповнити електроенергетику «знаннями», що дозволяють підвищити ефективність функціонування енергетичної системи («Grid 2030», 2003).

Національна лабораторія енергетичних технологій США (NETL) визначає розумні мережі як сукупність організаційних змін, моделі нових процесів, рішень в галузі інформаційних технологій, а також – рішень в сфері автоматизованих систем управління технологічними процесами і диспетчерського управління в електроенергетиці («A vision for the modern grid», 2007).

В кожній країні є своє бачення щодо очікувань від впровадження розумних енергетичних систем. На сьогодні, найбільш активно використовуються системи розумних мереж у США. У країні паралельно ведуть роботу з розробки технологій, стандартів, оцінки ефективності впровадження інтелектуальних енергетичних мереж, а також досліджують подальший вплив на економіці і безпеці

країни («Стан впровадження та розвитку Smart Grid та Smart Metering в енергетиці в європейських країнах», н. д.). У США вже є приблизно 12 млн установок малої розосередженої генерації з одиничною потужністю – до 60 МВт, та загальною потужністю – понад 220 ГВт. А темпи приросту потужності становлять приблизно 5 ГВт на рік.

У контексті реалізації системи розумних мереж на рівні окремої території, одним з найбільш ефективних вважається проєкт «Energy Smart Miami» («Energy smart miami», 2009). Проєкт «Майамі» передбачає побудову міста інтелектуальної енергетики. Його ініціатором є муніципалітет міста, що інвестував 200 млн дол. США з федерального фонду економічного стимулювання на впровадження технологій розумних мереж і підвищення ефективності використання поновлюваних джерел енергії.

Проєкт містить такі основні складові:

- автоматизація та комунікації;
- інтелектуальні лічильники;
- використання відновлюваних джерел енергії;
- гібридні електромобілі;
- випробування споживчих технологій.

Також доречно зазначити і проєкт «Smart Grid City: Boulder» як приклад впровадження моделі розумних мереж на рівні окремих регіонів. Боулдер в штаті Колорадо (США) було першим містом, де розпочалася реалізація концепції розумних міст на базі інноваційних енергозберігаючих технологій розумних мереж.

Головними критеріями вибору Боулдер для реалізації пілотного проєкту стали:

- вдале розташування;
- відповідна інфраструктура;
- ідеальне географічне розташування (легкий доступ до необхідних компонентів мережі);

- наявність клієнтів «інтелектуальної» мережі.

У Швеції система розумних мереж представлена проєктами, що поєднують не тільки сферу електроенергетики, але й – теплоенергетики. Їх метою є формування особливого менталітету та відношення до навколишнього середовища. До таких проєктів можна віднести й ініціативу «Екологічний район Стокгольм Хаммарбю Сьостад», що полягає у впровадженні розумних мереж на острові Готланд в Балтійському морі (у 90 км від материкової частини Швеції). Відповідно до цього проєкту, ставляться задачі щодо залучення нових споживачів: близько 30-ти підприємств і фермерських господарств, а також 2 тис. приватних домогосподарств. Ці споживачі – як великі, так і дрібні, – будуть отримувати інформацію про зміни тарифів на електроенергію, щоб мати можливість відповідним чином регулювати її споживання. Слід зазначити, що до цього проєкту споживачі приєднуються починаючи з 2013 року. У перспективі планується частину електричної енергії, що виробляється вітропарком Готланду транспортувати на материк до Стокгольму по кабельних лініях Балтійського моря. Але сучасна мережа не пристосована до нової моделі енергогенерації. Розумна мережа Готланду стане прикладом того, як краще адаптувати існуючу мережу до нових умов.

Цікавою є практика впровадження моделі розумних мереж і в Німеччині. Вона реалізовується на рівні окремих регіонів. Один з тестових майданчиків з впровадження системи розумних мереж знаходиться на федеральній землі Баден-Вюртемберг. Розбудова розумних мереж відбувається комплексно в цьому одному регіоні. Така система забезпечує системний підхід до реалізації моделі розумних мереж за такою схемою: виробництво, поставка, споживання та облік електроенергії.

Розглядаючи досвід окремих територій щодо формування екологічно чистого існування в контексті використання енергоефективних технологій доцільно звернути увагу і на проєкт «Amsterdam Smart City». У Амстердамі концепція створення розумного міста базувалася на трьох основних принципах:

- максимізація колективних зусиль;
- використання переваг технічного прогресу;
- економічна обґрунтованість.

В Амстердамі поставили перед собою мету побудувати місто з нульовим показником рівня викидів вуглекислого газу і до 2025 року використовувати 20% у загальному енергоспоживанні відновлюваної енергії.

Зважаючи на досвід провідних країн при реалізації розумних технологій в енергетиці, можна зазначити, що найбільш дієвою схемою впровадження розумних мереж вважається комплексний підхід до перебудови окремої території для реалізації пілотних проєктів. Крім того, існування моделі розумних мереж у більшості країн світу ініціюється державою та державними органами. Для такої трансформації у всьому світі беруть участь у проєктах розумних мереж понад 2930 організацій з 50 різних країн.

Сьогодні головною метою усіх країн світу є набуття сталого розвитку, досягнення якого не можливе без реалізації державами політики відповідального ставлення до навколишнього середовища. В умовах інтенсифікації використання енергоресурсів особливої актуальності набуває питання впровадження інноваційних технологій для збільшення їх ефективності.

Останні статистичні данні відображають досить високий рівень споживання електроенергії. У 2017 кінцеве споживання електроенергії зросло, якщо порівнювати до 2016 року. Характеристика споживання у 2017 році представлена за даними Міжнародного енергетичного

агентства (Міжнародне енергетичне агентство, н. д.) в табл. 4. Лідерами із споживання електроенергії на одну особу агентством було визначено такі країни, як Ісландія, Норвегія, Бахрейн, Катар, Кувейт та ін.

Таблиця 4 – Рейтинг країн світу за рівнем споживання електроенергії на душу населення за даними Міжнародного енергетичного агентства, 2017 р. («IEA Atlas of energy», н. д.; «Top ten electricity consuming countries», 2017)

Місце	Країна	Споживання (МВт.год на особу)
1	Ісландія	54,4
2	Норвегія	23,7
3	Бахрейн	18,7
4	Катар	16,2
5	Кувейт	15,7
6	Фінляндія	15,5
7	Канада	14,3
8	Люксембург	13,8
9	Швеція	13,6
10	Об'єднані Арабські Емірати	13,1

При цьому, рейтинг країн значно відрізняється, якщо порівнювати рівень споживання електроенергії загалом. Найбільшими споживачами електроенергії у 2017 році були Китай та США, що разом використали майже 40 % світового споживання електроенергії (табл. 5). Також, великими споживачами електроенергії слід назвати Індію, Японію та Росію. І в загалом, десятка країн з найбільшим споживанням електроенергії акумулювала у 2017 році більше двох третин (68,3 %) світового споживання електроенергії.

Таблиця 5 – Рейтинг країн світу за рівнем споживання електроенергії за даними Міжнародного енергетичного агентства, 2017 р. («IEA Atlas of energy», н. д.; «Top ten electricity consuming countries», 2017)

Місце	Країна	Споживання (ТВт)
1	Китай	5537
2	США	3738
3	Індія	1164
4	Японія	964
5	Росія	761
6	Корея	523
7	Німеччина	519
8	Канада	509
9	Бразилія	499
10	Франція	437

Збільшення обсягів енергоспоживання у світі пояснюється необхідністю задоволення зростаючих соціально-економічних потреб суспільства, потребою у поліпшенні якості життя населення в країні.

Узагальнюючи, можна охарактеризувати енергетичну ефективність з допомогою показника «якість електрозабезпечення». Країнами лідерами з якості електрозабезпечення є Швейцарія, Сінгапур, Швеція, Нідерланди, Данія, Франція, Ісландія, Норвегія, Об'єднані Арабські Емірати (табл. 6). Україна ж за показником якості електрозабезпечення посідає 80 місце.

Таблиця 6 – Якість електрозабезпечення у країнах світу («Quality of electricity supply», 2017)

Країна	Оцінка
Швейцарія	6,9
Сінгапур	6,8
Швеція	6,8
Нідерланди	6,8
Данія	6,8
Франція	6,7

Оцінювання з допомогою показника «якість електрозабезпечення» здійснюється за шкалою від 7 до 1 балів. Країна, що має надійне постачання електроенергії (відсутність перебоїв та відсутність коливань напруги) має оцінку 7 балів, 1 бал мають країни, що характеризуються надзвичайно ненадійним постачанням електроенергії.

Розвинуті країни докладають значні фінансові і технологічні зусилля для раціоналізації та стримування темпів зростання свого енергоспоживання. У цьому контексті слід зазначити, що деякі країни найвищим рівнем ВВП на душу населення, активно використовують принципи зеленої енергетики. Так, за даними Climate Action, у 2017 році лідерами в розвитку "зеленої" енергії були такі країни, як Ісландія, Китай, Данія, Кенія та Індія.

Ісландія – це країна з одним з найбільш високих рівнів проникнення відновлюваних джерел енергії в національному енергобалансі у світі. У даний час, геотермальна, гідро- і вітрова енергетика забезпечують 100% потреб в електроенергії Ісландії. Майже 75%

забезпечується гідроелектростанціями, решта – геотермальними джерелами. Більше 90% потреби країни в гарячій воді і теплі також забезпечуються за рахунок геотермальної енергії. У 2016 році Ісландія закрила 76% всіх потреб 300 тис. громадян в енергії за рахунок відновлюваних джерел енергії («Пять мировых лидеров в «зеленой» энергетике», 2018).

Китай також визнається світовим лідером з інвестицій в екологічно чисті технології в енергетиці. Країна багато інвестує як в будівництво станцій на відновлюваних джерелах енергії, так і виробництві екологічно чистих енергетичних технологій (наприклад, батареї і електротранспорт). ВДЕ складають значну частку енергобалансу країни. У 2016 році Китай побудував 77 ГВт сонячних і 149 ГВт вітрових електростанцій. Прогнозується, що частка Китаю в глобальній "зеленій" енергетиці до 2022 року складе 42% сонячної енергії, 35% гідро- і 40% енергії вітру.

З усіх країн ОЕСР, у Данії – найвищі показники з виробництва електроенергії з вітру на душу населення за останні 15 років. У 2017 вітроелектростанції забезпечували 43% усіх потреб в електроенергії країни. Прогнозується, що в країні до 2030 року понад 50% електроенергії повинні виробляти станції на ВДЕ, а до 2050 року – вже 100%. Темпи зростання "зеленої" енергії свідчать, що Данія має всі можливості щодо досягнення цих цілей. У 2017 році Всесвітній банк оголосив Данію однією із світових лідерів в галузі використання екологічно чистої енергії, згідно з нормативними показниками для сталої енергетики (RISE): за шкалою від 1-100, Данія набрала 86 балів за показником енергоефективності та 94 балів – за ВДЕ.

У Кенії доступ до електроенергії мають тільки 70% тих, хто цього потребує. І, у свою чергу, метою уряду Кенії є забезпечення можливості для населення загальнодоступного доступу до електроенергії до 2020 року. За останні кілька років Кенія стала лідером в будівництві не підключених до мережі сонячних станцій. Зусилля кенійського уряду підтримали численні міжнародні інституції, включаючи Світовий банк, німецьке агентство розвитку GIZ та Африканський банк розвитку (АБР). У Кенії спостерігається бум стартапів і енергетичних новаторів, у тому числі – енергетичних компаній, що спеціалізуються на розробці міні-мереж.

Завдяки впровадженню "зелених" аукціонів, в Індії створився найбільш конкурентний ринок відновлювальних джерел енергії у світі. Зі зростанням попиту на електроенергію, власники станцій змагаються між собою на аукціонах, що сприяє зниженню витрат на електроенергію. Уряд Індії планує також побудувати у наступні три роки першу в світі плаваючу сонячну електростанцію (з мінімумом у 10 ГВт потужності ВДЕ).

Норвегія за рівнем споживання електроенергії у 2011 році посіла 2 місце. У контексті зниження споживання електричної енергії, у країні була здійснена трансформація системи опалення. Зокрема, в Осло розвивається система централізованого теплопостачання. Основними напрямками підвищення ефективності теплофікації є використання теплоти сміттєспалювальних заводів та застосування попередньо ізольованих труб при прокладці або реконструкції трубопроводів централізованого теплопостачання. Централізоване теплопостачання є основним методом теплопостачання в містах Фінляндії (Бурячок та ін., 2013).

2.2 Європейська модель впровадження розумних енергетичних технологій

В Україні майже 60% електроенергії генерується атомними електростанціями (Прудка, 2017). Електроенергія, отримана за рахунок використання потужності теплових електростанцій, характеризується високою собівартістю. Це створює перепони на шляху до трансферу електроенергії на європейські ринки і знижує конкурентоздатність експортного потенціалу України. Перспектива розбудови національної енергетичної мережі полягає у суттєвому здешевленні електроенергії, що можливо за рахунок впровадження інтелектуальних систем. Використання розумних енергетичних технологій дозволяє скоротити вартість електроенергії на 20-30 % («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018). Нарощування експортного потенціалу енергетичної системи України не повинно відбуватися за рахунок руйнування природних компонентів довкілля та ставити під загрозу якість життя населення. У зв'язку з цим актуалізується необхідність використання альтернативних джерел енергії та здійснювати розбудову національної енергетичної мережі на базі кращого закордонного досвіду використання енергоефективних технологій.

Концепція розумних електромереж будується на трансфері екологічно чистої енергії до кінцевого споживача. Ця концепція є комбінацією передових технологій щодо підвищення ефективності електропостачання. Подібний підхід реалізується за рахунок модернізації традиційної енергетичної мережі та інтенсифікації сучасних організаційно-технологічних розробок.

Світові інвестиції у розбудову розумних електромереж зросли на 12 % за період з 2014 р. по 2016 р. («Міжнародне енергетичне агентство», н. д.). Це пояснюється світовою кон'юнктурою енергетичного ринку. За оцінками НЕК «Укренерго», світовий попит на електроенергію характеризується тенденцією випереджального зростання у порівнянні з попитом на первинні енергоносії. Відповідно до прогнозів Міжнародного Енергетичного Агентства, темпи зростання попиту на електроенергію до 2030 р. випереджатимуть в 1,5–2 рази темпи зростання попиту на первинні енергоносії («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018). Найвищий темп зростання попиту на електроенергію спостерігається в країнах Азії (табл. 7).

Таблиця 7 – Темпи зростання світового попиту на енергоресурси («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018)

Регіон	Попит на первинні енергоресурси	Попит на електроенергію
Європа та Північна Америка	5,4 %	26 %
Південна Америка	48 %	78 %
Африка та Близький Схід	89 %	140 %
Китай	94 %	177 %
Індія	116 %	261 %

Необхідність розбудови національної енергетичної мережі та переходу на нові стандарти функціонування енергетичних компаній обумовлена економічним зростанням, що тісно корелює зі збільшенням обсягів енергоспоживання. Ефективне розв'язання проблем, пов'язаних з новими енергетичними викликами сьогодення, не можливе у рамках традиційної концепції екстенсивного розвитку енергетичних мереж, що була спрямована виключно на нарощування потужності. Необхідність переходу на нову модель функціонування енергетичного ринку в Україні обумовлена такими чинниками (Олійник, 2015):

- якісно нові виклики організаційно-економічної моделі розвитку енергоринку;
- зростання геополітичного дисбалансу та суперечностей;
- необхідність фінансування проєктів у сфері ресурсо-та енергозбереження;
- курс на гармонізацію моделей сталого енергетичного розвитку провідних економік світу;
- фундаментальні зміни в енергетичній галузі, обумовлені поширенням інновацій, розвитком передових технологій, зміною ринкових умов.

Наразі у провідних країнах світу модернізація електроенергетики відбувається у трьох напрямках («SMART-сеть – будущее энергетики Украины», н.д.):

- а) покращення інфраструктури (напр., «сильна» мережа у Китаї);
- б) додавання «цифрового прошарку»;
- в) переформатування бізнес-процесів.

Велика частина зусиль спрямовується на модернізацію електричних систем, особливо це стосується автоматизації розподільчих підстанцій, що включені в концепцію «розумних мереж». Це, у свою чергу, дає можливість перерозподіляти попит на енергію у години пік.

Впровадження безпечних мереж потребує чималих інвестицій. Топ-10 країн за величиною інвестицій у розбудову розумних інвестицій зазначено у таблиці 8.

Таблиця 8 – Топ-10 країн за розмірами інвестицій у розумні енергетичні технології за даними («Top 10 countries in smart grid investment», 2011)

Країна	Обсяг інвестицій, млн. дол. США
Китай	7320
США	7090
Японія	849
Південна Корея	824
Іспанія	807
Німеччина	397
Австралія	360
Великобританія	290
Франція	265
Бразилія	204

Обсяг світових інвестицій у розбудову енергетики на базі впровадження розумних технологій до 2030 року оцінюється у 16 трильйонів дол. США («European technology platform SmartGrids», 2006).

Розумна електроенергетика є вектором розвитку європейських країн. Розглядаючи досвід зарубіжних країн з

питань розробки нової концепції «розумна енергосистема», можна виокремити такі положення (Биконя, 2012):

1. Концепція розумної енергосистеми передбачає переформатування не лише основних стадій життєвого циклу енергетичного продукту (генерацію, передачу, розподіл), але й всієї системи енергозабезпечення у цілому. У майбутньому функціонування електроенергетики повинно ґрунтуватися на створенні нових функціональних властивостей енергосистеми, в окресленні шляхів розвитку яких повинні взяти участь усі стейкхолдери.

2. Між усіма учасниками енергетичного ринку розумна енергосистема повинна підтримувати не лише суто функціональні, але й комунікативні, економічні та фінансові взаємовідносини. У майбутньому нова енергетична система буде подібна до сучасних глобальних інформаційно-обчислювальних мереж.

3. Інформаційні, комунікаційні мережі та мережі електропостачання, а також їх елементи повинні розглядатися як основа для формування нового технологічного укладу, за допомогою якого будуть реалізовані функціональні можливості енергосистем.

4. Концепцію необхідно розвивати на науковому, нормативно-правовому, технологічному, організаційно-управлінському та інформаційному рівнях.

5. Впровадження розумних енергосистем дає можливість трансформації та переходу до нового укладу в електроенергетиці, оскільки відбувається процес інтеграції різних за своїм призначенням мереж (інформаційної, комунікаційної та електричної) для надання системі електропостачання нових властивостей.

Основними перевагами розумних електромереж, що обумовлюють їх популярність у багатьох країнах світу (зокрема і в Україні) є («Advantages of smart grid», н. д.):

- скорочення втрат електроенергії на різних стадіях життєвого циклу енергетичного продукту (передача, розподіл тощо), у т.ч. завдяки попередження втрат електроенергії через незаконне використання (крадіжки);

- зниження вартості електроенергії;

- зниження ймовірності поламки устаткування внаслідок використання автоматизованих систем керування, що знижують навантаження на обладнання в години пік;

- скорочення викидів шкідливих речовин завдяки «озелененню» електричної системи;

- задоволення зростаючих потреб споживачів у електроенергії без необхідності побудови додаткової виробничої потужності.

Впровадження розумних технологій супроводжується отриманням суттєвих економічного та екологічного ефектів. Загальний економічний ефект від застосування розумних та безпечних технологій проявляється так (Чернишова, 2016):

- скорочення відключень;

- поліпшення надійності електроенергетичної мережі;

- збільшення пропускної здатності мережі;

- зниження витрат на додаткові послуги;

- скорочення інвестицій у виробництво;

- зменшення втрат електроенергії,

- зниження експлуатаційних витрат;

- зниження витрат на передачу електроенергії.

Загальний екологічний ефект від модернізації електроенергетичної системи на базі розумних технологій полягає у (Чернишова, 2016):

- зниженні викидів парникових газів;

- зниженні енергоємності ВВП;

- збільшення частки використання альтернативних (відновлювальних) джерел енергії;

- використанні енергоефективного обладнання та технологій.

Сумарний еколого-економічний ефект від використання розумних мереж (табл. 9) було оцінено у роботі «Smart grid economic and environmental benefits» (2013).

Таблиця 9 – Вигоди від застосування розумних мереж на 1 жителя на рік («Smart grid economic and environmental benefits», 2013)

Показник	Значення
Пряма економічна вигода, дол. США	39,69– 101,57
Поліпшення надійності мережі, %	25
Скорочення викидів CO ₂ , фунтів	55–592
Непряма економічна вигода, дол.	49,35- 53,08

В усіх країнах світу концепція розумних енергетичних мереж трактується як концепція інноваційного оновлення електроенергетики, що дозволяє на основі впровадження новітніх технологій забезпечити безперебійне та ефективне функціонування енергетичної системи. У багатьох країнах світу концепція розумних енергетичних мереж є прерогативою національного розвитку, що офіційно декларується у стратегіях держав. Так, Європейським Союзом було прийнято ряд важливих документів, що закріпили концепцію розумних мереж як стратегічний пріоритет регіонального розвитку. Серед них можна окреслити такі: мандат ЄС щодо розумних мереж (M/490, 2011), рекомендації щодо стандартизації розумних мереж в Європі («Recommendations for smart grid standardization in Europe», 2011), а також ряд інших важливих документів («Smart grids and meters», н. д).

У рамках концепції розумних мереж було створено Європейську ініціативу електричних мереж (European Electricity Grid Initiative), основними завданнями якої стали:

- використання потенціалу відновлювальних джерел електричної енергії;

- інтеграція національних мереж в єдину, пан-європейську структуру;

- високоефективне постачання електричної енергії кінцевим споживачам;

- активне залучення кінцевих користувачів до використання розумної та безпечної електричної енергії;

- розбудова транспортної інфраструктури на основі її подальшої всеосяжної електрифікації;

- обґрунтування економічної ефективності застосування кінцевими споживачами розумних технологій;

- відкриття широких можливостей для бізнесу, а також нових гравців на ринку розумних технологій («European Electricity Grid Initiative», н. д.).

Проблеми розбудови в енергетичній галузі Європейського Союзу вирішує шляхом створення відповідних технологічних платформ (ТП), що є інструментом та комунікаційним середовищем з впровадження інноваційних технологічних проєктів. Місія подібних технологічних платформ полягає в об'єднанні зусиль державного сектора, наукової спільноти та бізнесових кіл з метою сприяння вирішенню великомасштабних технологічних завдань розбудови та модернізації енергетичної сфери ЄС (Биконя, 2012).

У 2004 р. на міжнародній конференції, присвяченій інтеграції відновлювальних джерел енергії, була висунута ідея створення Європейської технологічної платформи електромереж майбутнього (ЄТПЕМ). Ініціаторами створення даного проекту були представники з промисловості. У подальшому, до процесу створення технологічної платформи було залучено національні та європейські органи влади («European technology platform for the electricity networks of the future», н. д.). ЄТПЕМ отримала фінансову підтримку за рахунок п'ятої та шостої програм ЄС зі створення кластерів у сфері енергетики. Як наслідок, – для досягнення поставленої мети об'єдналися понад 100 компаній та дослідницьких центрів Європи.

У 2005 р. було задекларовано європейську стратегічну програму досліджень, в якій першочерговим завданням стало формування концепції «розумних енергосистем», кінцевий етап реалізації якого заплановано на 2020 р. Перед Європейською технологічною платформою електромереж майбутнього поставили вирішення таких завдань (Биконя, 2012):

- забезпечити сумісність та одночасну роботу генераторів різного типу та потужності;
- надати можливість участі кінцевих користувачів у оптимізації системи електропостачання;
- забезпечити доступ користувачів до інформації щодо вибору варіантів постачальників послуг;
- зменшити негативний вплив від системи електропостачання на навколишнє природне середовище;
- підвищити існуючі рівні безпеки, надійності та якості електропостачання;
- стимулювати інтеграційні процеси на європейському ринку електропостачання.

У 2007 р. в рамках сьомої програми ЄС одержала підтримку технологічна платформа під назвою

«Європейська технологічна платформа інтеграції смарт-систем» (ЄТПІСС). Дана платформа консолідує представників державних органів влади та приватного бізнесу з метою формування безпекових структур у сфері вивчення та розробки смарт-систем. Засновниками ЄТПІСС були такі відомі компанії, як Bosch, Continental, EPCOS, FIAT, EADS, Fraunhofer, Siemens, Vermon, Sagem, Pirelly, Volkswagen та ін. В рамках даної технологічної платформи розглядаються питання консолідації електромереж та інформаційно-комунікаційної інфраструктури в єдину інтегровану структуру – інтелектуальну енергосистему («European technology platform on smart systems integration», н. д.). На сучасному етапі розвитку процес поширення в країнах Європейського Союзу нових смарт-систем та енергозберігаючої техніки дав можливість суттєво знизити навантаження на електромережі. У деяких країнах ЄС заплановано знизити споживання електроенергії на 9% за рахунок упровадження технологій розумних мереж (Каплун та Козирський, 2011).

Поточні лабораторні дослідження показують суттєве скорочення витрат на вироблення електроенергії. На глобальному рівні концепція розумних мереж містить ряд сучасних напрямів і технологій, серед яких («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018):

- системи керування режимами електросистем та енергоспоживанням, у тому числі й розумні системи управління при централізованій та децентралізованій генерації електроенергії, включаючи альтернативні джерела енергії;

- системи автоматизації розподілу електроенергії для середніх і низьких класів напруги;

- «розумний» облік – технології «інтелектуальних» систем обліку і розрахунків та режимного управління навантаженням;

- системи абонентського обліку та рахунків в галузі енергопостачання та комунального обслуговування;

- системи зарядження електромобілів тощо.

Перспективи використання енергетичних ресурсів у Європейському Союзі визначено згідно з прийнятим Європарламентом «Планом дій ЄС з енергобезпеки та єдності дій: Другий Стратегічний огляд енергетики» та Енергетичною стратегією ЄС до 2020 р.

Енергетична Стратегія та План дій є найважливішими документами ЄС в енергетичному секторі, в яких визначено програму дій на політичному рівні для досягнення основної мети розвитку енергетики, пов'язаної із забезпеченням стійкості, конкуренції та енергетичної безпеки. Зазначені цілі пропонується реалізувати до 2020 р. за допомогою підвищення енергоефективності на 20%, зростання частки використання відновлюваних джерел енергії в енергоспоживанні до 20% та зниження на 20% викидів парникових газів відносно до рівня 1990 р. Основними положеннями Енергетичної стратегії ЄС та Плану дій з енергоефективності визначено обов'язкове для виконання завдання із скорочення енерговитрат на одиницю ВВП на 20% від рівня 2005 р. («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018).

Окреслені вище стратегічні цілі та завдання у галузі енергоефективності для країн-членів Європейського Союзу передбачено відповідними Директивами ЄС (табл. 10).

Таблиця 10 – Директиви ЄС щодо сприяння розвитку і підвищення ефективності електроенергетики («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018)

№	Директива ЄС	Характеристика
1	Директива 1999/93/ЄС	окреслює систему електронних підписів у ЄС
2	Директива 2002/58/ЄС	стосується обробки персональних даних та захисту конфіденційної інформації при електронному обміні даними (Директива про конфіденційність інформації та електронний обмін інформації)
3	Директива 2004/8/ЄС	описує розвиток когенерації на основі корисної теплової напруги на внутрішньому ринку енергоносіїв
4	Директива 2004/22/ЄС	стосується засобів для проведення вимірів
5	Директива 2004/108/ЄС	передбачає зближення законодавств держав-членів, що стосуються електромагнітної сумісності
6	Директива 2006/24/ЄС	регулює захист даних в системі загальнодоступних послуг електронного обміну даних
7	Директива 2006/32/ЄС	нормує вимірювання ефективності енергоспоживання та енергозабезпечення
8	Директива 2009/28/ЄС	стосується підтримки використання енергії від поновлюваних джерел
9	Директива 2009/73/ЄС	регулює загальні правила для внутрішнього ринку природного газу

Директиви є обов'язковими для країн-членів ЄС у частині реалізації кінцевих результатів і підлягають відображенню в національній правовій системі. Окрім директив, при формуванні енергетичного ринку в Європейському Союзі використовуються:

- біла книга ЄС «Енергія майбутнього: поновлювані джерела енергії», яка не носить законодавчий характер, проте спонукає країни-члени ЄС до реалізації ініціативи використання відновлювальних джерел енергії;

- зелена книга ЄС 2005/265 про енергетичну ефективність і Зелена книга ЄС 2006/105 про європейську стратегію сталої, конкурентоспроможної та безпечної енергетики;

- кодекси електричних мереж тощо.

Європейська Комісія та національні уряди країн Європейського Союзу, незважаючи на експертні прогнози щодо значного зростання ринку енергоспоживання до 2030 р., серед пріоритетів економічного розвитку вбачають необхідність зниження енерговитрат на одиницю ВВП на 9% шляхом підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, розвитку інноваційних технологій, у тому числі за рахунок всеосяжної імплементації систем розумних мереж («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018). Більш того, впровадження розумних та безпечних енергетичних мереж дозволить до 2020 р. запобігти викидам у понад 1 млрд. т вуглекислого газу в атмосферне повітря, що суттєво підвищить його якість.

Розумні мережі також сприяють покращенню балансу між альтернативними джерелами енергії шляхом згладжування перепаду потужності від вітропарків у Західній і Північній Європі за рахунок використання потужності гідроелектростанцій Норвегії та геотермальних електростанцій Ісландії. Така диверсифікація поставок

електроенергії у рамках енергетичної стратегії та директивних рішень Європейського Союзу є економічно обґрунтованою, оскільки пакетом документів передбачено:

- розробку та імплементацію інноваційних технологій;

- диверсифікацію використання енергетичних природних ресурсів і збільшення частки відновлювальних джерел енергії у структурі первинних енергоресурсів;

- розвиток розподіленої генерації, комбінованого вироблення теплової та електричної енергії;

- зменшення руйнівного впливу на навколишнє природне середовище («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018).

У квітні 2009 р. Європарламент прийняв запропонований Єврокомісією «Третій енергетичний пакет», що передбачає масштабні дії з комплексної лібералізації енергетичного ринку Європи. Згідно з цим документом Європейський Союз повинен реалізувати Програму розвитку розумних мереж «Технологічна платформа розумних електричних мереж майбутнього в Європі». Відповідно до цієї програми 80% європейських споживачів електроенергії до 2020 року мають бути оснащені розумними лічильниками, а до 2022 року ступінь охоплення кінцевих споживачів повинен досягти 100% («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018).

Переїняття Україною європейського досвіду впровадження розумних технологій є наразі актуальним завданням. У напрямку зближення європейських та українських стандартів стосовно використання технологій розумних мереж на сучасному етапі розвитку активно працює національна енергетична компанія Укренерго. Нею

розпочато роботу над використанням у національній енергосистемі новітніх революційних технологій. Наразі Укренерго налагоджує активну співпрацю щодо підготовки національної економіки до впровадження системи інтелектуальних мереж.

До того ж, розумні технології підвищують рівень безвідмовної роботи енергетичної системи та зберігають якість навколишнього природного середовища. Ідея створення системи розумних мереж в Україні реалізується Укренерго у рамках проєкту передачі електроенергії – 2, що фінансується Міжнародним банком реконструкції та розвитку за підтримки Фонду чистих технологій. Обсяг інвестицій у даний проєкт складає 48,5 млн. дол. США («Національна енергетична компанія «Укренерго», н. д.). Головною метою проєкту є зниження викидів діоксиду вуглецю за допомогою забезпечення технічної можливості збільшення частки використання відновлювальних джерел енергії у загальному енергетичному балансі України. Генерація електричної енергії з відновлювальних джерел належить до так званої розподіленої генерації (приєднаної до мереж розподільчих компаній) зі стохастичним графіком виробітку. Збільшення обсягів видобутку у такий спосіб енергії тягне за собою суттєві зміни режиму електромереж та режиму балансування усієї системи постачання електроенергії («Національна енергетична компанія «Укренерго», н. д.).

У 2014 році Міністерство енергетики та вугільної промисловості України й бельгійська компанія Tractebel уклали угоду про розробку техніко-економічного обґрунтування проєкту. Даним контрактом було започатковано впровадження декількох пілотних технологій та проєктів розумних мереж на рівні системного оператора, що ґрунтуються на таких положеннях («Національна енергетична компанія «Укренерго», н. д.):

1. Спостережливість. Заплановано підвищити поінформованість диспетчерів про режим роботи мережі, а саме забезпечити 100% можливість спостереження за підстанціями в режимі он-лайн та створити умови для прийняття нових обсягів телеметрії з розподільчих компаній та розподіленої генерації з відновлювальних джерел енергії. Такий підхід дозволить додатково виконувати будь-які розрахунки стосовно режимів роботи мережі в реальному часі.

2. Прогнозування виробітку енергії з відновлювальних джерел. Передбачена можливість впровадження системи прогнозування виробітку електроенергії з поновлювальних джерел. Таке завдання має вирішуватися як окремими учасниками для уникнення усіляких розбалансувань в мережі, так і системним оператором для оцінки нових проєктів і оперативного планування енергетичних режимів.

3. Моделювання та прозорість загальної інформаційної моделі мережі. Передбачає створення інтеграційної платформи для збору технологічних даних всередині енергосистеми. На цій платформі буде відображатися вартість нового підключення та показники якості використання електроенергії у відповідному регіоні держави.

4. Віртуальні електростанції та системи управління попитом й V2G. Даний блок спрямований на подолання наслідків стохастичного виробітку електроенергії з відновлювальних джерел. Передбачено проведення тестування електромобілів, створення технологій залучення споживачів до вторинного та третинного регулювання, а також – створення віртуальних електростанцій.

Одним з елементів системи трансформації (або модернізації) енергетичної системи у Європейському Союзі є діяльність Європейської мережі системних операторів передачі електроенергії (ENTSO-E), що займається

широким колом питань від інформаційної та консультаційної підтримки суб'єктів, задіяних у процесі енергетичної генерації, розподілу та споживання енергії, до досліджень стану енергетичної системи та умов функціонування енергетичного ринку, включно з тенденціями його розвитку; від планування та розробки безпечної, ефективної та економічної системи передачі електроенергії до координації міжнародної активності у даній сфері.

До ключових викликів української енергетики належить інтеграція об'єднаної енергетичної системи України до загальноєвропейської системи ENTSO-E. Саме реалізація цього завдання спонукала до розробки нової енергетичної стратегії України «Безпека, ефективність, конкурентоспроможність», що окреслила стратегічні контури розвитку паливно-енергетичного комплексу України на період до 2035 року. У цьому документі зазначено дві стратегічні дати: до 2020 року передбачено виконання більшості заходів з інтеграції об'єднаної енергетичної системи України до ENTSO-E, у той час, як до 2025 року запланована інтеграція української енергосистеми із зоною континентальної Європи ENTSO-E в режимі експлуатації.

У Брюсселі 28 червня 2017 року була підписана «Угода про умови майбутнього об'єднання енергосистем України та Молдови з енергосистемою континентальної Європи», що набула чинності 7 липня 2017 року. До переваг синхронізації енергосистем для України можна віднести такі («Національна енергетична компанія «Укренерго», н. д.):

- посилення надійності та стійкості енергосистеми України за рахунок модернізації енергетичних об'єктів відповідно до європейських стандартів у рамках реалізації каталогу заходів угоди;

- диверсифікація джерел енергії та прозорі умови надання аварійної взаємодопомоги;

- впровадження ринку допоміжних послуг (регулювання частоти, підтримання параметрів надійності та якості електричної енергії);

- демонополізація внутрішнього ринку електроенергії за рахунок конкуренції, що стане наслідком інтеграції до ENTSO-E;

- можливість зростання торгівлі електроенергією у 4 рази, а саме до 18-20 млрд кВт·год/рік.

Діяльність ENTSO-E є комплексною та системною, та має чітку структуру завдань в кожній з областей діяльності. Зокрема структура завдань (напрямоків активності) у сфері планування розвитку системи містить:

- десятирічне планування розвитку мережі та регіональні інвестиційні плани;

- середньострокове прогнозування достатності;

- квартальні огляди; побудова сценаріїв;

- моніторинг та моделювання;

- стратегічне проектування енергетичних систем тощо («SMART-сеть – будущее энергетики Украины», н. д.).

Важливим напрямком роботи організації є формування передумов та сприяння реалізації ініціатив щодо функціонування конкурентного енергетичного ринку. Головне завдання у даному напрямку окреслено як поступова гармонізація правил ринку електроенергії, що лежить в основі сприяння ефективному конкурентному внутрішньому ринку та забезпечує вигоди для споживачів електроенергії й можливості для виробників та торговців енергією відповідно до завдань виконання цілей третього пакета внутрішнього енергетичного ринку та сприяння розвитку добре функціонуючого європейського ринку електроенергії («Top 10 countries in smart grid investment»,

2011). Стратегічними завданнями організації за даним напрямком є:

- інтеграція ринку та управління перевантаженнями;
 - посилення регіонального співробітництва;
 - ринкове балансування та допоміжні послуги;
 - інтеграція відновлюваних джерел енергії;
 - обґрунтування європейських тарифів на транспортування
- забезпечення прозорості європейської інформації про ринок електроенергії
 - електронний обмін даними («Top 10 countries in smart grid investment», 2011).

Окрім того на організацію покладено дослідницькі функції, результатом здійснення яких є підготовка періодичних звітів, розробка дорожніх карт розбудови енергетичної системи, у тому числі – впровадження інновацій в енергетику.

Діяльність ENTSO-E забезпечує можливість ефективної реалізації загально європейської енергетичної політики та створення єдиного енергетичного ринку Європи.

Євроінтеграційний напрямок України, у тому числі в енергетичній сфері, вимагає прийняття європейської концепції розбудови енергомереж з урахуванням місцевої специфіки, яка полягає у політиці заміщення імпорتنих енергоресурсів місцевими, а також за збільшення обсягу виробництва енергії з відновлюваних джерел при одночасній діяльності у сфері оптимізації (у т.ч. збалансування навантаження) енергомереж.

На міжнародному рівні документально закріплено ключові цінності нової електроенергетики: доступність, надійність та якість енергозабезпечення; економічність, ефективність використання всіх видів ресурсів і технологій, зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Перелічені цінності рівноправні. Це важливо зазначити у контексті питання вибору пріоритетних проєктів розумних мереж.

Окрім того у рамках концепцій розумних мереж розвиваються такі функціональні властивості електроенергетики, як: самовідновлення, мотивація активної поведінки кінцевого споживача, забезпечення надійності енергопостачання та якості електроенергії в різних цінових сегментах, трансформація системно-орієнтованого підходу на орієнтованого на клієнта, різноманіття типів електростанцій і пристроїв акумулювання електроенергії (розподілена генерація), розширення ринків потужності та енергії

Законодавче закріплення напрямків розвитку енергетичного сектору відображається, як правило, у директивах ЄС: «Directive for the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources, RES», Директива ЄС «Про енергоефективність», а також інших документальних формах (Рекомендаціях Комісії ЄС «Про підготовку до розгортання інтелектуальних систем обліку», The Strategic Energy Technology (SET) Plan тощо).

Обсяг фінансування, необхідний для здійснення проєктів, що передбачаються до впровадження для забезпечення енергетичної політики у глобальному масштабі, за оцінкою Міжнародного енергетичного агентства (Биконя, 2012) до 2030 р. становитиме близько 16 трлн дол. США, у тому числі понад 2 трлн дол. на розвиток розумних мереж («European technology platform SmartGrids», 2006). Обсяг інвестицій, необхідних для розвитку енергосистеми Євросоюзу (включаючи розширення мереж, розвиток відновлюваних джерел енергії та заходів з підвищення енергоефективності) до 2020 р. Єврокомісія оцінює близько 1 трлн євро, майже половину з яких передбачається спрямувати на розвиток електричних

мереж (у тому числі розумних електромереж). При цьому 200 млрд євро має бути спрямовано на розвиток нових транспортних енергетичних зв'язків. За оцінкою Комісії, половину необхідних коштів може бути вишукано на енергетичному ринку. Визначено, що для покриття «інвестиційного розриву» в межах 60 млрд євро пропонується залучати приватні капіталовкладення («European technology platform SmartGrids», 2006).

Фінансування проєктів з розгортання розумних енергомереж у рамках енергетичної політики розвинених країн, зокрема ЄС, відбувається системно, включаючи декілька логічних етапів. Зокрема, для реалізації одного з найважливіших завдань – забезпечення умов для розподіленої енергетичної генерації, є три етапи.

Перший етап – пристосування розподіленої генерації до діючих енергосистем. Цей етап вже пройдено для країн ЄС. Проте Україна ще перебуває саме на цьому етапі.

Другий етап – створення децентралізованої електромережі, що працює разом з основною енергосистемою. Країни ЄС, США вже знаходяться на другому етапі. Джерела розподіленої генерації і основна енергосистема стають рівнозначними частинами процесу забезпечення споживачів електроенергією. На даному етапі остаточно формується конкурентний ринок електроенергії, до якого поряд з великими об'єктами енергетичної генерації мають доступ малі енергогенеруючі об'єкти, включно з домогосподарствами (кінцевими споживачами).

Третій етап – створення дисперсної енергосистеми, де значна частина енергії виробляється системами розподіленої генерації.

Інтегрування розподіленої енергетичної генерації (як комплексу заходів та технічних рішень) до енергосистеми має ряд позитивних аспектів, адже має забезпечити підвищення надійності електропостачання, зменшення

втрат електроенергії та екологічного навантаження на довкілля. Проте під час планування та реалізації проєктів розподіленої енергетичної генерації потрібно вирішити низку проблемних питань, зокрема пов'язаних з подвійним направленням руху електроенергії.

РОЗДІЛ 3 СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗУМНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

3.1 Класифікація розумних та безпечних рішень в енергетиці

В Європі існує декілька точок зору та планів розгортання електромереж. Для створення належного функціонування єдиного європейського ринку електроенергії слід інтегрувати великі обсяги офшорної енергетики та сформувані додаткові потужності передачі електроенергії. Зокрема, є прихильники як застосування технологій постійного струму високої напруги з перетворювачами джерел напруги, так і концепції багатотермінальної мережі постійного струму (Ciapessoni et al., 2014). Результати моделювання Egerer, Lorenz та Gerbaulet (2013) показали, що більш інвестиційно вигідними є технічні рішення для мереж змінного струму: як інвестицій в національні мережі змінного струму, так і розширення мереж між країнами. І відповідно до їх дослідження, розбудова розумних мереж змінного струму 380 кВ може до певної межі замінити розширення мереж постійного струму (Egerer, Lorenz та Gerbaulet, 2013).

Відповідно, існують і різні класифікації розумних та безпечних рішень в енергетиці.

Розумні енергетичні рішення на етапі пристосування розподіленої генерації до діючих енергосистем.

Енергетична політика Європейського Союзу має логіку, в основу якої покладено принцип поетапного перетворення енергетичної мережі в розумну енергетичну мережу. Для цього необхідним є здійснення інновацій у енергетичному секторі країн-членів Європейського Союзу, що мають спільний вектор та єдині часові рамки. Механізм

досягнення такої єдності реформування енергетики коротко описано вище. Це законодавче закріплення індикативних показників, що мають бути досягнені країнами-членами на певну дату, а також діяльність спеціалізованих організацій, що беруть на себе широкий спектр функцій: від консультивання до розробки стратегічних програм із інформаційним та організаційним їхнім супроводженням. До таких організацій належить зокрема ENTSO-E.

Першим етапом реформування або як, певно, доцільніше говорити – трансформації енергетичної системи Європи є пристосування розподіленої генерації до діючих енергосистем. Досягнення мети даного етапу потребувало зусиль, спрямованих на створення технічної можливості приєднання розподілених джерел енергетичної генерації до традиційної енергетичної системи, що спиралася на дещо іншу модель: наявність потужних центрів генерації енергії (ТЕС, ТЕЦ, АЕС, великі ГЕС, вітрові та фотоелектричні станції), від яких енергія рухалася до споживачів, які, у свою чергу, мали одну функцію – споживання необхідної кількості енергії. Проте при зростанні технічного навантаження на систему, спричиненого зростанням обсягів споживання енергії та підвищенням пікового навантаження, така система виявилася економічно неефективною. Перехід до іншої моделі (з розподіленою енергетичною генерацією) потребує можливості залучення споживачів до виробництва енергії та її транспортування мережею з метою продажу.

Першочерговим технічним рішенням для створення таких можливостей є забезпечення точного вимірювання споживання та генерації енергії у споживача. Відповідно на першому етапі трансформування енергетичної системи у Європейському Союзі було забезпечено пріоритетність проєктів з встановлення засобів обліку енергії, що було законодавчо закріплено прийняттям відповідної директиви

ЄС та Рекомендацій Комісії ЄС «Про підготовку до розгортання інтелектуальних систем обліку».

Подібні проєкти реалізовувалися також і за межами Європейського Союзу, де вони були фундаментально необхідні для забезпечення подальших етапів модернізації енергетичних систем. Зокрема, одним з найбільш значимих пілотних проєктів можна назвати «The Ontario Smart Metering Initiative», суть якого полягала у встановленні інтелектуальних лічильників електроенергії у всіх будинках та підприємствах Онтаріо з метою зниження загального використання електроенергії та пікового попиту. Електричні локальні дистриб'юторські компанії в Онтаріо впроваджували ініціативу «розумний лічильник» (SMI) під керівництвом Міністерства енергетики та інфраструктури та Енергетичної ради Онтаріо. Мета ініціативи полягала в тому, щоб принести користь споживачам електроенергії в Онтаріо через потенційне скорочення рахунків, що є результатом як використання меншої кількості електроенергії, так і переходу від пікового періоду споживання. Екологічні вигоди також передбачалися за рахунок зниження пікового попиту, що допомагає, у свою чергу, зменшити використання найбільш шкідливими для навколишнього середовища джерел палива. Фінансування проєкту значною мірою відбувалося за рахунок споживачів, які мали користь від ініціативи.

Даний проєкт є показовим у плані швидкого розгортання системи обліку енергії на рівні великої територіальної одиниці, однак варто зазначити, що його було здійснено з амбітними цілями та обмеженими термінами, без достатнього планування та моніторингу з боку міністерства, що несло відповідальність за забезпечення ефективного управління.

Цей проєкт також полягав у скасуванні принципу ручного зчитування показників лічильників: працівники

розподільчої компанії фізично відвідували приміщення споживача для запису даних (така практика досі є поширеною в Україні), – та отримання ряду переваг у вигляді гнучкого ціноутворення (трирівнева структура ставок: на піку, в середині піку та поза піком), щоб відобразити зміну витрат на електроенергію протягом дня.

Однак не всі цілі проєкту було досягнуто, а його реалізація коштувала значно дорожче, ніж передбачалося. Саме тому врахування подібного досвіду є актуальним для України, що проходить перший етап модернізації енергетичної системи, для якого характерним є наявність значеної кількості подібних проєктів.

Були деякі труднощі в процесі впровадження інтелектуального обліку. На початковому етапі на шляху створення інтелектуальної мережі при використанні інформаційних та комунікаційних технологій для покращення функціонування електроенергетичної системи та оптимізації використання природних ресурсів для забезпечення електроенергії, були перепони зокрема пов'язані з недостатньою підтримкою суб'єктами енергетичного ринку запропонованих ініціатив; грошовий еквівалент прогнозованих чистих переваг (в розмірі близько 600 млн дол. США протягом 15 років) був значно завищений (щонайменше на 512 млн дол. США), адже відбулося збільшення прогнозних експлуатаційних витрат розподільчих компаній. Тобто прогнозовані чисті вигоди від проєкту за 15 років склали лише 88 млн дол. США. У той же час, витрати за проєктом становили понад 2 млрд дол. США. Однак коригування витрат при реалізації проєкту так і не було здійснено («Smart metering initiative», 2014).

Проєкти, виконання яких передбачена першим етапом модернізації енергетичної системи України, повинні спиратися на світовий досвід з метою використання кращої

світової практики та уникнення помилок, що було зроблено за кордоном при здійсненні подібних проєктів. Наразі відбувається інтенсифікація реалізації подібних інвестиційних проєктів в Україні в рамках стратегічних та цільових програм модернізації енергетичного сектору України, що фінансуються за рахунок державного та місцевих бюджетів, а також шляхом залучення фінансування від закордонних фінансових інституцій.

Розумні енергетичні рішення на етапі створення децентралізованої електромережі.

Створення децентралізованої енергетичної мережі є логічним продовженням першого етапу модернізації енергетичної системи. На даному етапі, коли уже зформовані можливості обліку споживання (а також генерації) електричної енергії у споживача (потенційного об'єкту енергогенерації) та забезпечені можливості гнучкого підходу до тарифоутворення як щодо купівлі (споживання) електроенергії, так і щодо її продажу (виробництва та передачі в мережу), постає питання пошуку оптимальних техніко-технологічних рішень щодо продукування електроенергії споживачем для власних потреб з можливістю її реалізації в мережу за умови перевищення обсягів виробництва енергії над потребою її споживання. На цьому етапі також реалізуються проєкти з автоматизації регулювання попиту з метою зниження пікових навантажень в мережі.

На даному етапі можливо побачити багато прикладів щодо реалізації енергоефективних проєктів, що пов'язані з використанням альтернативної енергетики. Адже одним і основних напрямків генерації енергії у розподілених енергетичних мережах є використання відновлюваних

енергетичних ресурсів. Залежно від умов, це може бути сонячна чи вітрова енергетика, використання біомаси тощо. Пошук оптимального варіанту використання тієї чи іншої моделі розподіленої енергогенерації є метою значної кількості пілотних проєктів на другому етапі модернізації енергетичної системи (у частині побудови розумної енергомережі).

Одним з демонстраційних проєктів у даному напрямку був проєкт EcoGrid, що проводився з 2011 по 2015 рік. Його метою було продемонструвати роботу енергосистеми з високою часткою відновлюваних енергоресурсів. Демонстрація відбулася на датському острові Борнхольм з більш ніж 50% споживання електроенергії, що покривалася виробництвом відновлюваної енергії. Концепція ринку, що функціонує в режимі реального часу для залучення дрібномасштабних енергогенеруючих об'єктів, можна вважати є наріжний камінь такого проєкту («EcoGrid EU», 2016).

Проєкт охоплював:

- розробку та впровадження концепції EcoGrid ЕС, що містить всі аспекти: від інформаційно-комунікаційних технологій, систем управління та ринкової концепції до оформлення контрактів та бізнес-кейсів;

- підготовлення демонстрації шляхом залучення усіх зацікавлених сторін, навчання учасників, встановлення та тестування обладнання;

- демонстрацію масштабної концепції з приблизно 2000 учасниками («EcoGrid EU», 2016).

Проєкт було розраховано на два опалювальних сезони з подальшою розробкою стратегії для тиражування отриманих результатів на інші регіони. Однак насправді він тривав понад 4 роки. Значною мірою, це пов'язано з

постійними покращеннями інформаційно-комунікаційної системи, що мала працювати як основа для моделі енергетичного ринку в онлайн режимі.

Результатом проєкту, окрім іншого, стала інформація щодо проблемних питань у реалізації концепції запровадження моделі ринку енергії в режимі реального часу, що мають бути вирішені перед запуском подібного підходу у масштабах Європейського Союзу.

Однак серед позитивних результатів варто відзначити відсутність суттєвих технічних перешкод для реалізації принципу розподіленої енергетичної генерації шляхом залучення до традиційної моделі енергомережі об'єктів генерації з використанням відновлюваних джерел енергії, що сприяє досягненню цілей модернізації європейської енергомережі.

Розумні енергетичні рішення на етапі створення дисперсної енергосистеми.

Третій етап модернізації енергетичної системи полягає у створенні дисперсної енергосистеми, де значна частина енергії виробляється системами розподіленої генерації. Тобто сутність даного етапу – масштабна реалізація успішного досвіду розподіленої енергогенерації із застосуванням відновлюваних джерел енергії з подальшою інтеграцією цієї моделі енергетичної системи до концепції розумних міст, відповідно до темпів науково-технічного прогресу у відповідь на зростання вимог до енергетичної системи як одного з ключових елементів забезпечення функціонування суспільства, його виробничої та невиробничої сфери.

Водночас перехід до третього етапу, що пов'язаний з плануванням глобальної енергетичної мережі та матиме за

основу розумні технології, потребує вирішення кола питань, що наразі залишаються без відповіді. Залишається незрозумілим, чи нові інвестиції, пов'язані зі значним обсягом капітальних вкладень будуть потрібно навіть за наявності розвиненої ІКТ-інфраструктури і наскільки швидко та якісно на практиці можна буде здійснювати контроль мережевих пристроїв, що будуть інструментами регулювання попиту та управління акумулюванням енергії для уникнення перевантаження мережі. Наявність розподіленого сховища, здатного локально забезпечувати електроенергію споживачам за необхідності, досі лишається технічно проблемним питанням, оптимального рішення якого немає, не зважаючи на тривалі численні дослідження у даному напрямку.

Ряд пілотних проєктів було здійснено для вирішення названих проблем, проте не зважаючи на позитивний досвід, отриманий від реалізації проєктів, питання оптимальної побудови та функціонування розумної мережі повністю не вирішено.

Одним із проєктів у напрямку вирішення даного типу проблемних питань, був проєкт під назвою ADDRESS. У рамках цього проєкту досліджували, розробляли та впроваджували технології та процеси для збільшення використання розподіленої генерації та відновлюваних джерел енергії, тим самим поглиблюючи інтеграцію між клієнтами, генераторами енергії та мережевими операторами. ADDRESS було спрямовано на розробку нової інноваційної архітектури для активних розподільних мереж (ADN), здатних збалансувати в режимі реального часу виробництво електроенергії, щоб оператори мережі, споживачі, роздрібні торговці та зацікавлені сторони отримали вигоду від збільшення гнучкості всієї системи. Інноваційне використання комунікацій, автоматизації та

побутових технологій мало поєднуватися з новими ринковими механізмами та алгоритмами, що забезпечують ADN дешевими та надійними рішеннями. У рамках реалізації проєкту було проведено аналіз витрат та переваг від застосування різних рішень: найбільш перспективні перевірялися на трьох ділянках з різними географічними, демографічними характеристиками та характеристиками генерації («Active distribution networks with full integration of demand and distributed energy RESourceS», 2013).

Переваги ADDRESS та подібних проєктів полягають у наданні практичних рішень при вирішенні фундаментальних проблем. Зокрема, у ході реалізації проєкту частково було отримано відповіді стосовно:

- підвищення гнучкості і адаптації споживачів шляхом застосування принципів активного попиту;
- забезпечення управління потоками енергії в реальному часі на місцевому та глобальному рівнях;
- розробки технологій для підвищення надійності розподіленого управління та управління мережею в реальному часі;
- використання гнучкості навантаження для досягнення більш безпечної роботи мережі та підвищення ефективності енергосистеми.

Також було надано рекомендації, що ґрунтуються на результатах практичної апробації технологічної моделі розподіленої енергетичної мережі, щодо усунення комерційних та регуляторних бар'єрів опору запровадженню концепції активного попиту та повної інтеграції енергетичної мережі на засадах розподіленої генерації та активного залучення споживачів до процесу генерації та розподілу енергії з максимально доцільним використанням відновлюваних джерел енергії, а також –

надання всім учасникам ринку вигідних енергетичних послуг для оптимізації місцевих і глобальних електромереж та підвищення конкурентоспроможності енергетичного ринку для зниження енерговитрат («A vision for the modern grid / National energy technology laboratory for the U.S. Department of energy», 2007).

Створення дисперсної енергетичної системи має ґрунтуватися на отриманні ряду переваг для усіх учасників ринку, що можуть бути монетизованими. Реальні обсяги таких переваг, поруч зі справжніми обсягами витрат, також можуть бути перевірені у результаті здійснення проєктів, подібних до проєкту ADDRESS. Співвідношення переваг від реалізації розумних технологій в енергомережі залежить від обраної технічної конфігурації та принципової організаційної моделі. Пошук оптимального рішення даного питання потребує ґрунтовного дослідження, у тому числі реалізації пілотних та демонстраційних проєктів з метою вивчення отриманого досвіду для подальшого уникнення помилок при проєктуванні розумних енергетичних мереж, а також – максимізації переваг від їх впровадження (розбудови).

До потенційних витрат, головним чином, належать ті, що пов'язані з інвестиціями в розвинену інфраструктуру вимірювання та інші двосторонні засоби зв'язку, інтелектуальні лічильники та адаптацію домогосподарств.

Переваги можуть містити:

- зниження витрат на енергію;
- покращення ринкової і системної продуктивності;
- менші втрати в мережі;
- скорочення інвестицій в мережу;
- скорочення викидів;
- зниження витрат на енергоресурси

Перехід до розумних енергетичних мереж є необхідністю. Тому процес їхньої розбудови є незворотнім. Ключове питання, що стримує швидкий перехід до розумних енергетичних мереж – наявність ринкового механізму, що забезпечить максимізацію переваг від даного процесу для усіх учасників енергетичного ринку з одночасною мінімізацією втрат, які пов'язані з відсутністю досконалих дешевих технологічних рішень та організаційної моделі, що ґрунтується на використанні таких рішень.

Вартість переходу до розумних енергетичних мереж є бар'єром, який стримує модернізацію енергетичної системи до відповідності сучасним вимогам. Інфраструктурна складова є найбільш витратним елементом бюджету проєктів розбудови розумних енергетичних мереж. Саме цим пояснюється значна кількість пілотних та демонстраційних проєктів спрямованих на пошук оптимального на даний момент варіанту побудови розподіленої енергетичної мережі із широким застосуванням розумних технологій. У той же час масштабні проєкти у енергетичному секторі відносяться до двох перших етапів модернізації енергетичної системи, адже це дозволяє забезпечити можливості для акселерації процесів модернізації енергетики у напрямку розбудови розумних енергетичних мереж відразу, коли з'явиться доступне за вартістю та технологічно ефективно рішення для масштабної розбудови дисперсних енергетичних мереж.

3.2 Техніко-технологічний аналіз стану енергетичних мереж в Європі

Ізольовані енергетичні мережі, що будувалися в Європі з кінця XIX ст. та протягом XX ст., і зараз потребують модернізації та підсилення відповідно до нової концепції переходу на відновлювані джерела енергії, що окреслює існування децентралізованого ринку постачальників енергії та диверсифікованих енергетичних ресурсів з використанням альтернативних джерел енергії. Інформаційні технології цілком можуть покращити процес управління розумними енергомережами в Європі (Ardito L. et al., 2013). Існуюча електромережа була побудована за центричного підходу: сукупність підстанцій з високою напругою та з безліччю розподільчих ліній, що або безпосередньо подають навантаження, або ж подають її після зниження напруги. І відносно мало потужних електростанцій змінного струму, що працюють при дуже високих напругах (Gungor et al., 2013).

Розбудову децентралізованих енергетичних систем у майбутньому слід провадити у такий спосіб, щоб забезпечити балансування між місцевим виробництвом та попитом відповідно до економічних та технологічних критеріїв (Brauner, 2015).

Концептуалізація форм, методів та стратегій розвитку розумних мереж в Європі активно розвивалась у 80-х рр. XX ст. Проте історично ідеї щодо об'єднаних мереж виникли набагато раніше. Думка про загальноєвропейську мережу вперше була обговорена на засіданні Ліги Націй ще у 1920-х роках. Але наслідки Першої світової війни, а потім – і Другої світової війни, призвели до політичного й економічного розділення Східної й Західної Європи та не дали змогу втілити її у реальність. Протягом тривалого періоду утворювалися окремі регіональні органи для

координації виробництва та передачі електроенергії. До таких органів можна віднести і UCPTЕ (для об'єднаних мереж Франції, Німеччини та Швейцарії), NORDEL (мереж Фінляндії, Швеції, Норвегії та Східної Данії), UKTSOA (Ірландії, Великобританії), BALTSO (країн Балтії) та ін. Але їх ефективність була недостатньою. У 2008 р. регіональні асоціації об'єдналися в Європейську мережу операторів систем передачі електроенергії (ENTSO-E), що зараз координує операторів з 34 країн Об'єднання європейської мережі (Simões et al., 2011).

При цьому, оператори систем передачі та оператори розподільчих систем повинні дотримуватися справедливих правил для транскордонного обміну електроенергією та розподілу наявної потужності міжмережних зв'язків між національними системами передачі та:

- повинні гарантувати, що передавальні та розподільчі мережі здатні передавати електроенергію, що вироблена з відновлюваних джерел енергії або через когенерацію з мінімально можливим редиспечеруванням;

- вживати відповідні операційні заходи, пов'язані з мережею та ринком, з метою мінімізації спадного розподілу електроенергії, що була вироблена з відновлюваних джерел енергії або високоефективної когенерації;

- забезпечити, щоб мережі були достатньо гнучкими та керованими, добре функціонували та дозволяли усім постачальникам ресурсів та споживачам електроенергії недискримінаційний доступ до ринку («Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity», 2019).

Проте в Європі все ще існує необхідність адаптувати електроенергетичну систему у такий спосіб, щоб була можливість інтегрувати відновлювані джерела до єдиної системи. Це потрібно, щоб надлишки відновлюваної електроенергії змогли вільно передаватися у регіони з

попитом на енергію (Tröster E. et al., 2011). За оцінками Cohen та ін. (2016), в ЄС потрібно побудувати 18 тис. км нових ліній електропередачі, з яких приблизно 80% ліній будуть потрібні для зв'язку з існуючою мережею відновлюваних джерел енергії. Якщо враховувати не тільки створення нових ліній електропередачі, але й модернізацію вже існуючих, то за розрахунками Європейської мережі операторів систем передачі електроенергії, в Європі потребується 45,3 тис. км нових або модернізованих ліній для розміщення відновлюваних джерел енергії (Jorge та Hertwich, 2014).

Як очікувалося, до 2020 року в Європі значно збільшиться обсяг виробничої потужності у сфері електроенергетики, що буде зосереджений у віддалених від осередків споживання або зберігання місцях. Тільки зростання обсягу відновлюваних джерел енергії прогнозувалося у 12%. Воно буде надходити від офшорних установок Північного моря, наземних сонячних та вітрових електростанцій у Південній Європі, установок на біомасі в Центральній та Східній Європі. Передбачається, що приріст потужності від генерації вітру буде сконцентрований у шести європейських країнах (Німеччині, Великобританії, Іспанії, Франції, Італії та Нідерландах), тоді як зростання сонячної генерації – у чотирьох: Німеччині, Іспанії, Італії та Франції («Energy infrastructure», 2011).

За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, загальний обсяг інвестицій у розвиток світової енергетики до 2030 р. становитиме близько 16 трлн дол. США, у тому числі понад 2 трлн дол. США буде спрямовано на розвиток розумних мереж. Сума коштів, необхідних для розвитку енергосистеми Євросоюзу (включаючи розширення мереж, розвиток відновлюваних джерел енергії та заходів з підвищення енергоефективності) до 2020 р. Єврокомісія оцінює приблизно в 1 трлн. євро, майже половину з яких

передбачається спрямувати на розвиток розумних електричних мереж. При цьому 200 млрд. євро має бути направлено на розбудову нових транспортних енергетичних зв'язків. За підрахунками Європейської Комісії, половину від необхідної суми інвестицій можна залучити на енергетичному ринку. А для покриття інвестиційного розриву у сумі 60 млрд. євро доведеться залучати приватні капіталовкладення.

Інформація щодо поточного стану інвестиційного забезпечення проєктів з розвитку енергетики на базі технологій розумних мереж у Європейському Союзі наведена у таблиці 11.

Ризики приватних інвесторів у реалізації великих інфраструктурних проєктів може бути мінімізовано за рахунок кредитів Європейського інвестиційного банку. На період дії позики для компенсації можливих ризиків Європейський інвестиційний банк надає компанії гарантію фінансування до 20% загальної суми інвестицій або відповідні кредитні ресурси («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018).

На поточному етапі, основною формою розбудови розумних мереж в Європі є пілотні проєкти (Radziukynas та Klementavičius, 2016). Проте, при реалізації проєктів розумних енергетичних мереж, в ЄС зіткнулися як з супротивом громад на прилеглих територіях, так і з регуляторними та законодавчими бар'єрами, що значно обмежують побудову розумної інфраструктури в Європі. Відсутність необхідних економічних та екологічних даних, а також – значна технологічна складність функціонування розумних мереж також звужують можливість їх інтеграції в існуючу інфраструктуру (Tobiasson, Beestermöller та Jamasb, 2016; Moretti, 2017).

Таблиця 11 – Інвестиції в проєкти розумних мереж у деяких країнах-членах ЄС за даними («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018)

Країна	Обсяг інвестицій, млн. євро	Тип інвестиційного проєкту, що переважає
Італія	2153	інтелектуальні лічильники
Німеччина	229	інтегровані системи
Фінляндія	221	інтелектуальні лічильники
Франція	195	інтелектуальні лічильники
Великобританія	171	домашні прилади
Іспанія	158	інтегровані системи та автоматизація передавання
Данія	140	інтелектуальні лічильники, автоматизація розподілу, інтегровані системи
Австрія	128	інтегровані системи
Нідерланди	114	інтелектуальні лічильники
Мальта	87	інтелектуальні лічильники
Бельгія	60	інтегровані системи
Португалія	19	інтегровані системи, домашні прилади
Ірландія	17	інтелектуальні лічильники, домашні прилади
Норвегія	13	інтегровані системи

В ЄС бачать чотири основні пріоритетні коридори та зони транс-європейської електроенергетичної інфраструктури:

- морська мережа Північного моря (NSOG): розбудова електромереж для транспортування електроенергії з відновлюваних офшорних джерел енергії до центрів

споживання та зберігання у Бельгії, Данії, Франції, Німеччині, Ірландії, Люксембурзі, Нідерландах, Швеції та Великобританії;

- північно-південний електричний взаємозв'язок у Західній Європі («NSI West Electricity»): розгортання мереж для інтеграції електроенергії з відновлюваних джерел енергії та зміцнення внутрішньої мережевої інфраструктури у Австрії, Бельгії, Франції, Німеччині, Ірландії, Італії, Люксембургу, Нідерландах, Мальті, Португалії, Іспанії та Великобританії;

- північно-південний електричний взаємозв'язок у Центральній-східній та Південно-східній Європі («NSI East Electricity»): мережі для розбудови внутрішнього ринку та інтеграції виробництва з відновлюваних джерел енергії у Австрії, Болгарії, Хорватії, Чехії, Кіпру, Німеччині, Греції, Угорщині, Італії, Польщі, Румунії, Словаччині, Словенії;

- план взаємозв'язку Балтійського енергетичного ринку в електроенергетиці («BEMIP Electricity»): розширення взаємозв'язків між Данією, Естонією, Фінляндією, Німеччиною, Латвією, Литвою, Польщею та Швецією для зміцнення внутрішньої мережевої інфраструктури та інтеграції відновлюваної енергетики в регіоні («Regulation (EU) No 347/2013», 2013).

У сукупності за пріоритетами профінансовані інфраструктурні проекти, що спрямовані на будівництво ключових енергетичних мереж та модернізацію вже існуючої інфраструктури зважаючи на пакет дій «Чиста енергія для всіх» для успішного переходу до виробництва та споживання зеленої енергії, а також – для посилення енергетичної безпеки з використанням сучасних цифрових та розумних технологій. Передбачається досягнення цілей взаємозв'язку окремих країн в транс-європейській електроенергетичній інфраструктурі на рівні 10 та 15% відповідно у 2020 та 2030 роках. Станом на 2017 р., 17

країн-членів ЄС вже досягли значення показника у 10%, а ще 11 країн (Болгарія, Великобританія, Ірландія, Іспанія, Італія, Кіпр, Німеччина, Польща, Португалія, Румунія, Франція), – були на шляху до цілі у 10% від їх встановленої потужності з виробництва електроенергії. За прогнозними сценаріями енергоспоживання, добре взаємопов'язані та інтегровані транс'європейські мережі нададуть можливість досягти стратегічні цілі ЄС щодо частки відновлюваних джерел енергії в енергоспоживанні до 2030 року («СОМ/2017/0718», 2017).

Побудова європейського інтегрованого ринку електроенергії, що заснована на принципі декарбонізації електроенергетичної системи, потребує від європейських країн систематичного скасування бар'єрів у транскордонній торгівлі. Така робота виражається як у покращенні техніко-технологічного стану мереж, так і – в розвитку нормативно-правового поля для подолання роздрібності енергетичного ринку та отримання повного пакету переваг від споживання енергії. Здійснюється інвестування у великі інфраструктурні проекти для забезпечення належного функціонування внутрішнього ринку електроенергії. Зважаючи на відмінності між національними енергетичними системами та технічними обмеженнями існуючих електричних мереж, поки що найкращим підходом для ЄС є інтеграція мереж на ринку електроенергії на регіональному рівні («Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity», 2019).

Цілі взаємозв'язку електроенергетичної інфраструктури в ЄС виражаються через правило «мінімальної потужності 70%», а також – за допомогою таких індикаторів нагальних дій:

- при існуванні різниці цін на оптовому ринку електроенергії та державами-членами ЄС, регіонами або

зонами (при перевищенні такої ціни понад 2 євро за МВт-год);

- номінальна пропускна здатність з'єднувачів між країнами-сусідами знаходиться нижче 30% від пікового навантаження;

- номінальна пропускна здатність з'єднувачів між країнами-сусідами знаходиться нижче 30% від встановленої відновлюваної генерації в країні («Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action», 2018).

Варто зазначити, що європейський енергетичний ринок потребує не тільки фізичного розширення електромереж, але використання нових надійних технологій й постачальників енергетичних ресурсів з позиції досягнення європейської безпеки. Зокрема, газова криза 2014 року показала необхідність досягнення енергетичного балансу та диверсифікації портфеля енергетичних ресурсів. І особливо це актуально з позиції дотримання ядерної безпеки, будівництва атомних електростанцій та використання й утилізації ядерного палива. Оскільки Російська Федерація є одним з ключових виробників ядерного палива та надає пакети послуг у межах усього ядерного ланцюга (від будівництва станцій до переробки і зберігання відпрацьованого ядерного палива), то при інвестуванні у нові атомні електростанції із використанням сторонніх технологій слід виключити залежність лише від Росії щодо постачання ядерного палива. Потрібні гарантії, що ці електростанції зможуть функціонувати при дотриманні принципу диверсифікації постачання палива. Тому, оновлена стратегія енергетичної безпеки в ЄС передбачає вимоги щодо диверсифікації не тільки в сфері електроенергетики, але і в інших сферах («СОМ/2014/0330», 2014).

Ці проблеми енергетичної сфери притаманні і для національної системи електроенергетики в Україні. Українська енергетична інфраструктура вже фізично зношена та морально застаріла, і крім того, в державі існують значні загрози безпеці з огляду на сировинну залежність від Російської Федерації. Також, є проблеми і при балансуванні та забезпеченні однакової енергетичної потужності ОЕС України.

Відповідно до даних НЕК «Укренерго», в останні роки значно ускладнилась підтримка стабільних рівнів напруги як в ОЕС, так і на рівні АЕС. Резервів існуючої потужності ТЕС та ГЕС для потреб балансування не вистачає. За 2001-2018 роки сумарний діапазон реактивної потужності на Рівненській, Хмельницькій та Південноукраїнській АЕС знизився удвічі порівняно до їх паспортної потужності через технічний стан турбогенераторів. Це є особливо важливим, оскільки такі зміни в балансі потужності суттєво впливають на режим роботи та електричні зв'язки АЕС з енергосистемою, а також – на рівні напруги в системі. Крім того, на Рівненській АЕС була зафіксована відмова системи автоматичного регулювання збудження, що призвело до «низькочастотних коливань активної та реактивної потужності енергоблоків ОЕС України» («План розвитку системи передачі на 2020-2029», 2018).

Не виконання в повному обсязі інвестиційного проєкту, що передбачав будівництво нової повітряної лінії електропередачі 750 кВ («Запорізька АЕС» – «Каховська») і реконструкцію відкритого розподільчого пристрою 750 кВ для передачі потужності від Запорізької АЕС до південних систем ОЕС призвів до обмеженої електрогенерації цієї АЕС. Через зрив строків будівництва і введення в експлуатацію повітряних ліній, не була вчасно розширена потужність електростанції до 6000 МВт, як передбачалось проєктом.

На жаль, розподіл енергогенеруючої потужності не є рівномірний за регіонами України. Є недоліки в мережевій інфраструктурі за наявності досить повільного темпу розбудови мережі, що позначається на режимі роботи ОЕС України та її систем передачі електричної енергії. Чотири електроенергетичні системи є дефіцитними і щодо їх потужності, і щодо виробництва електроенергії. Це північна, центральна, кримська та донбаська електроенергетичні системи. Так, в північній електроенергетичній системі обсяг потреби в навантаженні мережі практично в чотири рази перевищує покриття потужності системи в електроенергії, створюючи значний дефіцит електроенергії.

Центральна електроенергетична система є найбільш дефіцитною за абсолютним значенням потужності системою в Україні. Максимальне значення дефіциту потужності в системі перевищує 2,5 ГВт. Сама система після виходу з роботи Чорнобильської АЕС зазнала змін для забезпечення надійності енергопостачання як м. Києва, так і центральної електроенергетичної системи у цілому. За результатами обстеження автотрансформатора Чорнобильської АЕС було встановлено обмеження щодо його навантаження на рівні 60% від номінального значення, що звузило можливість передачі електроенергії через відкритий розподільчий пристрій АЕС. Це призвело до додатково завантаження київських та трипільської ТЕЦ. Також, в межах центральної електроенергетичної системи для потреб балансування здійснюється постачання електроенергії в межах ОЕС України та Республіки Білорусь.

Підсумовуючи, можна окреслити дві головні проблеми для балансування ОЕС України:

- неможливість оперативного балансування, проведення розрахунків спираючись на застаріле обладнання електромереж;

- безсистемний розвиток альтернативної енергетики в Україні з джерелами стохастичного продукування енергії, що ускладнює прогнозування та балансування в енергосистемі («План розвитку системи передачі на 2020-2029», 2018).

РОЗДІЛ 4 РЕГУЛЮВАННЯ SMART GRIP ІНФРАСТРУКТУРИ В ЄВРОПІ

4.1 Концепція SMART GRIP інфраструктури в Європі

Згідно концепції сталого розвитку відбувається трансформація енергетичного споживання в усьому світі задля скорочення викидів вуглецю та заощадження енергії, зменшення обсягів використання нафти й газу, переходу до відновлюваних джерел енергії. Але джерела відновлюваної енергії не є постійними, тому й виникає потреба у резервуванні та контролюванні обсягу енергії.

Механізм реалізації технологій SMART GRIP дозволяє контролювати споживання, як самому споживачеві, так і передавати дані до центрів надання послуг, що у свою чергу дозволяє контролювати обсяги споживання енергії в країні чи регіоні, та планувати обсяги видобутку енергії.

Тому цілком закономірним є зростання інвестицій у SMART GRIP технології. Експертами прогнозується, що обсяги інвестицій в інтелектуальні лічильники збільшаться за 2010-2020 рр. у 3,75 раз (рис. 4).

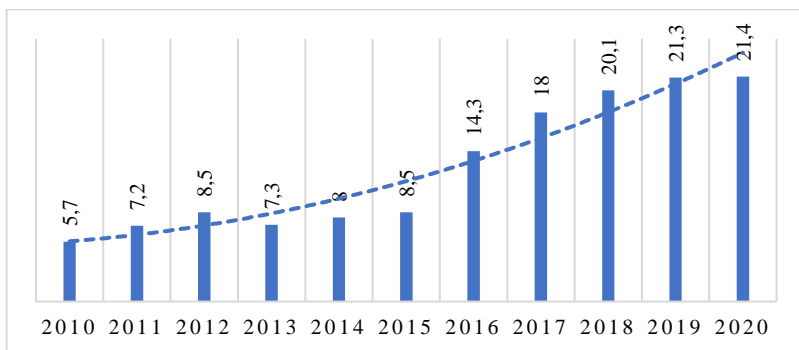


Рисунок 4 – Інвестиції в інтелектуальні лічильники за 2010-2020 роки, млрд дол. США (Стогній, 2012)

У ЄС розбудову SMART GRIP інфраструктури було закладено ще у 2009 році, з ухваленням нової директиви про електроенергію. Ця директива встановлює вимоги до країн-членів ЄС про охоплення розумними мережами до 80% споживачів електричними до 2020 року.

Також слід назвати директиви ЄС щодо загальних правил внутрішнього ринку електроенергії та газу (2009/72/ЄС та 2009/73/ЄС), енергоефективності (2012/27/ЄС). У зазначених директивах встановлені норми для членів ЄС щодо впровадження інтелектуальних систем обліку з метою сприяння активній участі споживачів на енергетичному ринку. Для покращення гнучкості та збалансованості енергетичних систем, Європейська Комісія та ЄАВТ мандатом CEN, CENELEC та ETSI (M/441, 2009) створили забезпечення для розробки відкритої архітектури лічильників комунальних послуг з використанням протоколів зв'язку, що надають можливість взаємодії та інтелектуального вимірювання (Costa, н. д.).

4.2 Використання SMART GRIP як інструменту підвищення енергоефективності

Технології інтелектуального обліку містять декілька різних технічних компонентів, що можуть змінюватися в залежності від конкретних ринкових умов у різних державах-членах ЄС, але більшість містить такі складові:

- точне вимірювання та передача даних про споживання електроенергії, газу, води або тепла;
- надання двостороннього інформаційного шлюзу та інфраструктури зв'язку між лічильниками та відповідними сторонами та їх системами.

Технології двостороннього інформаційного шлюзу та інфраструктури зв'язку переважно використовуються з метою:

- підвищення обізнаності та розширення прав споживачів шляхом надання фактичних даних про споживання;

- удосконалення системи управління взаємовідносинами з клієнтами та послуг, включаючи автоматизоване виставлення рахунків на основі детальних даних вимірювання;

- краще керування енергетичними мережами: збільшення або зменшення за потребою споживання енергії (наприклад, шляхом управління попитом на енергію);

- надання нових енергетичних послуг для підвищення енергоефективності;

- заохочення децентралізованої, мікро-генерації енергії, перетворення споживача на виробників енергії.

В індустрії інтелектуального обліку електроенергії з 2010 року спостерігається деякий зсув на регіональному ринку інвестицій. Для досягнення національних та європейських цілей комунальні підприємства планують встановити 182 мільйони одиниць інтелектуальних лічильників протягом 2016–2020 років. Для цього потребуватиметься 37,8 мільярда доларів інвестицій.

Після угоди про асоціацію з ЄС, Україна також йде шляхом впровадження розумних технологій в електроенергетиці. Так, протягом останніх років було укладено ряд угод та нормативно-правових актів, таких як: закон України «Про ринок електричної енергії», указ президента України «Про стратегію сталого розвитку «Україна – 2020» та інших документиів в яких закладено базис для розробки нової моделі функціонування електромереж.

У рамках другого проєкту з передачі електроенергії в Україні на 2019-2020 роки заплановано виконання пакету робіт «Розумні електромережі», що передбачає модернізацію диспетчерських пунктів, введення у дію інтелектуальних лічильників, розробку віртуальних електростанцій. І це особливо важливо зробити, оскільки реалії українських електромереж невтішні та дещо відрізняються від мереж ЄС:

- фізичний знос українських електромереж складає 70%;
- втрати енергії в електромережах становлять щонайменше 15%;
- устаткуванню мереж притаманна моральна застарілість;
- в Україні є залежність від експорту енергоносіїв на всіх рівнях;
- за оцінками, енергетичні системи перезавантаженні на 45%.

Враховуючі загрози, що існують в українській енергетиці, модернізація електромереж та заміна устаткування повинна стати для України пріоритетним напрямом. Впровадження розумних технологій управління електромережами дозволить значно покращити стан ОЕС, у т. ч. – й за допомогою управління споживанням електроенергії.

ВИСНОВКИ

Розбудова розумних енергетичних мереж є необхідною умовою для створення сучасної енергетичної системи, що ґрунтується на принципі розподіленої енергетичної генерації.

Світовий досвід свідчить про існування окремих проблем, що не дозволяють на даному етапі технологічного розвитку здійснити масштабний перехід до нової моделі енергетичної системи. Головна проблема полягає у відсутності дешевих технологій, що дозволять застосовувати універсальні рішення для розподілу та акумулювання електроенергії у системі. Залучення відновлюваних джерел енергії як одного з ключових елементів енергетичної системи, з одного боку, дозволяє збільшити автономність кінцевих споживачів енергії, знизити навантаження на довкілля. Проте й одночасно ВДЕ створюють проблеми для енергетичної системи у вигляді необхідності компенсації нестачі енергії у несприятливі погодно-кліматичні періоди.

Це техніко-технологічна проблема, що наразі не має ефективного комерційного рішення. Відповідно процес повного переходу до системи розподіленої генерації неможливий, доки не буде знайдене ефективне рішення балансування енергетичної системи. Саме це є причиною того, що енергетична політика розвинених країн передбачає кілька етапів модернізації енергетичних систем. Україна перебуває лише на першому етапі, тому використання світового досвіду є необхідною умовою для підвищення ефективності трансформації енергетичної системи у державі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Grid 2030» – a national vision for electricity’s second 100 years. 2003. URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/Electric_Vision_Document.pdf (дата звернення 28.02.2019).

2. A vision for the modern grid / National energy technology laboratory for the U.S. Department of energy. 2007. URL: <https://www.edockets.state.mn.us/EFiling/edockets/searchDocuments.do?method=showPoup&documentId={9AC20792-2CBE-4702-8BCC-7EAA8FB1F1A6}&documentTitle=5522178> (дата звернення 28.02.2019).

3. Active distribution networks with full integration of demand and distributed energy RESourceS. 2013. URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/100636/factsheet/en> (дата звернення 28.02.2019).

4. Advantages of smart grid. Disadvantages of smart grid. URL: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-Smart-Grid.html> (дата звернення 28.02.2019).

5. Annual energy outlook 2018 with projections to 2050 / EIA. 2018. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AEO2018.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

6. Ardito L. et al. Smart grid technologies in Europe: an overview // Energies. 2013. № 6(1). P. 251-281.

7. Brauner G. The energy turnaround in europe: Technological challenges for an interdisciplinary energy strategy. [Die Energiewende in Europa: Technologische Herausforderungen an eine interdisziplinäre Energiestrategie] //

Elektrotechnik Und Informationstechnik. 2015. № 132(3). P. 180-184. DOI:10.1007/s00502-015-0294-5.

8. Ciapessoni E., et al. (2014). Impact of multi-terminal HVDC grids on AC system stability and operation. *International conference on large high voltage electric systems*. Paris, 2014.

9. Cohen J. et al. An empirical analysis of local opposition to new transmission lines across the EU-27 // *Energy Journal*. 2016. № 37(3). P. 59-82. DOI:10.5547/01956574.37.3.jcoh.

10. COM/2014/0330. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. European energy security strategy. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52014DC0330> (дата звернення 28.02.2019).

11. COM/2017/0718. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions. Communication on strengthening Europe's energy networks. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1512401992772&uri=CELEX:52017DC0718> (дата звернення 28.02.2019).

12. Costa M. M. Smart metering. URL: <https://www.cencenelec.eu/standards/sectorsold/sustainableenergy/smartmeters/pages/default.aspx> (дата звернення 28.02.2019).

13. EcoGrid EU – a prototype for European smart grids. Deliverable D6.7. Overall evaluation and conclusion. 2016. URL: http://www.ecogrid.net/images/Documents/D6.7_160121_Final.pdf (дата звернення 28.02.2019).

14. Egerer J., Lorenz C., Gerbaulet C. European electricity grid infrastructure expansion in a 2050 context. *2013 10th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. Stockholm, 2013. P. 1-7. DOI:10.1109/EEM.2013.6607408.

15. Electricity generation. OCED data. 2019. URL: <https://data.oecd.org/energy/electricity-generation.htm> (дата звернення 28.02.2019).

16. Energy consumption in 2016 / Eurostat. 2018. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/8643581/8-05022018-BP-EN.pdf/1338cf55-5c91-4179-абса-808675e40bbd> (дата звернення 28.02.2019).

17. Energy consumption in 2017 / Eurostat. 2019. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9549144/8-07022019-AP-EN.pdf/4a5fe0b1-c20f-46f0-8184-e82b694ad492> (дата звернення 28.02.2019).

18. Energy efficiency in Europe. The levers to deliver the potential. 2016. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/energy-efficiency-in-europe.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

19. Energy infrastructure. Priorities for 2020 and beyond – a blueprint for an integrated European energy network / Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2011. P. 41. URL: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/MJ3010705ENC.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

20. Energy smart miami – A possible model for smart grid and DG. 2009. URL: <https://ilsr.org/energy-smart-miami-possible-model-smart-grid-and-dg/> (дата звернення 28.02.2019).

21. Energy transition toolkit. User guide. 2018. URL: <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World-Energy-Council-Energy-Transition-Toolkit-User-Guide.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

22. ETP Smart grids. ETP documents SmartGrids. 2015. URL: <http://www.smartgrids.eu/> (дата звернення 28.02.2019).

23. European electricity grid initiative. URL: <https://www.edsoforsmartgrids.eu/policy/eu-steering-initiatives/eegi/> (дата звернення 28.02.2019).

24. European technology platform for the electricity networks of the future. URL: [доступу : http://www.smartgrids.eu/](http://www.smartgrids.eu/) (дата звернення 28.02.2019).

25. European technology platform on smart systems integration. URL: <http://www.smart-systemintegration.org/> (дата звернення 28.02.2019).

26. European technology platform SmartGrids. Vision and strategy for Europe's electricity networks of the future. 2006. URL: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf (дата звернення 28.02.2019).

27. Farhangi H. Smart grid. *Earth Systems and Environmental Sciences Encyclopedia of Sustainable Technologies*. Ohio, 2017. P. 195-203. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10135-6> (дата звернення 28.02.2019).

28. Global trends in renewable energy investment / Bloomberg New Energy Finance. 2018. URL: <https://drive.google.com/file/d/1SmhaI-WAcмEMqR8R9oL5Fxn0cZ0kfY8Z/view> (дата звернення 28.02.2019).

29. Gungor V. C. et al. A survey on smart drid potential applications and communication requirements // IEEE transactions on industrial informatics. 2013. № 9(1). P. 28-42. DOI: 10.1109/TII.2012.2218253.

30. Historical trilemma scores. URL: <https://trilemma.worldenergy.org> (дата звернення 28.02.2019).

31. IEA Atlas of energy. Electricity. URL: <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1118783123/1> (дата звернення 28.02.2019).

32. Jorge R. S., Hertwich E. G. Grid infrastructure for renewable power in Europe: the environmental cost // Energy. 2014. № 69. P. 760-768. DOI:10.1016/j.energy.2014.03.072.

33. Li J., Li T., Han L. Research on the evaluation model of a smart grid development level based on differentiation of development demand // Sustainability. 2018. № 10(11). URL: <https://doi.org/10.3390/su10114047> (дата звернення 28.02.2019).

34. M/490. Smart Grid. Mandate Standardization Mandate to European Standardisation Organisations (ESOs) to support European Smart Grid deployment / European Commission. 2011. URL: <ftp://ftp.cen.eu/CEN/Services/Innovation/M490.pdf>. (дата звернення 28.02.2019).

35. Moretti M. et al. Are smart grids the holy grail of future grid mix? Economic, environmental, and regulatory opportunities for smart grid development in northwestern europe. *Analysis of energy systems: Management, planning and policy*. Boca Raton, 2017. P. 105-148. DOI:10.1201/b20992.

36. Quality of electricity supply. Table of Rankings / World economic forum. 2017. URL: <http://reports.weforum.org/global-energy-architecture-performance-index-2017/table-of-rankings/#series=EOSQ064> (дата звернення 28.02.2019).

37. Radziukynas V., Klementavičius A. Development of the smart grid [Išmaniojo elektros tinklo plėtra] // Energetika. 2016. № 62(4). P. 301-318. DOI:10.6001/energetika.v62i4.3397.

38. Recommendations for smart grid standardization in Europe / CEN/CENELEC/ETSI Joint Presidents Group (JPG). 2011. URL: <https://www.etsi.org/e-brochure/smartgrids/data/catalogue.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

39. Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC,

2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council. PE/55/2018/REV/1 OJ L 328, 21.12.2018, p. 1–77. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2018/1999/oj> (дата звернення 28.02.2019).

40. Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity. PE/9/2019/REV/1 OJ L 158, 14.6.2019, p. 54–124. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/943/oj> (дата звернення 14.06.2019).

41. Regulation (EU) No 347/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2013 on guidelines for trans-European energy infrastructure and repealing Decision No 1364/2006/EC and amending Regulations (EC) No 713/2009, (EC) No 714/2009 and (EC) No 715/2009. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2013/347/2018-04-26> (дата звернення 28.02.2019).

42. Renewable energy. OCED data. 2019. URL: <https://data.oecd.org/energy/renewable-energy.htm> (дата звернення 28.02.2019).

43. Renewables 2017 global status report / REN21. 2017. URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2017_Full-Report_English.pdf (дата звернення 28.02.2019).

44. Renewables 2018 global status report / REN21. 2018. URL: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/08/Full-Report-2018.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

45. Simões M. G. et al. Smart-grid technologies and progress in Europe and the USA. *2011 IEEE Energy Conversion*

Congress and Exposition. Phoenix, 2011. P. 383-390. DOI: 10.1109/ECCE.2011.6063795.

46. Smart grid economic and environmental benefits. A review and synthesis of research on smart grid benefits and costs. 2013. URL: <https://smartenergycc.org/wp-content/uploads/2013/10/SGCC-Econ-and-Environ-Benefits-Full-Report.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

47. Smart grids and meters. URL: https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters_en (дата звернення 28.02.2019).

48. Smart grids. URL: <http://s3platform.jrc.ec.europa.eu/smart-grids> (дата звернення 28.02.2019).

49. Smart metering initiative / 2014 Annual Report of the Office of the Auditor General of Ontario. 2014. URL: <http://www.auditor.on.ca/en/content/annualreports/arreports/en/14/311en14.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

50. Smart metering. European Union electricity market glossary. 2016. URL: <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/1439-smart-metering> (дата звернення 28.02.2019).

51. SMART-сеть – будущее энергетики Украины. URL: <http://kiysolar.com/smart-grid/smart-grid-in-ukrainian-future> (дата звернення 28.02.2019).

52. Strategic energy technology plan. 2014. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/strategic-energy-technology-plan> (дата звернення 28.02.2019).

53. Sunshine W.L. Pros and cons of smart electric meters. 2019. URL: <https://www.thebalancesmb.com/pros-and-cons-of-smart-meters-1182648> (дата звернення 28.02.2019).

54. System development committee / ENTSO-E. URL: <https://www.entsoe.eu/about/system-development/> (дата звернення 28.02.2019).

55. The history of energy efficiency / Alliance commission on national energy efficiency policy. 2013. URL: https://www.ase.org/sites/ase.org/files/resources/Media%20browser/ee_commission_history_report_2-1-13.pdf (дата звернення 28.02.2019).

56. Tobiasson W., Beestermöller C., Jamasb T. Public engagement in electricity network development: The case of the Beaulieu–Denny project in Scotland // *Economia e Politica Industriale*. 2016. № 43(2). P. 105-126. DOI:10.1007/s40812-016-0030-0.

57. Top 10 countries in smart grid investment. 2011. URL: <https://geospatial.blogs.com/geospatial/2011/10/top-10-countries-in-smart-grid-investment.html> (дата звернення 28.02.2019).

58. Top markets report. Smart grid. A market assessment tool for U.S. exporters / U.S. department of commerce international trade administration industry & analysis. 2018. URL: http://www.trade.gov/topmarkets/pdf/Smart_Grid_Top_Markets_Report.pdf (дата звернення 20.05.2019).

59. Top ten electricity consuming countries / IEA. 2017. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/top-ten-electricity-consuming-countries-2017> (дата звернення 20.05.2019).

60. Tröster E. et al. European grid study 2030/2050. 2011. URL: <https://www.laka.org/docu/boeken/pdf/6-04-0-30-24.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

61. Ачкасов І. А. Аналіз сучасного стану ринків енергопостачання та формування портфельів проєктів розвитку // *Управління розвитком складних систем*. 2018. № 33. С. 6 – 15. URL:

<http://urss.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-33/3.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

62. Биконя О. Шляхи впровадження Smart Grid в країнах світу // Економічний вісник Донбасу. 2012. № 1 (27). С. 217 – 222.

63. Бурячок Т. О. та ін. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі. 2013. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5> (дата звернення 28.02.2019).

64. Гонда В. Энергетическая безопасность и её обеспечение в Европейском Союзе // Актуальні проблеми економіки. 2015. № 3. С. 25-32.

65. Державна служба статистики України : веб-сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення 28.02.2019).

66. Європейська комісія : веб-сайт. URL: <https://ec.europa.eu/> (дата звернення 28.02.2019).

67. Каплун В. В., Козирський В. В. Smart Grid як інноваційна платформа розвитку електроенергетичних систем // Енергетика та електрифікація. 2011. № 5(333). С. 35–46.

68. Кубатко О. В. Флуктуації розвитку еколого-економічних систем : монографія. Суми : Університетська книга, 2017. 384 с.

69. Міжнародне енергетичне агентство : веб-сайт. URL: <https://www.iea.org> (дата звернення 28.02.2019).

70. Міністерство енергетики США : веб-сайт. URL: <https://www.energy.gov/> (дата звернення 28.02.2019).

71. Національна енергетична компанія «Укренерго» : веб-сайт. URL: <https://ua.energy/majbutnye-ukrenergo/> (дата звернення 28.02.2019).

72. Олійник Д. «Розумна енергетика»: світові тенденції й вітчизняні реалії // Віче. 2015. № 21. С. 46-48.

73. Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці. 2018. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/3.-Smart-Grid.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

74. План розвитку системи передачі на 2020-2029 роки : проект / ДП «НЕК «Укренерго». 2018. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/03/ПРОЕКТ-Planu-rozvytku-systemy-peredachi-na-2019-2028-roky.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

75. Про енергозбереження : закон України від 01.07.1994 № 74/94-ВР // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 28.02.2019).

76. Прудка Н. Євроінтеграційний реванш: енергосистема України інтегрується в загальноєвропейську ENTSO-E? 2017. URL: <https://glavcom.ua/publications/jevointegraciyniy-revansh-energositema-ukrajini-integrujetsya-v-zagalnojevropeysku-entso-e-424525.html> (дата звернення 28.02.2019).

77. Пять мировых лидеров в «зеленой» энергетике. 2018. URL: <https://delo.ua/business/5-zelenyh-stran-338433/> (дата звернення 28.02.2019).

78. Стан впровадження та розвитку Smart Grid та Smart Metering в енергетиці в європейських країнах / АІМ. URL: <http://aim-ltd.kiev.ua/ua/K/id/24-15761> (дата звернення 28.02.2019).

79. Стогній Б. С. та ін. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні // Технічна електродинаміка. 2012. № 5. С. 52–67.

80. Туган-Барановский М. И. Избранные сочинения: в 2-х т. Т.2. Основы политической экономии. Донецк, 2004. 686 с.

81. Чернишова М. І., Тульчинська С. О. Впровадження проекту «Розумні Мережі» в контексті розвитку паливно-

енергетичного комплексу України // Ефективна економіка. 2016. № 11. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5272> (дата звернення 28.02.2019).

82. Чмерук Т. Использование возобновляемых источников энергии – инвестиция в будущее. 2018. URL: <https://112.ua/mnenie/ispolzovanie-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii--investiciya-v-budushhee-431034.html> (дата звернення 28.02.2019).

83. ЮНЕП: восьмой год подряд инвестиции в возобновляемые источники энергии превышают 200 млрд долл. США / ICTSD. 2018. URL: <https://ictsd.iisd.org/bridges-news/мосты/news/юнеп-восьмой-год-подряд-инвестиции-в-возобновляемые-источники-энергии> (дата звернення 28.02.2019).

Наукове видання

**Вакуленко Ігор Анатолійович,
Колосок Світлана Іванівна,
Кубатко Олександра Вікторівна та ін.**

**ДОСВІД РОЗБУДОВИ
РОЗУМНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ
НА МІЖНАРОДНОМУ РІВНІ**

Монографія

За редакцією кандидата економічних наук,
доцента С. І. Колосок

Художнє оформлення обкладинки С. І. Колосок
Комп'ютерне верстання С. І. Колосок

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 6,34. Обл.-вид. арк. 5,76.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.