

УДК 621.31  
УКПП  
N держреєстрації 0119U100766  
Інв. №

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
40007, м.Суми, вул. Римського-Корсакова, 2;  
тел. (0542) 33 53 83; факс 33 40 58

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи,  
д-р. фіз-мат. наук, професор  
\_\_\_\_\_ А.М. Черноус  
\_\_\_\_\_.\_\_\_\_.\_\_\_\_

**ЗВІТ**  
**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**  
Оптимізаційна модель розбудови розумних та безпечних енергетичних мереж:  
інноваційні технології екологізації підприємств і регіонів

**ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ**  
**ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОЗБУДОВИ РОЗУМНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ**  
**МЕРЕЖ**  
(проміжний)

Керівник НДР  
канд.екон.наук, доц.

С.І. Колосок

2019

Рукопис закінчено 21 листопада 2019 р.

Результати цієї роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від  
26.11.2019 р. № 4

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, старший науковий  
співробітник, канд.екон.наук, доцент

2019.11.21 С. І. Колосок  
(вступ, висновки,  
підрозділи 1.1, 1.2, 2.5)

Відповідальний виконавець,  
наук.співроб.

2019.11.21 І. А. Вакуленко  
(вступ, висновки,  
підрозділи 1.1, 1.2, 2,5,  
2.6)

Старший наук. співроб.,  
канд. екон. наук, доцент

2019.11.21 О. В. Кубатко  
(підрозділ 2.1, 2.2, 2.3)

Старший наук. співроб.,  
канд. екон. наук

2019.11.21 І. С. Мареха  
(підрозділи 2.1, 2.3,2.4)

Старший наук. співроб.,  
канд. екон. наук

2019.11.21 Ю. Т. Матвєєва  
(підрозділи 2.1, 2.3, 2.4)

Виконавець ЦПД, канд. техн. наук

2019.11.21 А. В. Євдокимова  
(підрозділ 2.1, 2.2, 2.3)

Виконавець ЦПД, канд. екон. наук	2019.11.21	С .А. Прийменко (підрозділ 2.6)
Виконавець ЦПД, студент	2019.11.21	Р. В. Котюк (підрозділ 2.3)
Виконавець ЦПД, студент	2019.11.21	Н. О. Петренко (підрозділ 2.4)
Виконавець ЦПД, студент	2019.11.21	Р. Ю. Яценко (підрозділ 2.6)

## РЕФЕРАТ

**Звіт про НДР:** 90 с., 6 рис., 9 табл., 59 джерел.

РОЗУМНА ЕНЕРГОСИСТЕМА, ІННОВАЦІЙНА ЕНЕРГЕТИКА,  
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, РОЗУМНІ МІСТА

**Об'єкт дослідження** – процес багатокритеріальної оптимізації енергомереж з урахуванням фінансових та часових обмежень, ресурсного потенціалу регіонів та оптимальних логістичних рішень щодо геопросторового розміщення енергопотужностей.

**Метою дослідження** є розробка оптимізаційної моделі розбудови “розумних” та еколого-безпечних енергомереж, реалізація якої дозволить масштабувати локальні енергоефективні smart-рішення на більш високий рівень – побудувати “дорожню карту” енерго-модернізаційних перетворень для всіх суб'єктів регіонального енергетичного ланцюга як комплексну програму провадження енергоінновацій, узгоджену за бюджетом, ресурсами, черговістю та пріоритетністю заходів, фактором часу.

**Методи дослідження** – системно-структурний та логічний методи, порівняльний аналіз.

На підставі проведених досліджень отримано наукові результати:

1. Сформовано аналітичні матеріали щодо стану теплової енергетики на прикладі м. Суми, визначено перспективи розвитку розумних енергомереж як складової системи теплозабезпечення та виявлено причини, які перешкоджають цьому процесу.
2. Проведено системний аналіз напрямків розвитку розумної енергосистеми за кордоном.
3. Визначено драйвери інноваційного розвитку енергосистеми на основі застосування розумних енергетичних технологій.
4. Встановлено необхідність здійснення розбудови розумних енергетичних мереж поетапно, що дозволить максимально швидко створити необхідну інфраструктурну базу для інтенсифікації трансформування енергетичної системи України відповідно до сучасних вимог та забезпечить системність енергетичних реформ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. Системний аналіз перспектив впровадження концепції Smart-Grid у вітчизняному енергетичному	8
1.1. Перспективи використання Smart Grid у теплоенергетиці	8
1.2. Аналіз поточного стану наявних енергетичних мереж та комплексна характеристика локальної енергетичної системи	14
2. Трансформування енергетичної системи України на основі розбудови розумних та еколого безпечних енергомереж	26
2.1. Європейський досвід енергетичної співпраці	26
2.2. Інфраструктурний аспект розгортання розумних енергетичних мереж	28
2.3. Особливості формування проектів Smart Grid в контексті реалізації Міжнародних консорціумів Smart City	41
2.4. Аналіз світового досвіду та векторів розвитку Smart Grid технологій	55
2.5. Науково-методичні основи формування системи показників оцінки ефективності розгортання розумних енергетичних мереж	70
2.6. Типологізація технологій розумних енергомереж, адаптованих до особливостей вітчизняних енергомереж	75
Висновки	82
Перелік джерел посилання	84

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Україна потребує переходу від застарілої моделі монопольного енергетичного ринку (із завищеним та непрозорим ціноутворенням, використанням зношених тепломереж, підвищеною екологічною небезпекою) до нової моделі, яка передбачає запровадження та масштабування “розумних”, енергоефективних та екологічно чистих технологій. Проект спрямовано на вирішення прикладної проблеми розроблення покрокової дорожньої карти модернізацій-них заходів в ланцюзі «генерація – розподіл – споживання» електроенергії, узгодженої за бюджетом, ресурсами, черговістю та пріоритетністю. Комплексне (узгоджене за суб’єктами та об’єктами) впровадження зелених smart-технологій на всіх етапах даного ланцюга дозволить мінімізувати енергозалежність як на рівні держави та регіону, так і на рівні підприємств та домогосподарств, зняти соціальну напруженість у суспільстві через шокову зміну тарифів на енергоносії, підвищити енергоефективність та прискорити процес освоєння “clean energy innovation”, що призведе до збільшення рівня енергетичної, екологічної та економічної безпеки як структурних складових національної безпеки України.

**Об’єкт дослідження:** Процес багатокритеріальної оптимізації енергомереж з урахуванням фінансових та часових обмежень, ресурсного потенціалу регіонів та оптимальних логістичних рішень щодо геопросторового розміщення енергопотужностей.

**Предмет дослідження:** Економічні відносини, що виникають між всіма суб’єктами енергетичного ланцюга при впровадженні “розумних” енергоощадливих та еколого-безпечних інноваційних технологій.

**Метою дослідження** є розробка оптимізаційної моделі розбудови “розумних” та еколого-безпечних енергомереж, реалізація якої дозволить масштабувати локальні енергоефективні smart-рішення на більш високий рівень – побудувати “дорожню карту”

енерго-модернізаційних перетворень для всіх суб'єктів регіонального енергетичного ланцюга як комплексну програму провадження енергоінновацій, узгоджену за бюджетом, ресурсами, черговістю та пріоритетністю заходів, фактором часу.

**Методи дослідження** – системно-структурний та логічний методи, порівняльний аналіз.

### **Результати роботи та їх новизна.**

Очікуваним кінцевим результатом проекту стане оптимізаційна економіко-математична модель розбудови розумних та безпечних енергетичних мереж, яка спрямована на зниження енергоспоживання та підвищення екологічної безпечності енергомереж та відповідає сучасним тенденціям розвитку технологій в енергетиці.

Для досягнення мети на першому етапі було сформовано аналітичні матеріали щодо стану теплової енергетики на прикладі м. Суми, визначено перспективи розвитку розумних енергомереж як складової системи теплозабезпечення та виявлено причини, які перешкоджають цьому процесу. Окрім того, було проведено системний аналіз напрямків розвитку розумної енергосистеми за кордоном. У ході дослідження було ідентифіковано драйвери (рушійні сили) інноваційного розвитку енергосистеми на основі застосування розумних енергетичних технологій та на основі системного аналізу світового досвіду державної та недержавної підтримки реформ енергетичної системи та результатів реалізації численних проектів у галузі розумних енергетичних технологій встановлено необхідність здійснення розбудови розумних енергетичних мереж поетапно, що дозволить максимально швидко створити необхідну інфраструктурну базу для інтенсифікації трансформування енергетичної системи України відповідно до сучасних вимог та забезпечить системність енергетичних реформ.

# 1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ SMART-GRID У ВІТЧИЗНЯНОМУ ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ

## 1.1 Перспективи використання Smart Grid у теплоенергетиці

Більше половини енергії, яка виробляється в Україні спрямована на потреби теплоенергетики. У даному розділі здійснено аналіз стану теплових мереж та системи централізованого тепlopостачання з метою визначення перспективи використання smart grid для потреб даного сектору енергетики України. Одним з ключових завдань дослідження є визначення можливості використання розумної енергосистеми у різних секторах енергетики України, що стане одним з визначальних пунктів при визначенні пріоритетних напрямків розвитку smart grid.

Енергетичний сектор країни потребує оновлення. Дана теза є ключовою у значній частині наукових статей, присвячених проблемам енергетичного сектору України та шляхам його оновлення, які були опубліковані у вітчизняних та закордонних виданнях протягом останніх десятиліть. Незважаючи на суттєві зрушення у реформуванні енергетичного сектору, розробку та реалізацію державних та регіональних програм розвитку галузі, продовжуються дискусії щодо пошуку оптимальних варіантів трансформації енергетики України, приведення її у відповідність європейським стандартам для подальшої інтеграції до єдиної європейської енергомережі. Важливим питанням при цьому є впровадження інновацій для досягнення оптимальних економічних, екологічних та соціальних результатів, закладення основи для динамічного розвитку галузі з використанням перспективних техніко-економічних рішень. Дана частина дослідження спрямована на визначення теоретичних можливостей використання smart grid для покращення показників діяльності одного з ключових напрямків у енергетичному секторі України – теплоенергетики.



Традиційне розуміння поняття розумних енергомереж базується на виключному використанні їх для отримання, розподілу та споживання електричної енергії. Проте кінцеві цілі виробництва електричної енергії є різними. Розглядаючи енергетичний ланцюг, однією з основних потреб виробництва електрики є необхідність отримання теплової енергії. Дана потреба може бути реалізована напряму, наприклад, через використання побутових обігрівачів, або опосередковано, тобто через забезпечення живлення установок, що продукують теплову енергію. Таким чином, з огляду на проблемний стан теплоенергетики в Україні варто приділити увагу можливостям використання розумних енергомереж (у широкому розумінні даного поняття, включаючи сучасні моделі генерації енергії, передачу її до мережі та розподіл і споживання електричної енергії) у даному секторі. Концепція smart grid є інноваційною, так як передбачає не лише використання прогресивних технічно ефективних рішень, а змінює модель енергетичного ланцюга, роблячи його гнучким, відповідно до потреб споживачів. Можливості використання даної концепції у вітчизняній теплоенергетиці потрібно розглядати у двох аспектах:

- потенційне підвищення ефективності системи тепlopостачання у межах наявної моделі теплогенерації та тепlopостачання;
- зміна традиційної моделі системи тепlopостачання із застосуванням системних техніко-технологічних та організаційних інновацій [1].

Обидва пункти доцільно пояснити. Під традиційною моделлю варто розуміти систему централізованого тепlopостачання, яка ґрунтується на наявності потужних теплогенераційних установок, які здатні забезпечити значні обсяги енергії для нагріву теплоносія, який теплотрасою постачається до кінцевого споживача. Регулювання процесу тепlopостачання за даної моделі має суттєві обмеження у вітчизняних реаліях. Температура подачі теплоносія регулюється централізовано, що є проблемою, адже спричиняє невиправдані втрати тепла внаслідок перегріву при аномально високих для опалювального періоду температур, що відрізняються

від розрахункових їх величин, або застосування сучасних енергоефективних технологій та теплоізоляційних матеріалів на окремих об'єктах.

Другий пункт передбачає відхід від традиційної централізованої системи теплопостачання. Варіанти альтернативної системи теплопостачання можуть суттєво різнитися залежно від технології, що використовується, джерела енергогенерації, можливостей розподілу теплової енергії та енергії, необхідної для роботи теплогенераційних установок. Другий варіант ґрунтується на наявних механізмах забезпечення альтернативного до традиційної системи теплопостачання підходу. Зокрема, він потребує відповідного законодавства. Розробленої технічної документації, державних норм з регулювання техніко-технологічних вимог до різних видів обладнання та облаштування мереж, стандартів безпеки. Одним з крайніх випадків застосування підходу до формування альтернативної системи теплопостачання є встановлення автономного опалення багатоповерхівок. Розрізняють два типові варіанти реалізації такого підходу:

- підключення наявних функціонуючих об'єктів від централізованого теплопостачання (зокрема, багатоповерхових будинків, бюджетних закладів та установ);

- будівництво нових об'єктів, що не передбачають підключення їх до централізованої системи теплопостачання відповідно до плану будівництва.

З позицій використання Smart Grid концепції для теплопостачання інтерес має використання електроенергії для обігріву побутових та промислових об'єктів. Адже у цьому випадку виникає широке коло можливостей для впровадження роздільної енергогенерації, що є базовим компонентом розбудови розумних енергетичних мереж.

Для відповіді на ключове запитання, поставлене у даній статті, потрібно з'ясувати два моменти:

- ефективність сучасної системи теплопостачання та доцільність внесення змін до традиційної моделі теплозабезпечення;

– масштаби потенційного впровадження Smart Grid концепції для потреб теплозабезпечення.

Ефективність системи теплопостачання викликає дискусії, результатом яких є реалізація проектів застосування автономного опалення на промислових та побутових об'єктах, як альтернативи системі централізованого теплопостачання. Проте централізована система теплопостачання має ряд переваг. Значна частка країн Європейського Союзу у тому чи іншому вигляді використовують саме централізоване теплопостачання як основну систему подачі тепла на побутові, промислові та об'єкти іншого призначення, хоча для переважної більшості країн-членів Європейського Союзу централізоване опалення не є домінуючою моделлю подачі тепла.

Однак тенденція свідчить про зростання частки централізованого опалення в країнах Європейського Союзу порівняно з іншими моделями теплопостачання. Згідно [2], «у 2010 р. у країнах ЄС частка централізованого теплопостачання становила лише 10%, але планується, що до 2030-го цей показник зросте до 30%, а до 2050 р. — до 50%». Зазначаються причини такого зрушення політики у сфері теплопостачання:

- «диверсифікація джерел теплової енергії,
- підвищення енергетичної незалежності країни,
- можливість одержати дешеву теплову енергію,
- скорочення шкідливих викидів.

Уже нині частка традиційних газових котлів у СЦТ європейських країн не перевищує 20% (в Україні — близько 60%). До 2050 р. частка таких котлів не перевищуватиме 10%» [2].

В основу названих переваг централізованої системи теплопостачання покладено переважно результати прогресу у технологічному розвитку

енергоефективних технологій та наслідки європейської політики у сфері енергоефективності та енергозбереження.

Зокрема, розширення технологічних можливостей щодо когенерації (термін, що означає процес сумісного виробництва теплової та електричної енергії), використання альтернативної енергетики, у тому числі сонячної енергії, біопалива, твердих побутових відходів, геотермальної, вітрової та інших видів енергії дозволило скоротити імпортозалежність країн Європи від викопних енергетичних ресурсів та диверсифікувати джерела енергогенерації. Це також створило сприятливі умови для розвитку децентралізованих систем опалення та системи розподіленої енергогенерації, що, у тому числі, значно сприяло розвитку розумних енергетичних мереж, розширивши сферу їх застосування. Окрім того, цілеспрямована політика ЄС щодо розширення застосування альтернативної енергетики та здійснення децентралізованого підходу до енергогенерації забезпечила правове підґрунтя до формування ефективних законодавчих важелів формування та регулювання енергетичного ринку, підтримки розподіленої енергогенерації. Зростання частки електричної енергії в ЄС для потреб теплопостачання є тенденцією, яка активно стимулюється з використанням адміністративних та ринкових важелів. Когенерація розглядається як один з головних інструментів зростання частки електрики в системі теплопостачання, що поряд з використанням альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової, дозволяє прискорити темпи розбудови розумних енергетичних мереж, реалізуючи принцип розподіленої енергогенерації. Однак в Україні обсяги когенерації знижуються, що йде у розріз із загальноєвропейською тенденцією. Окрім того, централізована система теплопостачання України значно обмежує застосування smart grids. Програми з модернізації енергетичних мереж, які розробляються та реалізуються в Україні спрямовані переважно на відтворення інфраструктури з її осучасненням, проте не змінюють традиційну модель системи теплопостачання. Таким чином, за даних обставин не варто розраховувати на

суміжний та системний розвиток розумних енергомереж та систем централізованого теплопостачання. Це у майбутньому призведе до необхідності додаткових витрат на модернізацію енергетичної системи. Тобто – до модернізації після модернізації.

Головним завданням у даній ситуації є творення конкурентного ринку теплоенергії. На сьогодні таке завдання можна реалізувати кількома способами. Найбільш очевидним є варіант переймання досвіду Європейського союзу, де найбільш поширеними є два варіанти ринку централізованого теплопостачання:

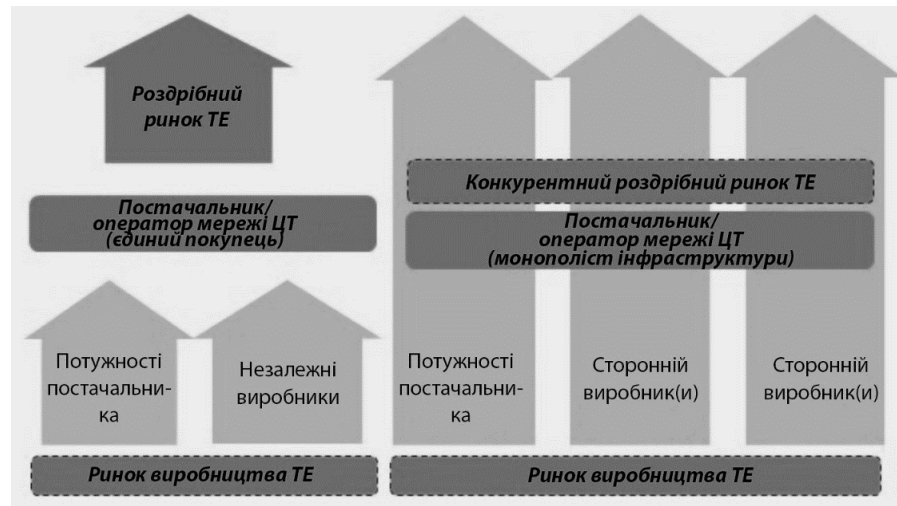


Рисунок 1.1 – Моделі централізованих систем теплопостачання [3]

1) модель єдиного покупця. Відповідно до даної моделі оператор мережі здійснює закупівлю теплової енергії від усіх наявних виробників з метою подальшого продажу кінцевим споживачам на рівних умовах диференційовано за типом споживачів. Дана модель забезпечує відкритий доступ до тепломережі суб'єктам, які генерують теплову енергію. Зазначений підхід є найбільш поширеним у країнах ЄС, які мають централізовану систему теплопостачання.

2) модель відкритих тепломереж. Застосування цієї моделі надає виробнику теплової енергії гарантований доступ до тепломережі. Обов'язковою умовою

застосування цієї моделі є прямий продаж теплової енергії власним клієнтам, у обсязі, що повністю забезпечить їхні потреби. Однак через складність застосування дана модель не набула широкого поширення у Європі.

## **1.2 Аналіз поточного стану наявних енергетичних мереж та комплексна характеристика локальної енергетичної системи**

Важливим для прогресу у розбудові розумних енергетичних мереж є сталість державної політики, що виражається у наявності постійно діючих важелів підтримки розвитку енергетичного сектору у напрямку зростання частки генерації енергії з відновлюваних джерел. Досвід останніх років в Україні засвідчив важливість державної підтримки, зокрема засобом зеленого тарифу, сонячної енергетики, що продемонструвала суттєве зростання.

З прикладною метою доцільно проаналізувати систему теплопостачання населеного пункту, що дозволить визначити не лише реальні межі застосування компонентів розумної енергомережі для потреб теплоенергетики, а також виявити довгострокові тенденції, що закладаються у даному секторі економіки шляхом розробки та подальшої реалізації комплексних програм, у даному випадку на прикладі розробленої (але на момент розробки даного звіту не затвердженої на рівні міністерства) схеми теплопостачання м. Суми, у розробленні якої приймали участь виконавці даного проекту.

За даними, наведеними у схемі теплопостачання м. Суми джерелом забезпечення міста електроенергією є підстанції ПС «Суми», ПС «Суми-Північна», що знаходиться на балансі Магістральних електричних мереж, та ПС «Сумська ТЕЦ» що знаходиться у власності Сумської міської ради та орендується ТОВ «Сумитеплоенерго». Для забезпечення поточних потреб теплопостачання та

реалізації заходів, передбачених схемою теплопостачання м. Суми, достатньо наявних потужностей електрогенерації.

Теплозабезпечення об'єктів міста Суми розвивається шляхом поєднання централізованих систем теплозабезпечення та систем індивідуального опалення.

Згідно схеми тепломереж м. Суми основними постачальниками теплової енергії для потреб опалення об'єктів міста є:

- ТОВ «Сумитеплоенерго», яке експлуатує Сумську ТЕЦ (548 МВт) та 20 відокремлених котелень (165,46 МВт);
- Дирекція «КППВ» ПАТ «Сумське НВО», яка експлуатує котельню встановленої потужності 471 МВт;
- ТОВ «Сумська паляниця (2,5 МВт);
- Сумський національний аграрний університет (СНАУ), що експлуатує котельню потужністю 22,68 МВт;
- КП «Міськводоканал», котельня потужністю 1,043 МВт;
- Державна установа «Сумська виправна колонія №116 (4,6 МВт);
- Полтавська КЕЧ (8,439 МВт)

Розподіл за потужністю складових системи теплопостачання м. Суми представлено на рис. 1.2

Відповідно до класифікації за потужністю джерел теплової енергії у ДБН В.2.5-39:2008 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі»:

- 2 котельні і ТЕЦ відносяться до систем централізованого теплопостачання (від 20 МВт);
- 7 котелень відносяться до систем помірно-централізованого теплопостачання (від 3 до 20 МВт);
- 5 котелень відносяться до систем децентралізованого теплопостачання (від 1 до 3 МВт);

– 7 котелень відносяться до систем автономного теплопостачання (до 1 МВт).

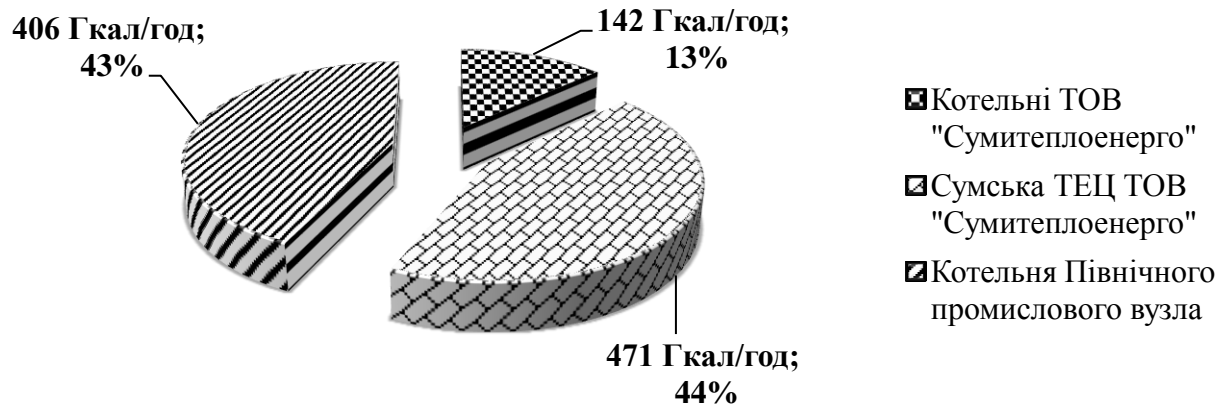


Рисунок. 1.2 – Розподіл потужностей складових системи теплопостачання м. Суми [4]

Розподіл за загальною встановленою потужністю котелень наведений на рис. 1.3.

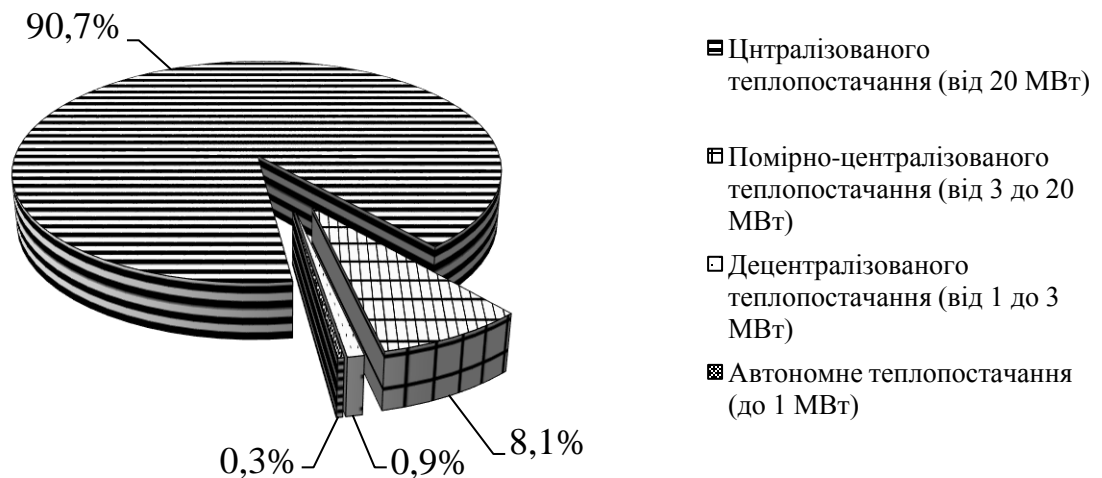


Рисунок 1.3 – Розподіл за загальною встановленою потужністю котелень м. Суми [4]



Система теплозабезпечення міста Суми, як і переважної більшості населених пунктів України, характеризується комбінуванням централізованого теплопостачання та автономного опалення.

Значна частка автономного опалення припадає на приватний сектор, що також є характерним для значної кількості міських поселень країни. Автономне опалення в деяких з них може становити значну частку, особливо це стосується невеликих міст та селищ міського типу.

Централізовані системи теплопостачання м. Суми спроектовані, як залежні централізовані, з використанням центральних теплових пунктів (ЦТП) та індивідуальних теплових пунктів (ІТП). У котельнях встановлено переважно котли старих типів з ККД – від 82% до 90% [4].

Рівень втрат при транспортуванні теплової енергії, заявлений теплогенеруючими підприємствами міста, значно різниться залежно від стану теплоізоляції труб і складає від 3 до 30%. При цьому одне з найбільших підприємств – виробників теплової енергії ТОВ «Сумитеплоенерго» зазначає, що втрати при транспортуванні складають близько 25,9%.

Низький рівень промислового розвитку міста позначився на цільовому призначенні теплоспоживання, що переважно припадає на задоволення комунально-побутових потреб.

Тенденція до будівництва нового житла, облаштованого автономним опаленням, не дозволяє розраховувати на зростання навантаження на централізовану систему теплопостачання у коротко та середньо строків перспективі. У той же час це свідчить про потенційне зростання частки автономного опалення, що згідно наведеної вище інформації свідчить про окремі перспективи розбудови розумних енергомереж, для задоволення потреб побутових споживачів.

Теплогенерація в місті (для потреб централізованого теплопостачання) забезпечується шляхом експлуатації 101 котла різних типів сумарною потужністю – 1095 Гкал/год. Генерація тепла відбувається шляхом спалювання газоподібного та твердого (переважно вугілля) палива. Така потужність є надмірною, адже потреба у тепловій енергії складає близько 62% від наявних потужностей.

Неоптимальні показники ефективності функціонування системи централізованого теплопостачання пояснюються, у тому числі, використанням застарілого морально та фізично обладнання, зокрема, у котельних міста експлуатується 28 котлів НИИСТУ-5. «Результати аналізу вихідних даних щодо функціонування котелень та їх обладнання за останні 3 роки вказують на високу енергоємність їх технологічного процесу та необхідність розробки і впровадження технічних та організаційних заходів щодо підвищення їх енергоефективності» [4].

Стан теплових мереж, що використовуються для транспортування теплової енергії є незадовільним:

- 77% тепломереж від квартальних котелень потребують повної заміни;
- 97% тепломереж від Сумської ТЕЦ потребують повної заміни;
- 58% тепломереж від котельні Дирекції «КППВ «Сумське НВО» потребують повної заміни [4].

Питання розподілу тепла до побутових та промислових об'єктів вирішується засобом функціонування теплових пунктів. Система опалення будівель міста характеризується як залежна закрита. Використання елеваторних пристроїв у теплових пунктах у кінцевому результаті призводить до суттєвого перевищення кількості поданого тепла над нормативно необхідним значенням.

Функціонування котельного обладнання у котельних енергогенеруючих підприємств міста забезпечується переважно використанням природного газу як палива, частка якого становить близько 90%, за даними розробників схеми теплопостачання міста. Обсяги споживання природного газу котельними міста, за даними, наведеними у схемі теплопостачання, показано у таблиці 1.1. Відповідно

частка інших видів палива у структурі енергетичних ресурсів, які використовуються для забезпечення роботи котельних міста, є незначною. Перехід на альтернативне паливо, який пропагувався державною політикою протягом кількох попередніх років, не зміг суттєво змінити пропорцію використання різних видів енергетичних ресурсів у бік скорочення споживання природного газу та зростання частки альтернативної енергії.

Таблиця 1.1 – Обсяги споживання природного газу у м. Суми [4]

Роки	Споживання природного газу, тис. м3 (на виробництво теплоенергії)	Роки	Споживання природного газу, тис. м3 (на виробництво теплоенергії)
Сумська ТЕЦ ТОВ «Сумитеплоенерго»		Котельня бази КП «Міськводоканал» СМР	
2016	55792	2016	140
2017	38363	2017	вихідні дані відсутні
2018	27143	2018	255
Котельні ТОВ «Сумитеплоенерго»		Котельня СНАУ	
2016	14858	2016	1204
2017	13778	2017	вихідні дані відсутні
2018	14175,4	2018	1098
Дирекція «КППВ «Сумське НВО»		Котельня Полтавської КЕЧ	
2016	42548	2016	570
2017	34175,65	2017	вихідні дані відсутні
2018	31158,217	2018	вихідні дані відсутні
Котельня ТОВ «Сумська паляниця»		Котельня ДУ СВК (№116)	
2016	90518	2016	185
2017	вихідні дані відсутні	2017	вихідні дані відсутні
2018	84421	2018	вихідні дані відсутні

Рівень споживання альтернативного палива приватним сектором у відсотковому співвідношенні вищий, порівняно з централізованими котельними. Проте суттєвого впливу на паливно-енергетичний баланс міста це немає. Окрім того, тенденція підвищення вартості дров, найбільш популярного палива – заміника природного газу для приватного сектора, є стримувальним фактором для зростання їх споживання для потреб опалення приватним сектором в абсолютній величині. Тенденція до суттєвого зростання частки електричної енергії для потреб теплозабезпечення у приватному секторі протягом останніх років не

спостерігається, що пов'язано з об'єктивними причинами, у тому числі недосконалістю механізму стимулювання використання електрики для опалення приміщень, а також складнощами реалізації принципу виробництва електроенергії домогосподарствами для власних потреб з можливістю реалізації її надлишку до централізованої електромережі. Це, у свою чергу, стримує поширення принципу розподіленої енергогенерації та негативно позначається на темпах та перспективах розбудови розумної енергомережі в місті.

Використання електричної енергії для потреб теплопостачання розглядається згідно існуючої практики та перспективної схеми теплопостачання як елемент забезпечення живлення теплогенераторів, що використовують для теплогенерації інші види палива, та функціонування допоміжного обладнання, зокрема, насосного обладнання на насосних станціях та насосів, підключених до теплогенераторних установок.

Зростання споживання електричної енергії при теплогенерації пояснюється погіршенням експлуатаційних характеристик наявного обладнання, а не розширенням сфери використання електроенергії.

Кількісні показники відпуску тепла системою централізованого постачання міста Суми диференційовано за джерелами теплогенерації показано на рис. 1.4.

Загальна кількість відпущеної теплової енергії від вказаних теплогенеруючих підприємств становить – 927,71 тис. Гкал/рік [4].

Вартість послуг централізованого теплопостачання визначається згідно нормативних документів. Порядок формування тарифів на теплову енергію регулюється Постановою Національної комісії, яка здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) № 991 від 01.08.2017 року «Про затвердження Методики формування, розрахунку та встановлення тарифів на електричну та (або) теплову енергію, що виробляється на теплоелектроцентралях, теплових електростанціях та когенераційних установках» (Із змінами № 274 від 02.03.2018 року).

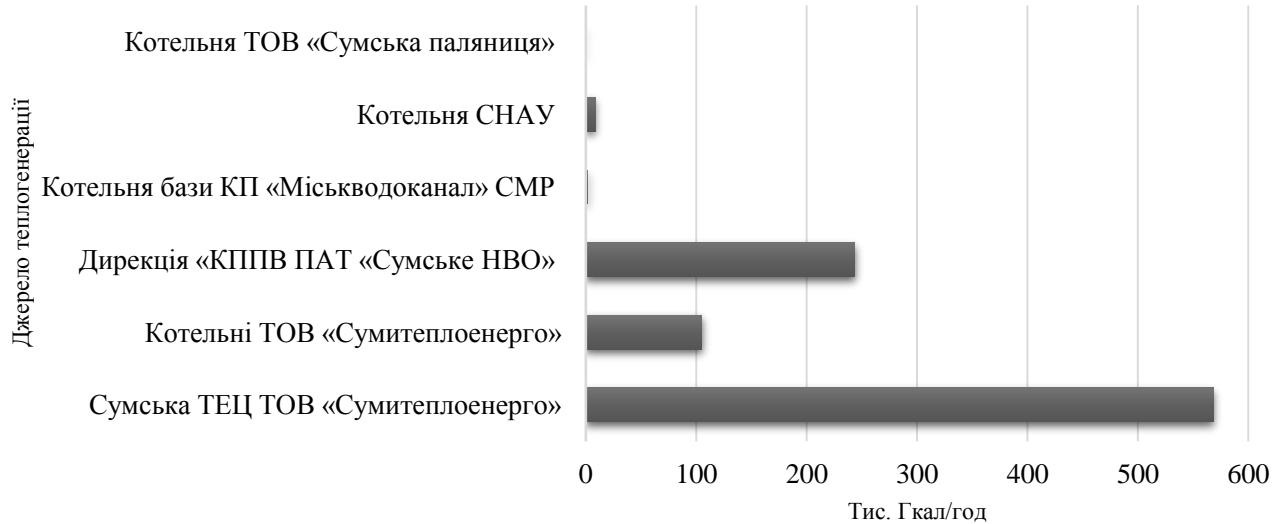


Рисунок 1.4 – Відпуск теплової енергії споживачам об’єктів теплогенерації м. Суми ( за даними [4])

Зокрема, Методикою передбачається розрахунок тарифу на теплову енергію за формулою:

$$\text{ТАРИФ} = (\text{ВПС} + \text{ВПВ} + \text{ПП}) / \text{ОРте} \quad (1.1),$$

де ВПС – витрати повної собівартості;

ВПВ – витрати на покриття втрат;

ПП – плановий прибуток;

ОРте – обсяг реалізованої теплової енергії.

При цьому, згідно з Методикою, формування тарифів та їх структури на відпуск електричної енергії та (або) виробництво теплової енергії здійснюється ліцензіатами відповідно до річних планів виробництва та відпуску електричної та (або) теплової енергії, планованих економічно обґрунтованих витрат, державних, галузевих нормативів витрат ресурсів, техніко-економічних розрахунків,

кошторисів, з урахуванням ставок податків і зборів, цін на матеріальні ресурси та послуги у планованому періоді, а також планованого прибутку.

Тариф на відпуск електричної енергії визначається шляхом ділення суми планованих річних витрат, що включаються до повної собівартості, та річного планованого прибутку від діяльності з виробництва електричної енергії на планований річний обсяг відпуску електричної енергії.

Тариф на виробництво теплової енергії визначається шляхом ділення суми планованих річних витрат, що включаються до повної собівартості, та річного планованого прибутку від діяльності з виробництва теплової енергії на планований річний обсяг відпуску теплової енергії з колекторів теплогенеруючих джерел ліцензіата.

За наявності витрат, що спричиняють різну собівартість виробництва теплової енергії для різних груп споживачів, тарифи на виробництво теплової енергії формуються в розрізі груп споживачів.

Витрати, об'єктивне нормування яких неможливе, плануються з урахуванням витрат за базовий період, прогнозних індексів цін виробників промислової продукції та на підставі кошторисів, прайсів та інших обґрунтовуючих матеріалів.

Витрати, пов'язані з транспортуванням та постачанням електричної та (або) теплової енергії (у тому числі витрати на підживлення теплової мережі), до розрахунків тарифів на виробництво електричної та (або) теплової енергії не включаються.

Обсяг реалізації теплової енергії встановлюється відповідно до вимог галузевих нормативів. Цими ж нормативами встановлюється питома вага допустимих втрат тепlopостачання [4].

Станом на 1 травня 2019 року НКРЕКП встановило середньозважений тариф на теплову енергію для населення в розмірі 1807,84 грн./Гкал. При цьому, економічно обґрунтована собівартість визначена в розмірі 1268,84 грн./Гкал, з наступною структурою (див. таблицю 1.2).

В таблиці 1.3 показано структуру витрат по окремих теплогенеруючих підприємствах.

Таблиця 1.2 – Структура економічно обгрунтованої собівартості виробництва теплової енергії (за даними НКРЕКП станом на 01.05.2019 р.) [4]

№ п/п	Складові витрат	Значення, грн. (без урахування ПДВ)	Структура витрат, %
1.	Виробничі витрати	294,27	23,2
2.	Вартість покупної теплової енергії	115,00	9,1
3.	Витрати на природний газ	683,67	53,9
4.	Витрати на електроенергію	49,39	3,9
5.	Витрати на оплату праці	90,25	7,1
6.	Інші витрати	36,26	2,9
Економічно обгрунтована собівартість		1268,84	100

Таблиця 1.3 – Складові та структура витрат на виробництво теплової енергії станом на 01.05.2019 р. [4]

Складові витрат	МКП «Хмельницьк-теплокомуненерго»		ПАТ «Полтаваобленерго»		ТОВ «Сумитеплоенерго»	
	грн./Гкал	%	грн./Гкал	%	грн./Гкал	%
<b>Виробнича собівартість, у т.ч.:</b>	1234,10		1658,17		1299,73	
сировина і допоміжні матеріали	5,76	0,5	5,6	0,3	5,2	0,4
паливо	1074,75	87,1	1282,6	77,3	971,28	74,7
енергія зі сторони	46,27	3,5	43,94	2,6	48,7	3,8
витрати на оплату праці	66,97	5,5	38,22	2,3	64,94	5,0
єдиний внесок на загальнообов'язкове державне соціальне страхування	14,72	1,2	8,41	0,5	14,3	1,2
амортизаційні відрахування тис	6,71	0,5	3,7	0,2	6,5	0,5
інші витрати	9,2	0,8	246,0	14,8	203,1	15,6
Адміністративні витрати	10,05	0,9	0,95	0,06	11,48	0,88
Усього витрат	1234,10	100	1658,17	100	1299,73	100
Тариф для виробництва та надання населенню послуг з централізованого опалення та централізованого ГВП	1480,92		1674,08		1559,67	

В таблиці 1.4 наведені тарифи на теплову енергію для населення (за умови наявності приладів обліку).

Таблиця 1.4 – Тарифи на теплову енергію по окремих містах України [4]

№ п/п	Місто	Підприємство	Тариф з приладами обліку, грн. з ПДВ за 1 Гкал (для населення)
1	Дніпро	КП «Дніпропетровські міські теплові мережі»	1276,37
2	Львів	ТОВ НПП «Енергія-Новояворівськ»	1244,31
		ТОВ «Енергія-Новий Роздол»	1247,34
3	Харків	КП «Харківські теплові мережі»	1539,50
		ПАТ «Центроенерго» СО «Зміївська ТЕС»	632,48
4	Одеса	КП «Теплопостачання міста Одеси»	1229,20
5	Київ	ПАТ «Київенерго»	1654,41
		ТОВ «Євро-Реконструкція»	1341,53
6	Запоріжжя	Концерн «Міські теплові мережі»	1481,07
7	Миколаїв	ОКП «Миколаївоблтеплоенерго»	1257,11
8	Полтава	«Полтаватеплоенерго»	1674,08
9	Суми	ПАТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання»	1240,95
		ТОВ «Сумитеплоенерго»	1559,67
10	Вінниця	КП «Вінницяміськтеплоенерго»	1375,27
11	Рівне	ТОВ «Рівнетеплоенерго»	1795,53
12	Івано-Франківськ	МГП «Івано-Франківськтеплокомуненерго»	1312,11
13	Хмельницький	МКП «Хмельницьктеплокомуненерго»	1480,92
14	Черкаси	КПТМ «Черкаситеплокомуненерго»	1606,05
15	Чернігів	ТОВ фірма «ТехНова» (Чернігівська ТЕЦ)	1598,94

Середні значення показників, що характеризують ефективність функціонування котелень у м. Суми (за останні 3 роки) [4]:

- витрати природного газу – 3983,8 тис. м<sup>3</sup>;
- питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплової енергії – 136,1 м<sup>3</sup>/Гкал;
- ефективність споживання палива котельнями – 0,87 (87%).

Показники ефективності функціонування тепломереж, приєднаних до міських котелень (за останні 3 роки) [3]:

- відпуск теплової енергії від теплогенераторів – 37,58 тис. Гкал;



- втрати теплової енергії при транспортуванні - 15,7 %.
- ефективність системи транспортування теплової енергії – 84,3 %.

Загальна потреба в тепловій енергії споживачів міста Суми показана в табл. 1.5, з розбиттям за окремими теплогенеруючими об'єктами.

Таблиця 1.5 – Потреба в тепловій енергії житлово-комунального сектору та об'єктів промисловості на початок терміну дії Схеми теплопостачання [4]

№ з/п	Споживачі (існуючі, перспективні)	Теплові навантаження, Гкал/год		
		На опалення і вентиляцію	На ГВП	Разом
1.	Білопільський шлях, 33	1,9659	0,7768	2,7427
2.	Білопільський шлях, 38	0,139	0,0423	0,1813
3.	пров. Березовий, 28	1,0047	0,3072	1,4123
4.	вул. Декабристів, 96	4,9599	1,26098	6,22088
5.	вул. Доватора, 32	0,1584	0	0,1584
6.	вул. Герасима Кондратьєва, 120	11,48642	1,48628	12,97268
7.	Косівщинська, 96	0,4101	0,133	0,5431
8.	Урочище Баранівка	0,7609	0	0,816
9.	вул. Нахімова, 30	2,931	1,215	4,146
10.	вул. Родини Лінтварьових, 96	0,443	0	0,443
11.	вул. Роменська, 75	6,496	0,8444	7,3404
12.	вул. Санаторна, 3	1,78397	0,3163	1,30997
13.	вул. Чернігівська, 12	0,2736	0	0,2736
14.	вул. Шкільна, 5	0,1681	0	0,1681
15.	с.Піщане	0,05	0	0,05
16.	вул. Гамалія, 31	1,4412	0	1,4412
17.	вул. Нижньо-Сироватська, 66а	34,66498	3,611	38,28388
18.	Сумська ТЕЦ	266,8	74,2	341
19.	КППВ «ПАТ «СНВО»	240,383	37,0654	277,449
20.	вул. Кондратьєва, 165	3,91	0,2	4,11
21.	вул. Кондратьєва, 160	1,7225	1,5855	3,308
22.	вул. Білопільський шлях, 9	0,537	0,12	0,657

## **2. ТРАНСФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ РОЗБУДОВИ РОЗУМНИХ ТА ЕКОЛОГО БЕЗПЕЧНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ**

### **2.1 Європейський досвід енергетичної співпраці**

Енергетична кооперація в Європі здійснювалася з розвитком технології в сфері енергетики. Перші енергетичні мережі в Європі будувалися з кінця XIX ст. І вже з моменту їх відкриття, відбувалася широка дифузія розробок та досліджень. Ентузіазм з боку інженерів та власників електричних картелів спрямовувався на популяризацію електричних сервісів та розбудову мереж. Бачення можливостей в сфері енергетики широко обговорювалося на міжнародних зустрічах багатьох організацій, серед яких слід назвати Лігу Націй (League of Nations), Міжнародну організацію праці (International Labor Organisation), міжнародну електротехнічну спільноту (international electrotechnical community) та ін. На сесіях та конференціях обґрунтовуються економічні переваги від використання енергетичного міксу ресурсів, що полягали не тільки у фінансовій економії, але й у кращому застосуванні потужностей заводів, можливостях посилення зав'язків між індустріальними регіонами та країнами. Проте на початку XX ст. в країнах Європи існували значні протиріччя як у довоєнний період, так і міжвоєнний період. І через численні конфлікти, розбудова мереж ускладнювалася. Розгорталися локальні мережі на національному рівні та в межах регіонів окремих країн. І не зважаючи на численні розрахунки щодо переваг обміну енергією між країнами за умови існування надлишків та дефіциту енергії, зростання протяжності мереж велося досить повільно.

У 20-30-х рр. XX ст. з'являється декілька планів щодо розбудови електричних мереж в Європі. George Viel презентував концепцію мереж континентальної Європи, Oskar Oliven розробив схему супер системи електропередач в Європі

(European super power system). Проте на шляху Європейської електричної системи були численні перепони. І існували проблеми не лише через потребу у значних капітальних вливаннях на реформування енергетичної інфраструктури, але й крилися значні розбіжності у законодавстві країн, способах регулювання сфери продукування та передавання енергії на національних рівнях, технічних характеристиках самих мереж. І головне, політичне середовище того часу не стимулювало створення мереж, що просувалися ініціативними групами. Менш розвинені країни не були готові до таких масштабних перебудов. Що й призвело, що план Європейської континентальної електричної системи був частково впроваджений лише по завершенню Другої світової війни [6].

У 50-х роках утворюються асоціації та організації, що мали за мету управління системами електричних мереж країн в різних регіонах Європи. Однією з найбільш потужних організацій слід назвати Union for the Co-Ordination of Production and Transmission of Electricity (UCTE). Ця організація початково передбачала поєднання мереж лише трьох промислово розвинених країн (Німеччини, Франції та Швейцарії), але в подальшому вона була значно розширена. Поступово утворюються й інші організації, серед яких можна назвати асоціації групи балтійських країн (BALTSO), Британії та Ірландії (ATSOI UKTSOA), Фінляндії, Норвегії, Швеції та Східної Данії (NORDEL).

Проте ідея поєднання мереж усієї Європи, у т.ч. Східної та Західної її частин, була не здійсненою за часів холодної війни. Так і залишалася не реалізованою ідея пан-Європейської електричної мережі. І тільки з розпадом Радянського Союзу, такі плани стали можливими [7]. З цією метою 1999 року було створено асоціацію European Transmission System Operators (ETSO), що 2009 року було реорганізовано у European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E). ENTSO-E поєднала операторів регіональних мереж і зараз вона координую роботу 43 операторів з 36 країн світу [8].

Не зважаючи на значні кроки на шляху розбудови пан-Європейського ринку електричної енергії, все ж таки залишаються певні виклики. Необхідно адаптувати електроенергетичну систему в Європі у такий спосіб, щоб була можливість інтегрувати відновлювані джерела до єдиної системи. І тоді надлишки відновлюваної електроенергії можуть вільно передаватися у регіони з попитом на енергію [9]. Тобто потребується будівництво розумних енергетичних мереж.

Відповідно до 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 зараз в ЄС розглядаються 4 пріоритетні напрями розгортання розумних енергомереж:

- між Францією та Німеччиною (Smart Border Initiative);
- між Італією та Австрією (ALPGRID);
- між Словенією та Хорватією (SINCRO.GRID);
- та між Республікою Чехія та Словаччиною (ACON).

Розгортання розумних енергетичних мереж є життєво необхідним для забезпечення інтеграції розподілених відновлюваних джерел енергії у єдину енергетичну інфраструктуру та підвищення енергоефективності у всіх секторах економіки [10, 11].

## **2.2 Інфраструктурний аспект розгортання розумних енергетичних мереж**

Розгортання розумних енергетичних мереж, як один з ключових напрямків розвитку світової енергетики, і як невід’ємна складова інтеграції технологій різних напрямків для створення розумного комфортного та екологічно безпечного

середовища, потребує не лише суто технічних рішень. Забезпечення можливості прогресу у напрямку розбудови розумних енергетичних мереж значною мірою залежить від розвитку суміжних галузей. У цьому контексті варто виділити кілька напрямків, які потребують уваги як такі, від яких залежать не лише темпи впровадження smart grid-технологій, а подальший шлях їхнього розвитку. Наразі залишається кілька ключових питань, що повинні бути вирішені для прискорення розвитку розумної енергетичної мережі як однієї з домінантних складових енергосистеми. Це свідчить про те, що вектор розвитку та масштабування розумних енергетичних технологій у майбутньому може значно варіюватися. На сьогодні основна робота з впровадження розумних енергетичних технологій ведеться у напрямку забезпечення базису, підґрунтя, для подальшої реалізації інноваційних рішень [12]. Проте з упевненістю сказати, якими будуть ці рішення не можна. Доки не буде вирішено питання балансування навантаження (а відповідно потужностей) у енергомережі, яка використовує відновлювані джерела для генерації енергії, не можна говорити про ефективну та масштабну енергетичну систему. Це зумовлено тим, що альтернативна (відновлювана) енергетика не здатна вирішувати ключове завдання для сучасної енергосистеми, а саме забезпечити споживача необхідною кількістю електроенергії у потрібному місці та у потрібний час. Саме це пояснює значну роль традиційних потужних виробників енергії у енергосистемі та стримує темпи впровадження енергетичних інновацій на основі smart grid концепції. У таких умовах не лишається іншого раціонального рішення для зацікавлених сторін як провадити поступове оновлення енергомережі з невеликим переліком техніко-технологічних рішень, що застосовуються. Саме тому енергетична політика Європейського Союзу передбачає наявність етапів модернізації, а точніше трансформації, енергетичної мережі, де першим етапом передбачено підготовку до подальшого розгортання енергетичних інновацій. Відтак цим пояснюється значна кількість проектів з встановлення розумних приладів обліку. Адже це є основою, без якої подальша реалізація розумних енергетичних технологій для енергомереж

неможлива. І саме це пояснює відсутність масштабної діяльності із реалізації комплексних енергоефективних проектів розгортання розумних енергомереж на значній території. Адже ефективність таких проектів може значно відрізнятись від очікувань, про що свідчить низка малоуспішних проектів, які було реалізовано провідними країнами світу. Попри велике значення пілотних проектів для моделювання розумних енергомереж, визначення проблемних моментів та практичної перевірки технологічних рішень у робочих умовах у взаємозв'язку з іншими технологіями, їх не можна розглядати як перший крок на шляху переходу до другого етапу розгортання розумних енергетичних мереж. Водночас отримана у результаті їх реалізації інформація свідчить про необхідність ґрунтовної підготовчої роботи перед системним розгортанням розумних енергетичних мереж як на глобальному, так і на локальному рівнях.

Перший етап розгортання розумних енергетичних мереж можна розглядати у двох аспектах. По-перше, як самостійний етап, що передбачає впровадження значної кількості технологічних рішень та характеризується масштабністю та всеохопленням, як за територією, так і за кількістю об'єктів енергогенерації, енергорозподілу, енерготранспортування та енергоспоживання. Вище сказане справедливо для Європейського Союзу та Сполучених Штатів Америки як територій, де названий етап є практично завершеним. По-друге, зміст першого етапу розгортання розумних енергетичних мереж дає підстави говорити про його інфраструктурну спрямованість. Він є передумовою для подальшої діяльності у даній області. Тобто, по суті, він є допоміжним етапом. Так як час серйозних інновацій та великих проектів, здатних бути відправною точкою для трансферу енергетичних інновацій для побудови розумних енергетичних мереж, ще не настав. Про це свідчить невирішеність техніко-технологічних проблем, про які йшлося вище, а саме не вирішене питання балансування енергомережі з розподіленою енергогенерацією на основі широкого використання відновлюваних джерел енергії. Це створює суттєві обмеження у процесі реалізації стратегічних планів з

трансформації енергомереж та переходу до якісно нової енергетичної системи. З огляду на це, можна виділити питання технічної інфраструктури як один із стримуючих факторів, незважаючи на значний обсяг робіт на першому етапі переходу до розумних енергетичних мереж, який було здійснено у провідних економічно розвинених країнах світу.

Таким чином темпи розбудови розумних енергетичних мереж залежать не лише від швидкості реалізації заходів передбачених першим етапом, а також від вирішення описаних техніко-технологічних проблем. Це свідчить про наявність певної межі, яка може бути досягнута сьогодні, але через яку наразі не можна переступити з точки зору економічної доцільності. Адже реалізація глобальних проектів з розбудови енергомереж зараз може призвести у майбутньому до їх неефективності через розбіжності у застосовуваних технологіях або низькі показники синергії, що будуть отримані при об'єднанні результатів реалізації окремих проектів у одну глобальну енергетичну мережу. Відповідно доцільність значних інвестицій у глобальні проекти з розвитку розумних енергетичних мереж до появи комерційно виправданих технологічних продуктів, які розв'язують невирішені сьогодні техніко-технологічні проблеми, є сумнівною.

Однак технічна інфраструктура не обмежується засобами, власне, енергетичного характеру. Для реалізації концепції розбудови розумних енергетичних мереж критично важливими є деякі інші фактори. Одним з них є розвиток інформаційно-комунікаційних технологій. Інформація є ключовим питанням у багатьох сферах. Від якості роботи з нею залежить функціонування практично усіх систем, що використовуються для задоволення потреб суспільства, для забезпечення належного його функціонування відповідно до постійно зростаючих запитів та вимог, що висуваються до роботи з інформацією по мірі зростання її обсягів, розвитку технології, тотальної цифровізації більшості сфер людської діяльності. Утворення децентралізованих систем потребує значних інформаційно-комунікаційних можливостей для досягнення, з одного боку,

необхідного рівня керованості, а з іншого, здатності до саморегулювання. Майбутня модель енергетичної системи, безперечно, передбачається децентралізована система з високим ступенем саморегулювання. Відтак питання забезпечення інформаційно-комунікаційного супроводу та обслуговування енергетичних мереж є ключовим питанням, що має бути належним чином вирішене для масштабного розгортання розумних енергетичних мереж. На відміну від попереднього аспекту інфраструктурного забезпечення, який було розглянуто вище, а саме: техніко-технологічна енергетична інфраструктура, - інформаційно-комунікаційне забезпечення для реалізації концепції розумних енергетичних мереж дозволяє розраховувати на високий рівень задоволення переважної більшості вимог, що до нього висувається. Головним фактором, який це засвідчує, є наявність значної кількості інформаційних систем як комерційних продуктів, які обслуговують енергетичні об'єкти та забезпечують оперативний обмін інформацією, її накопичення та зберігання, обробку та широкі аналітичні можливості. Перспективність енергетичного ринку з огляду на трансформаційні процеси, які частково відбуваються зараз та інтенсифікуються у майбутньому, сприяє удосконаленню інформаційно-комунікаційних технологій, орієнтованих на виконання запитів суб'єктів енергетичної системи [13].

У той же час функціонування інформаційно-комунікаційних систем нерозривно пов'язане з питаннями безпеки. Створення надійних інформаційних систем є ключовим завданням будь-якого розробника програмного забезпечення. Адже невідповідність вимогам безпеки спричиняє не лише вразливість об'єктів, що використовують інформаційні продукти, а також завдає серйозних збитків розробникам інформаційних систем. До інформаційних систем, які обслуговують об'єкти енергетичного сектор, висуваються значні вимоги. Це пояснюється їхнім вагомим значенням для забезпечення нормального функціонування суспільства. Збій в енергетичній мережі спричиняє у більшості випадків значні збитки, ліквідація яких або компенсація втрат, які настають у разі виникнення збою,



потребує значних фінансових ресурсів, а інколи не піддається вимірюванню, що трапляється у випадку загибелі людей. Таким чином, безпекове питання є надзвичайно важливим в енергетиці. Кожен з аспектів забезпечення безпеки енергосистеми, у тому числі енергомережі, потребує значного обсягу робіт та координації спеціалістів різних галузей. На сьогодні спостерігається ситуація, коли питання безпеки енергомереж перебуває на контрольованому рівні, про що свідчить низька частота виникнення технічних проблем, що спричиняють суттєву шкоду різного характеру. Пілотні проекти, які були реалізовані у провідних країнах світу у сфері розгортання розумних енергетичних мереж, не дають підстав говорити про недостатній рівень безпеки інформаційно-комунікаційних систем, які були використані. Це стосується як аспекту контролю за технічними параметрами системи, якість здійснення якого вимірюється у показнику кількості відмов систем чи окремих її складових, так і безпеки внутрішньої інформації. Таким чином, можна стверджувати про відповідність інформаційно-комунікаційних систем, які використовуються в енергетиці запитам та вимогам, які висуваються у процесі реформування енергетичної системи, у тому числі у аспекті реалізації концепції розгортання розумних енергетичних мереж.

Проте інформаційно-комунікаційна інфраструктура як елемент енергетичної системи потребує більш широкого розгляду. Не достатньо оцінити відповідність сучасних інформаційних технологій вимогам та потребам енергетичних об'єктів. На практиці реалізація проектів щодо трансформування енергетичної системи керується суспільними запитами під впливом змін, що відбуваються у суспільстві. Так прогнози щодо розвитку енергетики кілька десятиліть тому ґрунтувалися на припущенні, що споживання енергії у світі буде з часом скорочуватися, адже нові пристрої та технології потребуватимуть меншої кількості енергії, що буде зумовлено їх кращими експлуатаційними показниками, зокрема нижчим споживання енергії. Таким чином, передбачалося, що потреба у генерації енергії буде поступово знижуватися. Однак, як показала практика, ці прогнози були

хібними. Попри те, що в їхній основі лежало правильне припущення щодо покращення характеристик техніки та обладнання, споживання енергії у світі немає стійкої тенденції до скорочення. Це спричинено появою значно більшої кількості приладів, що потребують енергії для їхнього функціонування, ніж це було раніше. Тенденція до зростання кількості приладів та гаджетів, що обслуговують потреби суспільства в цілому та окремих людей зокрема, має зростаючий характер. Таким чином, наразі немає підстав прогнозувати скорочення споживання енергії у коротко та середньостроковій перспективі. Це означає, що обсяги енергогенерації мають залишатися на високому рівні, щоб забезпечувати нормальне функціонування суспільства.

Виникнення усе нових видів обладнання, пристроїв та гаджетів свідчить про виникнення нових потреб, які не були актуальними у минулому. Цифровізація практично усіх сфер життєдіяльності людини створює нові виклики для енергетики. Реалізація концепції розумних будинків була першим подібним викликом для енергетичного сектору. Наразі мова йде створення розумних міст. Це глобальне завдання потребує змін у традиційній моделі енергозабезпечення. Це значить, що інформаційні системи, які використовуються для реалізації концепції розумного міста, повинні мати високий рівень взаємодії з інформаційними системами, що обслуговують власне енергетичну систему. Відтак з'явився новий аспект, у рамках якого потрібно розглядати інформаційно-комунікаційні системи не лише як елемент забезпечення функціонування енергосистеми, а як певний елемент, який є реакцією на суспільні запити внаслідок технічного прогресу, що визначає напрямки розвитку енергетики як ключової сфери забезпечення нормальної життєдіяльності суспільства [14].

Окремим питанням інфраструктурного забезпечення трансформаційних процесів у енергетичному секторі є екологічна складова. У рамках традиційної моделі енергетичної системи екологічна інфраструктура передбачалася як наявність об'єктів та технологій, що зменшують екодеструктивний вплив на

навколишнє природне середовище шляхом усунення понаднормових викидів шкідливих речовин, які потрапляють у повітря або інші природні сфери унаслідок функціонування енергогенеруючих об'єктів, що використовують викопні енергетичні ресурси для енергогенерації. Наразі значна частка енергії, що виробляється у світі, походить з відновлюваних джерел. Згідно Паризької угоди до 2050 року, держави, які її підписали мають забезпечити генерацію енергії з відновлюваних джерел на рівні 100%. У планах Європейського Союзу до 2030 року забезпечити генерацію з відновлюваних джерел енергії на рівні 32% від загального обсягу. Розбудова розумних енергетичних мереж є одним з напрямків, які сприяють досягненню цього показника, адже забезпечують принцип розподіленої енергогенерації, без реалізації якого швидке зростання частки виробництва енергії з відновлюваних джерел є сумнівним. Це пояснюється тим, що на даному етапі розвитку альтернативної енергетики значна кількість об'єктів енергогенерації відносяться до енергогенеруючих об'єктів середньої або малої потужності. Відтак економічно доцільно збільшувати кількість енергогенеруючих об'єктів невеликої потужності у безпосередній близькості до споживача та використовувати технології, які дозволяють кінцевому споживачу не лише споживати енергію, а виробляти її, реалізуючи надлишок до енергомережі. Перший етап розгортання розумних енергетичних мереж, реалізація якого фактично завершена у Європейському Союзі та Сполучених Штатах Америки, як говорилося вище, спрямований саме на забезпечення технічної можливості для такого типу взаємодії споживачів та виробників енергії та побудови нової моделі енергетичної мережі, що має принципові відмінності від традиційної, яка була домінуючою протягом ХХ століття та на початку ХХІ століття. Таким чином розгортання розумних енергетичних мереж реалізує новий принцип взаємодії людини та навколишнього середовища – запобігати виникненню екодеструктивного впливу на довкілля. Це кардинально відрізняється від попереднього підходу, який полягав у мінімізації уже завданої шкоди.

Окрім забезпечення інфраструктури для розгортання розумних енергетичних мереж варто приділити увагу фактору, недооцінка якого може суттєво стримати цей процес. Мова йде про інерційність та розбіжності в інтересах сторін, які залучені до цього процесу. Інерційність населення щодо встановлення потужностей для енергогенерації з метою забезпечення власних потреб та реалізації надлишків виробленої енергії може суттєво вплинути на досягнення показників стратегічних планів. Тому організаційно-інформаційна робота з учасниками енергомережі має важливе значення. Це стосується і зацікавлених осіб: органів влади, енергогенеруючих підприємств, розподільчих компаній, виробників інноваційного енергетичного обладнання тощо. Відсутність балансу може суттєво вплинути на процес розгортання розумних енергетичних мереж.

Окрім дослідження розумних рішень в енергетиці з розбиттям на етапи їх застосування, доцільно навести більш повну класифікацію розумних енергетичних технологій. Розумні рішення в енергетиці можливо класифікувати загалом, не зосереджуючись на етапі використання «розумних» рішень в енергетиці. Відповідно, загальними класифікаційними ознаками, що притаманні для всіх етапів використання «розумних» рішень, є такі:

- *за секторами*: сектори енергопостачання та тепlopостачання, сектори кінцевого використання (транспорт, промисловість, комунальна сфера тощо);
- *за часовим горизонтом*: короткострокові, середньострокові та довгострокові рішення;
- *за предметом інноваційного рішення*: продуктові, технологічні, організаційні, управлінські;
- *за масштабом поширення*: локальні, галузеві, регіональні, національні, міжнародні;
- *за ступенем інтеграції експертних систем*: автономні, гібридні [9];

– *за задачею експертних систем*: інтерпретація даних, діагностика, моніторинг, прогнозування, планування, відладка та ремонт, навчання, управління, підтримка рішень [15];

– *за ступенем новизни*: радикальні та поліпшуючі рішення.

Залежно від етапу використання «розумних» рішень в енергетиці можна виділити різні класифікаційні ознаки. При виробництві (генерації та передачі) енергетики «розумні» рішення науковці класифікують так:

– *за шарами комунікації та електричної моделі загальної мережі*: рішення для центру керування, регіональної мережі, мережі підстанцій, базової мережі [16];

– *за джерела виробництва енергії*: рішення у сфері традиційних джерел енергії (нафта, газ, вугілля, ядерне паливо) та нових джерел енергії (сонячна, геотермічна, водна, термоядерна енергії).

При розподілі енергетики «розумні» рішення можна класифікувати так:

– *за шарами комунікації та електричної моделі регіональної мережі*: рішення для районної мережі, транзитної мережі, промислової мережі, мережі останньої милі [16];

– *за представленими засобами розподілу генерації*: інструменти обліку, інструменти моделювання, інструменти розрахунку впливу на навколишнє середовище та вплив на навколишнє середовище, бази даних, передові інструменти місцевого енергетичного планування, інструменти, що розробляються [17];

– *за баченням майбутніх енергетичних систем*: інтеграційні, інтерактивні, оптимізаційні, еластичні, прогнозні [17];

При споживанні енергетики «розумні» рішення можна класифікувати так:

– *за шарами комунікації та електричної моделі приватної мережі*: рішення для промислової мережі, обладнання споживачів, мережі приміщень, домашньої мережі [16];

– за інструментом моніторингу споживання енергії: мобільні додатки, чат-боти, хмарні технології тощо.

Важливим питанням розвитку розумних енергетичних мереж та розумної енергосистеми в цілому є наявність та використання рушійних сил для стимулювання системної діяльності та забезпеченню сприятливих умов для широкого впровадження розумних технологій.

Драйвери для формування інноваційних енергетичних мереж отримують все більшу зацікавленість з боку науки та бізнесу. Класифікація таких драйверів може стати поштовхом для якісного переходу на нову модель енергогенерації, розподілення та споживання енергії. Але варто зазначити, що для енергетичної системи України характерне існування і багатьох бар'єрів. Однак є й низка можливостей, що пов'язані, у тому числі, і з розбудовою пан-європейського ринку електричної енергії. Системний аналіз драйверів інноваційних енергетичних мереж може окреслити подальші траєкторії розвитку, загрози й можливості в енергетиці.[10, 18, 19]

Для виявлення драйверів з формування інноваційних енергетичних мереж був обраний бібліографічний аналіз у базі даних Scopus. Для цього, були відфільтровані за ключовими словами «інноваційний драйвер» найбільш цитовані публікації за період з 2004 по 2019 роки у наукових виданнях предметної галузі «енергетика» (рис. 2.1). Дотичними до видань галузі «Енергетика» у відібраних публікаціях були такі предметні галузі: «Наука про навколишнє середовище» (мали відношення 52 % усіх видань), «Інженерія» (37 % усіх видань), «Бізнес, управління та облік» (21 % усіх видань), «Соціальні науки» (21 % усіх видань) та ін.

Усього у базі даних Scopus було знайдено 532 результати, з сумарним h-індексом = 45 (табл. 2.1). З 2012 відбувалося стабільне зростання цитувань нових публікацій у цій сфері. Проте найбільшу кількість публікацій зафіксовано 2008 року, коли опублікували 101 публікацію. Пік публікаційної активності високо індексованих публікацій був у 2010, 2014 та 2016 роках. Варто зазначити, що лише

7 публікацій з переліку були опубліковані до 2000 року. Така ситуація, на нашу думку, цілком пояснюється редакційною політикою наукових видань.



Примітка: побудовано автором за даними бази даних Scopus® [20].

Рисунок 2.1 – Кількість публікацій предметної галузі «енергетика» та пов'язаних з нею галузей за період 2004 – 2019 рр.

Таблиця 2.1 – Аналіз цитувань публікацій предметної галузі «енергетика» за період 2004 – 2019 рр.

Рік публікації	Загальна кількість цитувань праці, що опублікована у відповідний рік	Кількість цитувань праці з h-індексом 45, що опублікована у відповідний рік
1	2	3
1999	2	1
2000	3	0
2001	2	0
2002	2	0
2003	1	0
2004	4	0
2005	5	2
2006	8	2
2007	12	3
2008	13	3

## Продовження таблиці 2.1

1	2	3
2009	10	1
2010	26	7
2011	21	4
2012	20	4
2013	22	3
2014	34	7
2015	43	1
2016	74	6
2017	75	3
2018	101	0
2019	49	0

Джерело: побудовано автором за даними бази даних Scopus® [20]

Для виділення класифікаційних ознак інноваційних драйверів був проведений аналіз серед найбільш цитованих публікацій (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Аналіз інноваційних драйверів в «енергетиці» серед найбільш цитованих публікацій за період 2004 – 2019 рр.

Автори публікації	Джерело даних публікації	Класифікація драйверів	Примітка
(Edenhofer, Lessmann, Kemfert, Grubb, & Köhler, 2006) [21]	Виконали порівняння існуючих моделей індукованих технологічних змін	у моделях виокремлюють параметри технологічних змін: ендогенні технологічні зміни (ЕТЗ) у зв'язку з енергетичною та карбоновою інтенсивністю; інші ЕТЗ; екзогенні технологічні зміни	
(Allen, Hammond, & McManus, 2008) [22]	Проведено аналіз інноваційної та енергетичної політики Об'єднаного королівства	можливо класифікувати драйвери за видами електричних мереж: з централізованою генерацією та розподіленою генерацією (мікрогенерацією)	
(Verbruggen, et al., 2010) [23]	виконали літературний огляд для визначення можливості постачання відновлюваної енергетики	виділяють рівні потенціалів [драйверів] для оцінки можливості постачання відновлюваної енергетики: ринковий потенціал; економічний потенціал; потенціал сталого розвитку; технічний потенціал	



## Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
(Fouquet, 2010) [24]	здійснено історичний огляд змін в енергетичній сфері в Об'єднаному королівстві	Джерела енергії та технології можна класифікувати за ефектами: можливість генерації послуги з вищими або додатковими характеристиками	
(Ghisetti & Rennings, 2014) [25]	провели опитування серед фірм Німеччини, з застосуванням адаптованих показників МІР	в якості драйверів виділяють процесні інновації навколишнього середовища МІР: зменшення витрат матеріалів та енергії на одиницю продукції; зниження викидів CO <sub>2</sub> , забруднення повітря, води, ґрунтів, шумового забруднення; заміщення небезпечних матеріалів відновлення відходів, води або матеріалів	За результатами аналізу було підтверджено гіпотезу, що інновації з енергетичної та ресурсної ефективності надають позитивний і суттєвий вплив на прибутковість фірм

Оглядаючи результати проведених досліджень, на нашу думку, найбільш прийнятними для класифікації ключових драйверів формування інноваційних енергетичних мереж ознаки, що запропоновано [22, 24].

### **2.3 Особливості формування проектів Smart Grid в контексті реалізації Міжнародних консорціумів Smart City**

На сьогодні саме в контексті розбудови смарт-міст майбутнього ефективно реалізуються ідеї впровадження інтелектуальних мереж. Адже однією з ключових складових Smart City є Smart Energy. В свою чергу необхідно зазначити, що ефективне енергоспоживання в країні визначає ступінь її екологічно-стійкого розвитку. У цьому зв'язку доцільним є дослідження особливостей розвитку

стратегій з енергоефективності в контексті реалізації Міжнародних консорціумів Smart City.

В умовах соціально-економічних перетворень, що характеризується зміною географічного розподілу населення (кількість населення у містах перевищує кількість населення поза їх межами), збільшенням рівня антропогенного і техногенного навантаження необхідним стають розвиток та запровадження всеохоплюючих планів щодо ефективного розподілу ресурсів (у т. ч. енергетичних), споживання енергії, захисту навколишнього середовища та, навіть, проблем перенаселення. З метою вирішення цих проблем було створено концепцію «розумного міста», яка є ключовою стратегією для боротьби з бідністю та нерівністю, безробіттям та формування ефективної системи енергетичного управління [26].

Згідно з джерелом (Eurostat/Your key to European statistics) «Розумне місто – це місто, в якому традиційні системи працюють більш ефективно за рахунок використання інформаційно-комунікаційних технологій». Також під визначенням Smart City вбачають «цілісну концепцію розумної інтеграції інформаційних і комунікаційних технологій для моніторингу та управління міською інфраструктурою» [27].

Згідно з дослідженнями консалтингового агентства Navigant Research, Smart City включає в себе такі ключові складові: Smart Energy, Smart Water, Smart Buildings, Smart Transportation, Smart Government.

Відповідно до (Official website of the European Union) концепція розбудови розумних міст базується на забезпеченні таких елементів:

– «розумна економіка». Передбачається підвищення продуктивності праці на основі здійснення електронного бізнесу та торгівлі та використання інноваційних технологій при виробництві товарів та наданні послуг;

– «розумна мобільність». Може бути забезпечена формуванням транспортно-логістичних систем, що засновані на інформаційно-комунікаційних технологіях,

які, в свою чергу, дозволили використовувати різні види транспорту у будь-яку місцевість;

– «розумний трудовий потенціал». Під цією складовою концепції розумного міста вбачається необхідність розвитку електронних навичок, креативності та стимулювання інноваційних проривів, а також підвищення рівня освіченості та кваліфікації у трудових ресурсів міста;

– «розумне життя». Дана складова передбачає формування такої моделі способу існування людей, яка спрямована на покращання їх здоров'я та культурного розвитку;

– «розумне державне та місцеве управління». Ця складова передбачає забезпечення інтерактивного місцевого управління, що здатне забезпечити ефективне всеохоплююче функціонування міста;

– «розумне навколишнє середовище». В даній складовій, відповідно до концепції розбудови розумних міст, особливої уваги приділяється принципам забезпечення енергетичної ефективності в контексті зменшення викидів парникових газів. Саме у межах підсистеми «розумного навколишнього середовища» передбачається створення «розумної енергетики» на базі запровадження систем моніторингу та контролю рівня забруднення атмосферного повітря, замкнутих енергетичних мереж, реставрації та спорудження будинків, підвищення енергетичної ефективності тощо.

Одним з основних ініціаторів перебудови звичайних міст у «розумні міста» є Європейський Союз.

У кожній країні Європейського Союзу існують «розумні міста», але найбільша їх кількість знаходиться в Німеччині, Великобританії, Італії та Іспанії.

Найвищою часткою «розумних міст» відносно обсягу усіх міст володіють наступні країни: Австрія, Данія, Естонія, Італія, Норвегія, Словенія, Швеція.

Згідно даних (Eurostat/Your key to European statistics) найуспішнішими «розумними містами» Європейського Союзу вважаються: Амстердам, Барселона, Берлін, Відень, Копенгаген, Стокгольм, Лондон, Мюнхен, Париж, Франкфурт.

Слід зазначити, що агентством Juniper Research спільно з компанією Intel щорічно складаються рейтинги «розумних» міст світу. Ці рейтинги формуються на базі оцінювання міст за наступними параметрами: мобільність міського транспорту, якість охорони здоров'я, рівень громадської безпеки, рівень продуктивності праці. Так, за даними Juniper Research і Intel, саме Сінгапур є провідним інтелектуальним містом у світі у 2017 році (табл. 2.3). Він лідирує в топ-20 «розумних міст» світу, випереджаючи Лондон, Нью-Йорк, Сан-Франциско, Чикаго і Сеул в тому числі в загальному рейтингу, табл. 2.3 [28].

Таблиця 2.3 – Рейтинг Топ-20 «розумних міст» світу [28]

Рейтинг «розумних» міст світу	Місто	Регіон
<b>1</b>	<b>Singapore</b>	<b>Asia Pacific</b>
<b>2</b>	<b>London</b>	<b>West Europe</b>
<b>3</b>	<b>New York</b>	<b>North America</b>
<b>4</b>	<b>San Francisco</b>	<b>North America</b>
<b>5</b>	<b>Chicago</b>	<b>North America</b>
6	Seoul	Asia Pacific
7	Berlin	West Europe
8	Tokyo	Far East & China
9	Barcelona	West Europe
10	Melbourne	Asia Pacific
11	Dubai	Middle East & Africa
12	Portland	North America
13	Nice	West Europe
14	San Diego	North America
15	Rio de Janeiro	Latin America
16	Mexico City	Latin America
17	Wuxi	Far East & China
18	Yinchuan	Far East & China
19	Bhubaneswar	Indian Subcontinent
20	Hangzhou	Far East & China

До п'ятірки кращих «Smart City» світу у 2017 році увійшли такі: Сінгапур, Лондон, Нью-Йорк, Сан-Франциско, Чикаго і Сеул, проекти та програми яких нами вважається за доцільне стисло розглянути.

Так, у Сінгапурі реалізований проект інформаційних технологій розумного міста Smart Nation. Основними перевагами проекту є повна автоматизація міста, прогресивна сфера медицини та контроль всіх сфер життя.

Лондон посів друге місце у рейтингу «розумних міст» і позиціонується як центр для розвитку талантів в галузі цифрових технологій і інноваційних послуг. Крім того, Лондон вважається одним з кращих міст з точки зору зручності ведення бізнесу. В свою чергу, до переваг від впровадження заходів з розбудови «розумного міста» слід віднести такі: ефективне використання альтернативних джерел енергії, модернізація застарілої системи метрополітену, зменшення витрат населення.

Стратегія розбудови «розумного міста» Нью Йорку була зосереджена на формування статусу одного з найбезпечніших міст США. Так, у сучасних умовах вулиці міста заповнені камерами відеоспостереження і звуковими сенсорами, які миттєво реагують на звуки пострілів та відправляють сигнал поліції. Крім орієнтації на забезпечення безпеки міста, особливої уваги було приділено інноваційно-технічним аспектам, а саме: за ініціативою компанії Vonage були розміщені інтерактивні кабінки з метою забезпечення зв'язку із міськими службами, надання можливості скористатися планшетом та зарядити телефон, а також підключитися до мережі Інтернет. Інноваційні технології також були запроваджені в контексті реалізації медичної платформи, яка передбачає систематизацію та збір даних з пристроїв пацієнтів, таких як «розумні ваги», фітнес-браслети та ін. Дані, отримані з подібних пристроїв допомагають встановленню більш точного діагнозу.

У Сан-Франциско інноваційні технології спрямовані на вирішення екологічних проблем. Влада стимулює розвиток альтернативної енергетики. Таким чином, місто має найрозвиненішу в світі мережу заправок електромобілів. Близько 80 % міського сміття Сан-Франциско переробляється. З метою турботи про

населення створено спеціальні додатки для комфорту пішоходів із вадами слуху або зору.

Концепція формування «розумного міста» в Чикаго передбачає реалізацію програми Array of Things. Мета даної програми – пов'язати в єдину мережу всі електронні пристрої міста. Зокрема, Чикаго вважається містом «зелених дахів», площа яких на сьогодні займає більше 500 тисяч м.<sup>2</sup> Мета такого озеленення – зменшення рівня вуглекислого газу в місті та формування благотворного клімату.

На сьогодні країни світу, що розвиваються усвідомлюють всі переваги від створення «розумних міст». Ці переваги знаходять відображення в соціальній, екологічній та економічній сферах. У зв'язку з цим, в рейтингу «розумних міст» Juniper Research і Intel, якій щорічно оновлюється з'являються нові міста та регіони, а також змінюються лідери. Саме тому, на нашу думку, доцільно розглянути стратегії та проекти спрямовані на забезпечення розумних технологій в енергетиці, що реалізуються країнами на шляху до формування успішного «Smart City».

Одним з найбільш успішних пілотних проектів вважається PowerMatching City, який розпочався у 2007 році в місті Хугкерк (провінція Гронінген, Нідерланди). Мета проекту - знайти практичні рішення задач, пов'язаних з переходом до стійкого енергопостачання.

В процесі реалізації проекту 40 житлових будинків було обладнано сонячними батареями, інноваційними установками опалення та інтелектуальними побутовими приладами.

Під час реалізації пілотного проекту партнери по консорціуму та жителі спільно створили дві служби управління енергією з метою сприяння гнучкості енергопостачання: служба «Разумна економія витрат» дозволила учасникам експерименту звести до мінімуму витрати на споживання і вироблення енергії, а служба «Спільна стійка енергетика» зосередилася на сприянні мешканцям формування стійкого суспільства.

У 2013 році проект увійшов у топ-100 найбільших проектів у світі, які в свою чергу є найбільш стійкими. ICT є одним із засновників проекту, відповідальним за створення IT-інфраструктури, за допомогою якої здійснюється зчитування інтелектуальних лічильників, управління обладнанням, придбання, зберігання та обробка даних, а також розробка програми для планшетів, а також за допомогою якої мешканці можуть отримати уявлення про виробництво та споживання енергії та експлуатації свого розумного обладнання.

Консорціум складається з: DNVGL, Gasunie, Enexis, Essent, IKT та TNO, а також партнерів з досліджень: TUD, TUE та Hanzehogeschool Groningen. Проект було завершено у квітні 2015 року [29].

Результати оцінювання роботи мікро-комбінованих систем теплової та електричної енергії (мікро-ТЕЦ), гібридних теплових насосів та зарядних станцій електричного транспортного засобу свідчать про те, що система швидко реагує на вимоги, що змінюються та здійснює підтримку відповідного рівня енергопостачання для кожної сім'ї в довгостроковій перспективі.

Також, необхідно зазначити, що реакція споживачів на створення проекту була позитивною.

Проект PowerMatching City вважається успішним, адже показав технічну реалізацію ідеї розумних мереж енергопостачання і економічну доцільність гнучкого енергопостачання [30].

На особливу увагу заслуговує проект Smart Grid City Boulder, який є першим містом, в якому почалася реалізація концепції «Розумних» міст на базі інноваційних енергозберігаючих технологій Smart Grid.

У грудні 2007 р інтегрована енергетична компанія Xcel Energy, США, яка обслуговує територію штату Колорадо, заснувала консорціум «Розумні мережі», який об'єднує провідних технологів, інжинірингові фірми, керівників промислових підприємств і IT- експертів [31].

Для реалізації проекту в рамках консорціуму було визначено наступні ключові компоненти «Розумного міста»:

- динамічна система з великою часткою використання;
- інформаційні технології;
- високошвидкісна система двосторонньої комунікації в режимі реального часу;
- сенсори по всій мережі, що дозволяє швидко проводити діагностику і коригування;
- дані, необхідні для прийняття рішень, і підтримка роботи системи в періоди пікового навантаження;
- технології розподіленої генерації (вітряних генераторів, сонячних батарей і електромобілі з можливістю підзарядки);
- автоматизовані «інтелектуальні підстанції»
- домашні прилади керування електроенергією;
- автоматизоване енергоспоживання в будинках.

У 2009 році були виконані такі заплановані заходи пілотного проекту:

- 45 000 клієнтів були оснащені приладами «розумного» обліку;
- на 45% реалізована програма модернізації підстанцій, системи розподілу і зв'язку;
- прокладено понад 100 миль оптичного волокна;
- встановлено 15 000 з 25 000 двосторонніх лічильників;
- розпочато встановлення домашніх засобів управління електроенергією.

У 2010 році була виконана підготовча робота по пілотному запуску нових тарифів.

Основними перевагами та ефектами від впровадження проекту «розумного» міста Боулдер є:

- стабільність (надійне електропостачання та обслуговування);



- енергозбереження (скорочення витрат палива);
- комфорт і зручність;
- вартість (зниження плати за електроенергію);
- готівковий розрахунок (грошовий вираз вироблення електроенергії);
- удосконалення (використання новітніх та кращих технологій);
- суспільство (об'єднання для впровадження змін);
- вибір (можливість вибору джерел електроенергії).

Передумовами впровадження проекту Smart Grid, Smart Cit в Австралії стали такі проблеми, які потребували вирішення:

- австралійська електромережа розвивається, а застарілі підходи щодо попиту на енергію та її вироблення, що використовуються для проектування електромереж викликають сумнівів;

- загальний попит і споживання електроенергії відійшов від позитивного зростання в минулому, до загальної тенденції до зниження;

- розподілені технології генерації (такі як сонячні фотоелектричні системи) все частіше користуються попитом серед споживачів;

- нормативні рамки, політика та стандарти змінюються з часом, які необхідно враховувати.

Вище зазначені проблеми призвели до необхідності створення більш просунутої, чутливої мережі, що включає інноваційні технології та підвищує можливості прийняття рішень операторами мережі. Це, у свою чергу, зумовило розвиток технологій інтелектуальних мереж [32].

Проект Smart Grid, Smart City був започаткований і фінансувався рядом урядових і галузевих органів. У федеральному бюджеті на 2009-2010 роки уряд виділив 100 млн. доларів на проект. Крім того, близько 400 мільйонів доларів були надані компаніями Ausgrid, EnergyAustralia та партнерами консорціуму, включаючи IBM Australia, GE Energy Australia, Grid Net, CSIRO, TransGrid, Landis + Gyr, Sydney

Water, Hunter Water, Університет Ньюкасла, університет Сіднея, район місцевого управління (місто) на узбережжі озера Маккуорі (Lake Macquarie City Council) та місто Ньюкасл.

Було визначено наступні цілі проекту:

- розвиток інформаційної бази щодо технологій інтелектуальної мережі;
- розвиток суспільної та корпоративної обізнаності про економічні та екологічні переваги від впровадження інтелектуальних мереж;
- збір надійної інформації та даних для ознайомлення широкої галузі з особливостями застосування інтелектуальних мереж в Австралії.
- дослідження синергії з іншою інфраструктурою (наприклад, газом, водою та Національною широкопasmовою мережею).

Загалом, дослідження Smart Grid, Smart City, спрямовані на отримання результатів, які могли б бути використані для визначення того, чи можна використовувати індивідуальні або комбінації технологій smart grid для досягнення економічних вигод для австралійських споживачів електроенергії.

У процесі реалізації проекту було розроблені і протестовані ряд розумних «сіткових» і «орієнтованих на клієнта» технологічних систем в мережі Ausgrid і роздрібному бізнесі EnergyAustralia в Новому Південному Уельсі.

Близько 17000 споживачів електроенергії були залучені до досліджень. Дослідження били спрямовані на виявлення того, як австралійські споживачі сприймають і можуть реагувати на можливості, які надають технології smart grid.

Практичний інтерес становить вибір тестових територій для реалізації проекту.

Так, дослідження багато в чому відбулося у великих районах Ньюкаслі та Сіднеї. Розташування Smart Grid, Smart City було обрано для того, щоб представити різні варіації географічних, кліматичних характеристик, характеристик демографічних споживачів та електричних мереж, розташованих по всій Австралії з метою отримання результатів, які були б релевантними на національному рівні.

Тестові локації включають поєднання як міських, так і регіональних територій.

На тестових локаціях продемонстровані моделі споживання енергії населенням Австралії, що відображають піки попиту на енергію включаючи літні та зимові. В свою чергу тестові локації мали достатню варіабельність топографічних і рельєфних характеристик, що дозволяло проводити точні випробування альтернативних технологій. На основі обраних територій були представлені різні конфігурації наземних та підземних мереж. Тестові території містили зони з високим рівнем використання мережі, що визначило їх гарними місцями для представлення ініціатив з енергоефективності та управління попитом.

Визначено такі основні переваги та ефекти від впровадження проекту Smart Grid, Smart City:

- розвиток технологій та впровадження інтелектуальної мережі (smart grid);
- впровадження технологій інтелектуальних мереж в Австралії має потенціал для отримання економічної вигоди в розмірі до 28 мільярдів доларів США протягом наступних 20 років;
- впровадження тарифів, включаючи динамічні тарифи, що відображають вартість електроенергії;
- зміна споживчої поведінки щодо енергоспоживання (для кращого управління зростанням пікового попиту в майбутньому).
- реформа енергетичного ринку.
- зменшення капітальних інвестицій (за рахунок кращого управління піковим попитом).

Особливої уваги також заслуговує проект «Energy Smart Miami». Проект реалізовується у США в м. Майамі, штат Флорида. Учасниками реалізації проекту є енергетична кокомпанією Florida Power & Light, компанії General Electric, Cisco Systems і Silver Spring Networks. Інвестиційні вклади в проект склали 200 млн дол.

Перевагами проекту є впровадження «розумних» систем обліку електроенергії для кінцевих споживачів та перехід до автоматичного управління енергоспоживанням. При цьому розумні системи обліку можуть бути доступними для більш ніж у мільйонів домогосподарств і підприємств м. Майамі (Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці).

У контексті забезпечення енергетичної ефективності досить цікавим є Smart Islands Projects and Strategies [33].

Ініціатива «Розумні острови» - це зусилля представників органів місцевої влади спрямовані на ефективне використання потенціалу островів з метою створення лабораторій, які функціонуватимуть для розвитку соціальних, економічних та політичних інновацій.

Ініціатива «Розумні острови» має на меті продемонструвати, що острови можуть реалізовувати пілотні проекти, виробляти знання про розумні та ефективні ресурси та інфраструктуру управління, які потім можуть бути застосовані іншими територіями (в гірських, сільських і взагалі географічно відокремлених районах).

Особливої підтримки в своїй реалізації проект отримав від KEDE, the Central Union of Municipalities of Greece. KEDE щорічно проводить форуми з метою обміну знаннями та досвіду щодо розвитку інтелектуальних проектів і стратегій на місцевому рівні.

Ініціатива «Розумні острови» - це сукупність низки заходів, серед яких особливого значення має Пакт островів. Пакт островів є політичною стратегією залучення островів вийти за межі кліматичних та енергетичних цілей ЄС 2020.

Визначення острова як розумного пов'язане з його здатністю реалізувати інтегровані рішення щодо управління інфраструктурами та природними ресурсами, а саме енергією, транспортом та мобільністю, відходами та забезпечення водою, а також сприяти використанню інноваційних та соціально-інклюзивних методів управління та фінансування.

Впровадження новітніх технологій у поєднанні з управлінням екологічною обстановкою, яке передбачає охорону ландшафту та раціональне використання прибережних та морських ресурсів є ключовими аспектом у забезпеченні стабільної економічної діяльності.

У світлі постійно зростаючої тенденції до нового типу енергетичного ринку з'являються нові бізнес-моделі щодо постачання енергії, які передбачають можливість споживачами контролювати своє енергоспоживання, використовувати інноваційні технології (розумні лічильники, електричні транспортні засоби тощо). У цьому напрямку острови служать ідеальними територіями для тестування нових масштабованих технологій і процесів за участю всіх відповідних суб'єктів, а саме державних органів, комунальних підприємств та мереж операторів, учасників ринку та громадян.

Потенціал Ісландії на сьогодні визначається стратегією перетворення на розумні території в контексті забезпечення сталого розвитку.

В Ісландії створено умови для формування двох проектів масштабу ЄС, ISLEPACT та SMILEGOV, що сприяє співпраці островів у галузі місцевого розвитку енергетичного планування та впровадження сталого енергетичного проекту.

В організації першого форуму «Розумні острови» кооперації у співпраці з Фондом Фрідріха Еберта прийняли участь:

- The DAFNI Network of Sustainable Aegean and Ionian Islands;
- The Aegean Energy Agency, неприбуткова організація, що надає наукові послуги та технічні консультації для мережі DAFNI;
- KEDE, the Central Union of Municipalities of Greece;
- FEDARENE, головна європейська мережа регіональних і місцевих організацій, що відповідає за впровадження, координацію і підтримку енергетики та екологічної політики на регіональному та місцевому рівнях.

Досвід зарубіжних країн світу з розвитку «розумних міст» показує, що вкладення на розвиток інформаційних технологій протягом декількох років окупляться, і в подальшому місто отримує істотний прибуток від економії ресурсів та від переваг в соціальній та екологічній сферах. При цьому, досить важливим аспектом є можливість органів влади здійснити оцінювання та аналіз потенціалу міста та прийняти смарт-рішення. Адже розумним місто стає в процесі набуття ним нових інноваційних технологій, підходів та методів управління, що спрямовані на еколого-стійкий розвиток.

На основі узагальнення літературних джерел нами сформовані деякі рекомендації щодо впровадження систем Smart City в контексті реалізації енергетичних стратегій:

- залучення всіх зацікавлених сторін до процесу формування енергетично-ефективних технологій;
- розвиток суспільної та корпоративної обізнаності про економічні та екологічні переваги від впровадження інтелектуальних мереж;
- формування механізму стимулювання та мотивації організацій, що здійснюють розробки в галузі інноваційних технологій за для ефективного функціонування міста;
- розвиток інформаційної бази щодо технологій інтелектуальної мережі;
- збір надійної інформації та даних задля ознайомлення широкої галузі з особливостями застосування інтелектуальних мереж у місті;
- розвиток розробки нових передових автоматизованих систем;
- створення інноваційних лабораторій з метою стимулювання нових розробок, спрямованих на збереження екосистеми та підвищення рівня комфорту і безпеки громадян та міста в цілому;
- дослідження синергії з іншою інфраструктурою (наприклад, газом, водою та ін.);
- забезпечення безпеки даних;

- залучення органів державного та місцевого управління щодо впровадження систем «розумного міста»;
- створення координаційного органу щодо впровадження інноваційних технологій в місті.

## **2.4 Аналіз світового досвіду та векторів розвитку Smart Grid технологій**

У більшості розвинених країнах світу все більшої уваги приділяється питанням впровадження «інтелектуальних» технологій в електроенергетиці як основи екологічно-сталого розвитку.

У світовій енергетичній галузі існують різні трактування поняття Smart Grid. На базі узагальнення науково-літературних джерел нами було виокремлено найбільш розповсюджені підходи до визначення поняття Smart Grid подані в табл. 2.3.

Аналіз існуючих підходів до визначення сутності Smart Grid дозволяє зробити наступні висновки. В різних публікаціях поняття трактується по різному, визначаючи погляди і позиції сторін, що беруть участь у розробці даного напрямку відповідно до їх стратегій розвитку, інтересів, програм та цілей, які вони переслідують.

За даними Zpryme Research & Consulting у 2010 році серед провідних країн, що розвивали технології Smart Grid, лідером є Китай (з інвестицій у \$7,32 млрд). Друге місце займає США, що профінансували «розумні» мережі на \$7,09 млрд. Також до п'ятірки країн, що характеризуються найвищими розмірами інвестицій, увійшли Японія (що вклала \$849 млн), Південна Корея (що інвестувала \$824 млн) та Іспанія (з \$807 млн., вкладеними в майбутнє енергетики). На рисунку 10 відображено 10 країн за розмірами інвестицій у технології Smart Grid [43].

Таблиця 2.3 – Підходи до визначення поняття Smart Grid

№	Визначення, автор/джерело	Сутність
1	2	3
1	Smart Grid, [34]	це електрична мережа, що на основі сучасних інноваційних технологій обладнання ефективно координує та управляє дією всіх підключених до неї об'єктів – від різних систем генерації, передачі та розподілу електроенергії до її споживачів з метою створення економічно рентабельної та стабільної енергосистеми з низькими втратами і високим рівнем надійності та якості енергопостачання.
2	Smart Grid, IEEE - The Institute of Electrical and Electronics Engineers, [35]	електричні мережі, що задовольняють вимогам енергоефективного та економічного функціонування енергосистеми за рахунок скоординованого управління за допомогою сучасних двосторонніх комутацій між підстанціями, які акумулюють джерелами і споживачами.
3	Smart Grid, Міністерство енергетики США, [36]	повністю автоматизована енергетична система, що забезпечує двосторонній потік електричної енергії та інформації між електричними станціями і пристроями повсюдно. Smart Grid за рахунок застосування новітніх технологій, інструментів і методів наповнює електроенергетику «знаннями», що дозволяють різко підвищити ефективність функціонування енергетичної системи.
4	Smart Grid, Європейська технологічна платформа, [37]	це «електричні мережі, що задовольняють вимогам енергоефективного та економічного функціонування енергосистеми шляхом скоординованого управління за допомогою сучасних двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричних станцій та споживачів електроенергії».
5	Smart Grid, Державні структури в більшості країн	ідеологія національних програм розвитку електроенергетики.
	Smart Grid, компанії-виробники обладнання та технологій	перспективна основа оптимізації бізнесу.
	Smart Grid, енергетичні компанії [38]	база для забезпечення сталої інноваційної модернізації своєї діяльності.
6	Smart Grid, NETL (The National Energy Technology Laboratory USA), [39]	сукупність організаційних змін, нової моделі процесів, рішень в області інформаційних технологій, а також рішень в області автоматизованих систем управління технологічними процесами і диспетчерського управління в електроенергетиці.
7	Smart Grid, [40]	is an electrical grid which includes a variety of operation and energy measures including smart meters, smart appliances, renewable energy resources, and energy efficient resources



## Продовження таблиці 2.3

1	2	3
8	Smart Grid, Defined by Standards Australia, [41]	is an electricity system incorporating electricity and communications networks, which can intelligently integrate the actions of parties connected to it.
9	Smart Grid, [42]	is defined as the electrical distribution technology that uses computer-based remote control and automation to improve the delivery efficiency of electricity.

За даними експертів Zpryme Research & Consulting [44] обсяг інвестицій у світовий ринок інтелектуальних мереж (Smart Grid) до 2030 р складе 2 трлн. дол.

Відповідно до звіту Європейської комісії «Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments», опублікованого в червні 2011 р., обсяги інвестицій у проекти «інтелектуальних» мереж становитимуть: у ЄС – 56,5 млрд євро до 2020 р.; у США – від 238 до 334, 5 млрд євро до 2030 р.; у Китаї – понад 70 млрд євро до 2020 р. За оцінкою Міжнародного енергетичного агентства, глобальний обсяг необхідних інвестицій у розвиток світової енергетики до 2030 р. становитиме близько 16 трлн дол. США, у тому числі понад 2 трлн дол. на розвиток «інтелектуальних» мереж (Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці).

Існування суспільства в гармонії з навколишнім середовищем та загальним економічним зростанням може бути досягнуто завдяки реалізації «інтелектуальних» електричних мереж.

На сьогодні в усіх країнах світу все більше актуальності набуває питання реалізації проектів з «інтелектуальними» електричними мережами [45, 46, 47].

Реалізація проектів з «інтелектуальними» електричними мережам відображає розвиток інноваційних технологій у місті, рівень використання електроенергії у транспортній інфраструктурі, рівень сприйняття населенням новітніх технологій [38].

У зв'язку з цим, нами досліджено такі масштабні проекти в контексті впровадження «інтелектуальних» електричних мереж як: Проект ADDRESS

(Італія), проект Telegestore (Італія), Проект (CRISP) «Критичні інфраструктури для стійкості енергетичних систем», Проект - FENIX (Flexible Electricity Networks to Integrate the expected Energy Evolution) та ін.

Слід зазначити, що в Італії активно заохочується зростання виробництва електроенергії з відновлюваних джерел. Відновлювані джерела вже охоплюють 32% національного виробництва енергії в Італії.

З метою сприяння еволюції електричних мереж важливе значення для підвищення енергетичної ефективності, стійкості та безпеки в країні на сьогодні має впровадження «інтелектуальних мереж».

Ключовим користувачем у галузі інтелектуальних мереж в Італії є ENEL. ENEL Distribuzione бере участь у численних проектах інтелектуальних мереж, включаючи: «Електрична мобільність» та «Інтерактивна енергія ADDRESS» - масштабний проект, який співфінансується Європейською Комісією задля забезпечення активної участі малих та комерційних споживачів на енергетичному ринку [48].

Мета проекту - створення майбутньої електромережі - гнучкою, загальнодоступною, надійною та економічною з можливістю прийняття активної участі малих і комерційних споживачів. Термін дії проекту становив п'ять років (з 1 червня 2008 до 2013 р).

Проект ADDRESS реалізовувався консорціумом, що включав 25 партнерів з 11 європейських країн, які були ретельно відібрані задля забезпечення реалізації потреб проекту з точки зору навичок, компетенцій та розуміння проблем та можливих їх рішень [49].

Зокрема, до складу учасників входять:

– дослідницький університет Манчестера, Universidad Pontificia Comillas, Сиенський університет, Universita di Cassino, ENEL Produzione, VTT, VITO, Fundacion Labein, KEMA, Consentec;

- постачальники електроенергії і енергозбутових компаній (EDF-SA, ENEL Distributie Dobrogea);
- виробники електрообладнання (ABB, Landis + Gyr, ZIV);
- виробники електропобутових приладів і консультанти (Philips, Electrolux, RLtec);
- оператори розподільчих і передавальних мереж (ENEL Distribuzione, EDF Energy, Iberdrola Distribucion Electrica, Vattenfall);
- провайдери інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) і виробники електрообладнання (Ericsson Espana, Alcatel, Current).

Загальний бюджет проекту склав 16 млн. євро, який був профінансований Європейською комісією.

До ключових учасників в галузі формування інтелектуальних мереж в Італії відносять AEEGSI, незалежний орган, який регулює, контролює та координує ринки електроенергії, газу та води; TERNA, національний оператор системи передачі, регульований AEEGSI. TERNA володіє більш ніж 98% мереж передачі і відповідає за планування, експлуатацію та підтримку системи передачі. TERNA також розробила проект «Smart Islands», що складається з стратегії сучасного, інтелектуального, інноваційного та високотехнологічного майбутнього для островів, які не підключені до національної електромережі.

У свою чергу, особливого значення має один з найунікальніших проектів світу, що також реалізований в Італії – це проект Telegestore.

Суть проекту полягала в створенні додаткової керуючої мережі для 30 млн споживачів, що управляє піковим попитом і дозволяє підвищити ефективність роботи з недобросовісними платниками.

Система TELEGESTORE складається з трьох основних частин: дистанційної системи обліку, системи управління абонентами і потенційної системи надання додаткових оплачуваних послуг.

Загальні інвестиції в проект склали 2100 млн. євро.

Особливостями проекту Telegestore є [50]:

- вимірювання активної та реактивної енергії;
- Функції AMR;
- дистанційне підключення / відключення для контролю навантаження;
- функції виявлення / запобігання шахрайства
- інформування споживачів;
- можливість попередньої оплати (без картки);
- управління попитом енергії;
- моніторинг рівня якості індивідуального обслуговування клієнтів;
- потенційна можливість пропозиції додаткових, що оплачуються.

Впровадження проекту TELEGESTORE має ряд переваг як для компанії Enel, так і для її споживачів, а також для всієї енергосистеми Італії, рис. 11.

Основні переваги проекту TELEGESTORE [50]:  
*для клієнтів*

- рахунки на основі фактичного споживання;
- спеціальні тарифи (можливість обирати серед декількох тарифів);
- віддалене управління договорами;
- відсутність візитів контролера;
- дешевий спосіб отримання додаткових послуг

*для електроенергетичної системи Італії*

- управління енергоспоживанням;
- моніторинг доступності мережі та її ефективності;
- енергоефективність та скорочення викидів CO<sub>2</sub>;
- більш легкий спосіб зміни збутової компанії;
- розмір економії в межах країни склав більше 400 млн євро в рік.
- скорочення комерційних та технічних витрат.

для Enel

- період повернення інвестицій 5 років;
- перевага першопрохідника;
- лідер технології АММ / АМР;
- престиж;
- нові послуги для задоволення потреб клієнтів;
- економія експлуатаційних витрат.

Таким чином, на базі впровадження проекту споживачі отримали більш високий рівень послуг в тому числі ефективності розподілу, продажу і обліку, а також можливість використовувати диференційовані, тобто більш низькі тарифи.

Дистанційна система керування засобами обліку компанії Enel стала еталоном в світі, з яким порівнюються всі аналогічні проекти. Проект вважається одним з найцікавіших, амбітних і інноваційних промислових проектів за останні кілька років в електроенергетичному бізнесі. Компанія Enel в даний час займається поширенням системи в інші країни. Представники понад 80 енергокомпаній світу вже проявили інтерес до системи TELEGESTORE.

Доцільно розглянути також особливості реалізації проекту The Critical Infrastructures for Sustainable Power (CRISP).

Мета проекту «Критичні інфраструктури для стійкості енергетичних систем» (CRISP) - дослідження питань підтримки електромереж з великою кількістю енергоресурсів і систем поновлюваних джерел енергії з інформаційно-комунікаційними технологіями.

Учасниками проекту є три європейські країни, а саме Швеція, Франція і Нідерланди. На чолі консорціуму знаходиться науково-дослідний центр енергетики Нідерландів. Серед додаткових партнерів такі компанії, як Inventer la Distribution de l'Electricite de l'Avenir (IDEA), EnerSearch AB, Eon Sverige AB, Blekinge Institute of Technology and ABB Automation Technology Products AB.

Проект було розпочато 1 жовтня 2002 року. Завершився проект 30 червня 2006 року.

Загальний бюджет проекту склав 3 150 251 євро, внесок ЄС 630 468 євро.

Діяльність CRISP полягала в реалізації таких етапів:

1. Сценарії та стратегії мереж електропостачання з високо перерозподіленою генерацією та з використанням інформаційно-комунікаційних технологій (етап передбачає розробку стратегій підвищення здатності мереж продовжувати функціонувати під час збоїв).

2. Реалізація проектів розподілених «інтелектуальних» інформаційно-комунікаційних технологій та інструменти для використання енергії (на даному етапі були розроблені вимоги до інформаційно-комунікаційних технологій, технічні характеристики, інструменти моделювання та експериментальні програмні засоби для формування сценаріїв і стратегій).

3. Поширення і застосування

4. Введення в дію, експерименти та випробування

5. Управління проектом

Основними результатами від впровадження проекту CRISP є: сформований опис нової архітектури мережі розподіленої енергії; розроблені моделі для стратегій, що реалізують інформаційно-комунікаційні технології, в яких були вивчені різноманітні оперативні ситуації; створені інструменти моделювання; проведені експерименти і випробування в різних країнах.

Проект CRISP має можливість надання практичних рекомендацій щодо використання інтелектуальних інформаційно-комунікаційних технологій для оптимізації електромереж з високоперерозподіленою генерацією [51].

У січні, 2009 року був розпочатий проект E-DeMa. Країна, що активно приймала участь у реалізації проекту – Німеччина. Зокрема, зацікавленими учасники проекту виступили німецькі компанії RWE Energy AG, Siemens AG, Miele & Cie. KG, Stadtwerke Krefeld AG і Prosyst Software GmbH [52].

Метою проекту EDeMa є досягнення більших енергетичних переваг і підвищення ефективності для генераторів електроенергії, комунальних підприємств, виробників пристроїв і, перш за все, клієнтів.

Проект E-DeMa спрямований на розробку і демонстрацію децентралізованих інтегрованих енергосистем для ринку E-Енергії майбутнього.

Діяльність проекту поширюється як на сільську, так і на міську місцевість з двома різними розподіленими мережами.

Основне завдання проекту полягає в об'єднанні технології вироблення електроенергії та інформаційно-комунікаційної технології з метою створення «енергоінформаційного центру».

Одним з головних аспектів проекту є проектування і розробка інтегрованих інформаційно-комунікаційних технологій - міжмережевого сполучення, які є частиною розподіленої підсистеми споживачів, що зчитують дані і регулюють (програмують) «інтелектуальні» лічильники, що обробляють «цінові сигнали» від постачальника електроенергії. Виходячи з таких «цінових сигналів» споживачі можуть перемикає своє споживання на годинник з низьким навантаженням, отримуючи, таким чином, переваги від більш низьких тарифів. Також споживачі можуть генерувати електроенергію і направляти її надлишок в розподільчі мережі, набуваючи доступ до нових послуг, що пропонуються.

Основними цілями проекту FENIX (Flexible Electricity Networks to Integrate the expected Energy Evolution) є опрацювання механізмів функціонування загальноєвропейської енергосистеми; розроблення алгоритмів включення в загальну систему розподілених джерел генерації і поновлюваних джерел енергоресурсів; демонстрація розробок на полігонах в Іспанії та Великобританії. Проект об'єднав такі провідні компанії енергетичного ринку, як Iberdrola, Electricite de France, EDF Energy Networks, Red Electrica de Espana, National Grid Transco, Siemens PSE, Areva T&D тощо.

Дослідження досвіду впровадження інноваційних технологій в енергетиці, які знайшов своє відображення в реалізації таких проектів як Smart Grid надають можливість зробити наступні висновки. Кожен проект має свою мету, стратегію та алгоритм реалізації, зацікавлених осіб, але всі вони сприяють покращенню соціо-еколого-економічних показників міста або країни. Ключовою особливістю проектів, що реалізується є спроба охопити як можна більша зацікавлених осіб; ознайомити населення з перевагами Smart Grid та забезпечення можливості реалізації проектів в різних локаціях, тобто формування проекту здійснюється таким чином, щоб його можна було адаптувати до умов інших країн та територій.

В свою чергу формування та реалізація проектів Smart Grid є не лише складним процесом, також вимагає фінансових інвестицій. Саме тому проекти з впровадження інтелектуальних мереж не всі є успішними.

Незважаючи на те, що «інтелектуальні» інноваційні мережі здатні вирішити багато питань в енергетичній галузі, все ж існують бар'єри щодо реалізації концепції Smart Grid в зарубіжних країнах світу. Ці бар'єри пов'язані з адаптацією нових технологій, соціально-економічними проблемами, відсутністю політики та обізнаності населення.

Так, наприклад Індія зіткнулася з такими бар'єрами при проектуванні інтелектуальних мереж [52]:

- існуюча система електромереж є недостатньою, щоб задовольнити майбутні потреби в екологічно-чистій енергії та розподіленому виробництві;
- в Індії кілька електромереж нерівномірно з'єднані з національною мережею;
- недостатньо дослідженими є питання кібербезпеки. Підключення мережі до кібер-мережі викликає численні уразливості в системі, які, в свою чергу, є невивченими. Кібербезпека є однією з суттєвих проблем для функціонування, оскільки будь-яка окрема ланка має потенційну загрозу перетворитися на катастрофу для комунальних підприємств та осіб, які працюють з мережею.



Фактично smart grid має багат шарову структуру і кожен шар вимагає вирішення конкретних проблем безпеки. На сьогодні не існує єдиної, універсальної системи захисту від кіберзагроз. Тому виникає необхідність у розробці передових технологій для вирішення складних кіберзагроз, що постійно розвиваються;

– проблеми зберігання, які полягають у такому: оскільки виробництво електроенергії з поновлюваних джерел не є рівномірним, тобто переривчастим і змінним, воно може потребувати зберігання. Акумулятор, найпоширеніший запам'ятовуючий пристрій, має дуже короткий термін служби 4–5 років. Проблема з методами перекачування полягає в тому, що воно вимагає великих площ як резервуарів, які зазвичай доступні тільки в гірській місцевості. Для значного зростання Smart Grid, цей варіант вимагає віддалення від насосного сховища в гірських хребтах. У деяких регіонах Німеччини на практиці зберігається стиснене повітря в підземних сховищах, які можуть бути використані для виробництва електроенергії, коли це необхідно. Незважаючи на ефективність, складність проектування такого сховища стає перешкодою для реалізації цієї технології. Найбільш поширеною методикою для зберігання електроенергії є батареї, серед яких найбільш популярними є свинцево-кислотні акумулятори. Переносимість є їхньою перевагою, але низька енергетична щільність, вага та розмір є проблемою для новаторів для досліджень. Крім того, висока вартість та ризик нестачі сировини для батарей також є серйозною проблемою. Проводяться дослідження щодо підвищення ефективності та зниження вартості технологій зберігання, Розширені свинцево-кислотні акумулятори, акумулятори потоку та літійово-іонні батареї - це варіанти, які розглядаються в проекті Smart Grid в Індії для великомасштабного зберігання;

– складна система управління даними. Система Smart Grid включає в себе величезну кількість датчиків, контролерів, спеціалізованого обладнання, яке допомагає одержати дані щодо прогнозування попиту на електроенергію, ціну. Дані блоків системи Smart Grid, таких як прогноз погоди, камери безпеки та ін.

підвищують можливості операторів отримати точний аналіз щодо проблем енергопостачання та своєчасно уникнути їх. Об'ємні дані з пристроїв системи Smart Grid є складними для збору та зберігання. Високий обсяг даних може сповільнити процес аналізу та формування звітів.

– проблеми комунікаційних технологій. Більшість технологій мають свої власні обмеження. Деякі технології мають обмежену пропускну здатність, інші працюють на обмеженій відстані, інші мають більшу втрату даних, а деякі обмежений успіх у підземних установках. Таким чином, незважаючи на численні переваги, комунікаційні технології для Smart Grid є недостатньо вивченими;

– соціально-економічні виклики. Технологія стає нерелевантною, якщо вона не може залучити інвесторів або користувачів, що призводить до невдачі пілотних проєктів, відмови від нових технологій і т.д. серед зацікавлених сторін;

– фінансова нестабільність енергетичних підприємств;

– негативне сприйняття зацікавленими сторонами стратегії Smart Grid через необхідність впровадження нової технології, високих капіталовкладень, відсутність точної інформації тощо;

– відсутність обізнаності населення;

– страх морального старіння. Споживачі добре знають, як швидко нові технології стають застарілими, незважаючи на додаткові переваги, які вони надають;

– страх у споживачів перед новими тарифами. В даний час споживачі, які задоволені існуючою схемою тарифів, не схвалюють нову схему яка може діяти за такими умовами: низький тариф на пікових навантаженнях та підвищення тарифів у пікові періоди;

– вплив технологій Smart Grid на здоров'я людини. Деяка частина споживачів має побоювання щодо радіочастотних сигналів, що передаються від пристроїв Smart Grid. Проте в цьому напрямку не існує точних даних, які відігравали роль або

на користь або проти таких претензій. Для вирішення таких питань необхідні ґрунтовні дослідження;

- неузгодженість дій та інтересів координаторів проекту;
- дефіцит експертної робочої сили.
- опір автоматизаційним змінам працівниками енергетичних підприємств.

Під час впровадження Smart Grid технологій в Африці, виникли наступні проблеми [43]:

- застаріла інфраструктура. Інфраструктура в країні є невідповідною і вимагає капітального ремонту. Існує потреба в нових технологіях та системі електропостачання, а саме передачі та розподілу;

- висока вартість впровадження. Системи розподілу електроенергії складають основну частину витрат на впровадження розумної електромережі;

- складна система управління великою кількістю даних, що генеруються з широкого кола зацікавлених сторін, таких як влада, комунальні підприємства, постачальники, муніципалітети та споживачі;

- складність модернізації існуючих систем. Застарілі системи не завжди можна модернізувати за допомогою нових технологій, тому може виникнути потреба в цілій технології;

- «розумні споживачі». Клієнти - це зацікавленої сторони, для яких створюється вся мережа, тому виникає необхідність спілкування із споживачами, впровадження динамічного ціноутворення, яке може бути стимулом для споживачів, необхідність зміни власної моделі використання енергії;

- несумісність старого обладнання. Деяке застаріле обладнання повинно бути замінене, оскільки воно не може бути модернізовано для сумісності з технологіями smart grid. Раннє вибуття обладнання може стати проблемним;

- інтелектуальна кібербезпека. Використання Інтернету з великою кількістю даних між утилітами та клієнтами створює необхідність вирішення питань кібербезпеки;

- відсутність системи стандартів технологій Smart Grid, на розробку яких можуть бути витрачені роки;

- забезпечення енергією населення за доступними цінами для задоволення власних потреб;

- підвищення енергоефективності на основі використання джерел енергії за принципом екологічно-стійкого розвитку;

- необхідні зміни в регуляторній політиці;

- відсутність людських навичок.

В дослідженні автора [42] сформовано шість основних проблем, які потребують вирішення під час впровадження Smart Grid:

- контроль розподілу електроенергії за допомогою автоматизації підстанцій та розподільчих пристроїв, системи прогнозування погоди а також програмного забезпечення;

- застосування сенсорних та вимірювальних технологій, що складаються з складних систем моніторингу, динамічних лінійних технологій, волоконно-оптичних систем моніторингу температури та спеціальних систем захисту;

- покращення інтерфейсів та технологій підтримки прийняття рішень для підвищення можливостей роботи людини в інтерфейсі та роботі з мережею при використанні приладів та іншого електричного обладнання.

- вдосконалення компонентів енергетичних технологій, таких як паливні елементи, технології мікромережі, ультраконденсатори, натрієві сірки (NaS) та літієві батареї.

- застосування інтегрованої комунікації;

– розробка стандартів кібербезпеки, щоб зробити систему стійкою до атак та забезпечити можливість швидкого відновлення.

На основі аналізу наукових праць провідних вчених та зарубіжного досвіду було виявлено, що основними проблемами реалізації концепції Smart Grid зарубіжних країнах світу є такі:

- регулювання і законодавство;
- промисловість;
- технології;
- культура і комунікації (рис. 2.1).

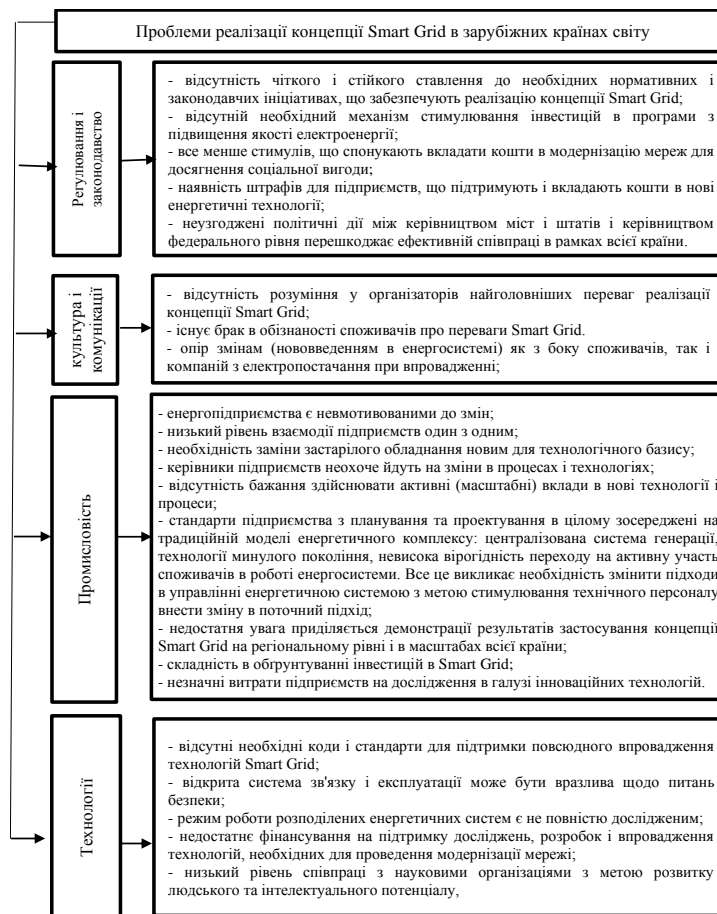


Рисунок 2.1 - Проблеми реалізації концепції Smart Grid у зарубіжних країнах

Таким чином, аналіз літературних джерел із проблематики енергетичного розвитку в зарубіжних країнах світу показав, що основними проблемами реалізації концепції Smart Grid є такі: застарілі технології, які потребують значних капітальних витрат, недостатньо розвинена інфраструктура, відсутність досвідчених спеціалістів, відсутність нормативно-законодавчої бази, яка б регламентувала та стимулювала підприємців енергетичної галузі до реалізації розумних технологій. Крім того необхідно зазначити, що країни мають не однаковий потенціал щодо впровадження концепції Smart Grid. Так, деякі країни мають обмежені фінансові ресурси, часові ресурси, людські ресурси, природно-кліматичні та ін. Досить важливим аспектом є соціально-психологічні бар'єри, до яких слід віднести: опір змінам з боку трудових ресурсів, задіяних в енергетичній галузі, необізнаність населення та потенційних партнерів стосовно переваг від впровадження технологій Smart Grid, побоювання невдачі від реалізації проекту.

## **2.5 Науково-методичні основи формування системи показників оцінки ефективності розгортання розумних енергетичних мереж**

Модернізація енергетичної системи є процесом, що потребує врахування останніх науково-технічних досягнень, узгоджених із парадигмою розвитку енергетики. Ключовим аспектом трансформації в енергетиці, що впливатиме на її розвиток та майбутній стан, є застосування розумних технологій. Це дозволить побудувати гнучку децентралізовану систему, що здатна врегульовувати попит та пропозицію електроенергії, уникаючи перевантаження енергомережі та дефіциту електроенергії в окремих локаціях. Актуальність завдання визначення ефективності впровадження розумних технологій в енергетику спричинили появу ґрунтовних досліджень. Зокрема, Jesus, O.D., Antunes, C.H. дослідили економічну вартість

впровадження розумних енергетичних мереж. Munshi A.A., Mohamed AR. I. здійснили дослідження за подібною тематикою з використанням Big Data. Методологія оцінки досягнення цілей при розгортанні розумних енергетичних мереж запропонована у дослідженні Personal E., Guerrero J.I., Garcia A., Peña M., Leon C. Питанням комплексної оцінки ефективності впровадження розумних технологій в енергетиці займалися Sun Q., Ge X., Liu L., Xu X., Zhang Y., Niu R., Zeng Y. Вітчизняні дослідження фокусуються переважно на технічній оптимізації технологічних рішень для розумних енергетичних мереж.

Управління процесом розгортання розумних енергетичних мереж має відбуватися на основі кількісної та якісної оцінки ефективності здійснення проектів впровадження розумних технологій в енергетику. Таким чином можна виокремити два питання, від вирішення яких значною мірою залежить ефективність процесу переходу від традиційної моделі енергетичної мережі до майбутньої її формації, а саме моделі розумної енергетичної мережі з розподіленою енергогенерацією. Першим питанням є оцінка індивідуального проекту за рядом параметрів для визначення техніко-технологічних та економічних показників доцільності (ефективності) його реалізації. З цією метою здійснено ряд досліджень, за результатами яких запропоновано різні підходи до здійснення оцінки. Кожен підхід має свою специфіку, однак наразі можна окреслити ряд параметрів оцінки, що можуть бути інтерпретовані шляхом застосування індивідуальних показників, розрахованих на основі кількісних даних, та можуть бути використані як універсальні для широкого кола проектів. Друге питання пов'язане із організацією системних перетворень в енергетиці, а саме максимально ефективного поєднання проектів модернізації енергетичної мережі для досягнення максимального технічного, екологічного та економічного ефекту. Тобто яким чином досягти максимального ефекту з урахуванням системності та етапності переходу до розумної енергетичної мережі.

Складність ситуації полягає у тому, що неправильним буде давати окрему відповідь на кожне з поставлених питань без урахування іншого. Адже проект, що має кращі техніко-технологічні показники та оцінку інвестиційної привабливості у короткостроковому періоді, не обов'язково буде найкращим варіантом з точки зору системного підходу до розгортання розумних енергетичних мереж. Таким чином оцінка ефективності впровадження окремого проекту має бути доповнена додатковими показниками, на основі яких можна визначити відповідність проекту стратегічним завданням, потенційні ефекти, яких може бути досягнуто при реалізації подальших проектів, які технологічно пов'язані з даним.

Таким чином, згідно даної логіки, має бути два блоки показників при оцінці проектів модернізації енергетичної мережі з використанням розумних технологій, які умовно можна назвати:

- тактичний блок – показники ефективності проекту відірвано від інших проектів та стратегічних завдань модернізації енергетичної мережі;
- стратегічний блок – показники ефективності проекту у системі модернізації енергетичної мережі.

Відповідно здійснення оцінки за даними блоками показників має бути проведено у два етапи: розрахунок за тактичним блоком та розрахунок за стратегічним блоком.

У випадку, коли необхідно здійснити вибір кращого варіанту (проекту) для фінансування за рахунок коштів державного чи місцевих бюджетів, а також міжнародних фондів, першочергово має враховуватися результат оцінки за стратегічним блоком (звичайно лише у випадку наявності стратегічних програм розвитку енергетики, які роблять можливою оцінку за даною групою показників).

Отримання інтегральної оцінки за результатами розрахунків обох груп показників є проблемним питанням з огляду на різноманітність окремих показників у рамках обох груп, що спричиняє неточності та створює певну суб'єктивізацію при зведенні показників до єдиної вимірювальної бази.



Найбільш прийнятним варіантом з точки зору вимірюваності та об'єктивності показників є застосування індикативної системи. При цьому для максимально повного охоплення усіх ефектів, що досягатимуться у результаті реалізації проекту необхідно передбачити багаторівневу систему індикаторів за різними напрямками (видами ефектів).

У рамках тактичного блоку показників логічно представити такі групи показників (індикаторів), які характеризували б основні сфери, за якими зазвичай здійснюється комплексна оцінка енергетичних проектів, а саме:

- соціальна сфера;
- довкілля;
- енергетика (енергетична безпека);
- економіка (економічна ефективність)

Відповідно характеристика названих ключових сфер має бути здійснена за допомогою індикаторів по таких параметрах:

- надійність (та безпека);
- ефективність (у тому числі економічна);
- екологічність (екологічна безпека);
- інформаційні системи та комунікації.

Комбінація індикаторів за даними параметрами забезпечить повну характеристику результатів функціонування (впровадження) проекту за умови системності при виборі індикаторів другого та третього рівня.

Зокрема параметр надійності має бути деталізований на нижчих рівнях індикаторів шляхом введення індикаторів, що відповідають за безвідмовність системи та її технічний стан, наприклад: кількість аварій під час передавання енергії; кількість аварій під час трансформації потужності (зниження напруги в мережах передачі енергії: двоетапної для країн Європейського Союзу; триетапної для України); час, який необхідний для відновлення електромережі у випадку

виникнення аварійної ситуації тощо. Параметр екологічності має містити індикатори, що відображатимуть відсоток альтернативної енергетики у структурі енергогенерації, а також альтернативні втрати, яких вдалося уникнути завдяки використанню альтернативної енергетики або навпаки додаткові витрати, що були понесені у результаті цього (наприклад, площа земель, що були виведені із сільськогосподарського вжитку для виробництва біоенергії). Параметр ефективності має бути деталізовано шляхом введення індикаторів, що відповідатимуть за покращення стану енергетичної мережі, у тому числі скорочення експлуатаційних витрат, підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, ефективність використання енергетичної інфраструктури. Параметр «інформаційні системи та комунікації» має бути розкрито через показники деталізації інформації, швидкості її оновлення в системі тощо.

Показники, які належать до стратегічного блоку можуть значно варіюватися залежно від завдань стратегічних програм оновлення енергетичного сектору. Однак повинні містити індикатори за групами аналогічними до тактичного блоку. Головна відмінність полягає у спрямованості показників. У тактичному блоці показники (індикатори) характеризують поточний стан конкретного проекту. Натомість у стратегічному потенційні вигоди для майбутніх проектів, що мають бути отримані у результаті реалізації поточного проекту (зниження витрат на реалізації майбутніх проектів, тобто досягнення синергетичних ефектів по визначених напрямках: соціальна сфера; довкілля; енергетика (енергетична безпека); економіка (економічна ефективність)).

## **2.6 Типологізація технологій розумних енергомереж, адаптованих до особливостей вітчизняних енергомереж**

Створення єдиної інтегрованої енергетичної системи є одним із напрямків політики ЄС, що підтверджується наявною нормативно-правовою базою. Принцип розподіленої енергогенерації та максимально широке використання альтернативних джерел енергії є основою трансформаційних процесів в енергетиці ЄС та реалізовується шляхом розбудови розумних енергетичних мереж. Використання європейського досвіду в Україні зустрічає певні перешкоди. Водночас необхідність впровадження інноваційних енергетичних технологій для системної перебудови енергетичного сектору України із застосуванням передового світового досвіду, у першу чергу європейського, є очевидною. Однак питання адаптації розумних енергетичних технологій, які успішно використовуються в енергетичних системах провідних країн, до українських умов є невирішеним. Комплексність проблеми полягає суттєвих технічних, економічних, політичних та правових розбіжностях. Відповідно існує необхідність визначити потенційні можливості використання європейського та світового досвіду в Україні, а також необхідні умови, які потрібно забезпечити для інтенсифікації трансформаційних процесів в енергетиці України на основі застосування розумних та еколого безпечних енергетичних мереж.

Розумні енергетичні технології є майбутньою основою енергетичних систем. Вони є новим еволюційним етапом розвитку енергетики, адже здатні краще задовольняти потреби різних категорій споживачів у енергії, будучи гнучкішим та дозволяючи реалізувати принцип диверсифікації джерел для енергогенерації. Окрім того, розумні енергомережі підтримують концепцію створення інноваційного розумного середовища, доповнюючи технології, які використовуються для розбудови розумних міст. Відтак розумні технології – це майбутнє, яке не можна

зупинити, проте його можна затримати, якщо не забезпечити належні умови для розбудови розумної енергомережі.

Наслідки реалізації Smart Grid технологій є помітними на європейському ринку, ринку США та деяких інших країн. Ці зміни полягають не лише у змінах технічних параметрів енергосистеми, а у моделі функціонування енергетичного ринку.

Згідно дослідження колективу з кафедри електротехніки та обчислювальної техніки Університету Небраски-Лінкольна та компанії Quanta Technology, результати якого було оприлюднено у журналі *Energies, The Next-Generation Retail Electricity Market in the Context of Distributed Energy Resources: Vision and Integrating Framework* розповсюдження розподіленої генерації значно модифікує традиційні енергетичні мережі, системи розподілу та реалізації електрики [55]. Зокрема, автори виділяють шість інновацій, які змінять сектор електричної дистрибуції в наступні роки [56].

1. Системи розподіленої генерації. Згідно законодавства України розподілена енергогенерація – це електростанція встановленої потужності 20 МВт та менше, приєднана до системи розподілу електричної енергії [57]. Однак це вузьке визначення, яке не дозволяє повністю охопити це явище. Більш повним, але не вичерпним буде інше визначення: «розподілене виробництво енергії – концепція розбудови системи енергогенерації, яка стимулює виробляти енергію на місцях самими ж споживачами – індивідуальними господарствами, громадами, підприємствами. Енергія генерується для власних потреб, але із можливістю передавати її надлишки до загальної мережі за “зеленим тарифом” чи іншим механізмом підтримки» [58].

Наразі найбільш поширеними у світі системами для розподіленої енергогенерації є фотоелектричні. Застосовується два їх види:

- постійно підключені до електромережі фотоелектричні системи;

– гібридні системи, які здатні функціонувати в режимі постійного підключення до енергомережі та заряджати батареї в періоди низьких цін на електроенергію, та розряджати їх протягом періодів, коли ціна на електрику є високою, а також працювати в режимі «off-grid».

Окрім сонячної енергетики застосування у системі розподіленої енергогенерації знаходять технології отримання енергії з вітру, водневих паливних елементів, біомаси. Однак на даному етапі розвитку енергетичних технологій їхня функціональність поступається сонячній енергетиці. Окрім того суттєва державна підтримка виробників енергії з використанням фотоелектричних технологій спричинила стрімке зростання темпів виробництва сонячної енергії в Україні та стимулювала розвиток суміжних областей (наприклад, виробництво сонячних панелей, інверторів тощо).

Реалізація принципу розподіленої енергогенерації потребує технічного забезпечення, яке функціонуватиме з метою забезпечення належної якості енергоспоживання, регулювання напруги та надання супутніх послуг. Зокрема для зниження напруги у результаті отримання зворотної потужності у мережі від фотоелектричних систем досягається застосуванням інверторів.

Відповідно розвиток сонячної енергетики в Україні створює перспективи для входження на національний ринок провідних світових виробників інноваційного енергетичного обладнання, наприклад, китайської компанії Huawei.

2. Системи зберігання енергії. Найбільша проблема, яка стримує розвиток розумних енергосистем з технологічної точки зору – відсутність економічно доцільної технології зберігання надлишку енергії в системі, що дозволить перерозподіляти її відповідно до потреб ринку. Незважаючи на прогрес у дослідженнях даного питання та численних дослідах, у ході яких техніко-технологічних набір засобів зберігання енергії стрімко збільшується, не вдається досягти бажаних параметрів. Більше того немає визначеності навіть щодо технології, яка потенційно може стати провідною у даному напрямку та широко

використовуватиметься енергосистемами окремих країн та об'єднаними міжнаціональними енергосистемами. Такі параметри, як: витрати, питома енергія, питома потужність, безпека, продуктивність та тривалість експлуатації систем зберігання енергії мають бути значно покращені для стрімкого розвитку розумних енергосистем.

3. Електромобілі, які підключаються до мережі. Електромобілі є важливим елементом розумної «екосистеми». Розвиток електротранспорту має стійку тенденцію до зростання. Концепція розумного міста не передбачає використання транспортом викопного палива. Відповідно політика розвинених країн у даному секторі економіки спрямована на стимулювання як виробництва, так і споживання електромобілів. «Підключені до мережі електромобілі можуть надавати важливі розподілені енергоресурси, оскільки вони можуть працювати як системи зберігання енергії на диспетчеризацію та компенсацію навантаження. У той час, коли електромобілі не використовуються для поїздок, вони можуть брати участь у програмах реагування на зміни попиту та сприяти зниженню пікового навантаження під час зарядки, а також можуть працювати в режимі автомобіль-мережа (vehicle-to-grid, V2G), коли заряджений електромобіль забезпечує такі потреби електромережі, як постачання енергії, регулювання напруги та підтримка реактивної потужності. Електромобілі також можуть працювати у режимі автомобіль-будівля (vehicle-to-building), та обмінюватись енергією з зарядними станціями та іншими електромобілями. Електромобілі здатні стати великомасштабними постачальниками розподілених енергоресурсів завдяки розвитку технології зберігання енергії, інформаційних та комунікаційних технології, регуляторним ініціативам, а також державним та приватним стимулам та інвестиціям, спрямованим на підвищення технічних характеристик та оперативної сумісності мереж при зниженні витрат. Покращення функціональних можливостей та схеми взаємодії з мережею існуючих зарядних станцій для електромобілів є першим кроком у цьому напрямку» [56].

4. Мікромережі. Забезпечення доступу до електроенергії у віддалених місцях, де можливість підключення до централізованої енергомережі відсутня або надто вартісна може реалізуватися створенням розумних мікромереж. Окрім того, такий тип мереж придатний до використання не лише у віддалених важкодоступних локаціях. Зокрема мікромережі можуть бути успішно використані для забезпечення принципу розподіленої енергогенерації на локально обмежених територіях, де є можливість широкого використання альтернативних джерел енергії для енергогенерації. Проте розвиток енергетичних мікромереж стримують законодавчі обмеження. Невирішеність питань з механізмом функціонування мікромереж є серйозним бар'єром на шляху їх подальшого розвитку, стримуючи також розвиток альтернативної енергетики. Окрім того негативний вплив на розвиток даного сектору економіки має нестабільність державної політики щодо підтримки профільних виробництв та допоміжних галузей.

5. Розумні системи енергоменеджменту та розумні системи енерговимірювання. Реформування енергетичної системи Європейського Союзу можна розділити на окремі етапи. Для кожного з них було характерно використання певного типу технології. Це пояснюється логікою створення перспективи для акселерації розвитку розумних енергомереж після того, як будуть усунені стримувальні техніко-технологічні обмеження. Відповідно до даної логіки на першому етапі було забезпечено масове використання засобів обліку спожитої енергії, що є необхідною основою для подальшого розгортання розумних енергетичних мереж та реалізації принципу розподіленої енергогенерації. Наявність систем обліку дозволяє координувати енергогенерацію, споживання, зберігання та обмін енергоресурсів у межах енергетичної системи. Тобто лише за наявності приладів обліку може бути реалізована можливість розподілених енергоресурсів (їх виробників та споживачів) у роздрібному енергетичному ринку, без чого функціонування розумних енергосистем є неможливим.

Масштабне охоплення споживачів, виробників та посередників приладам інтелектуального обліку використання енергетичних ресурсів створює можливості для адаптивного регулювання потужності та відповідно призводить до економії електричної енергії, що використовується усіма групами споживачів: промисловими об'єктами, домогосподарства, об'єктами соціальної інфраструктури тощо.

«Майбутні розумні системи енергоменеджменту та енерговимірювання будуть розроблені таким чином, щоб мінімізувати витрати на закупівлю, максимізувати доходи та енергоефективність, зберігаючи при цьому прийнятний рівень комфорту клієнтів, і забезпечувати двосторонній потік енергії та інформації, що дозволить агентам розподілених енергоресурсів безпосередньо взаємодіяти з іншими ринковими агентами» [56].

6. Розумні навантаження. Одним із завдань, які мають бути вирішені у майбутньому є зниження навантаження на енергомережу. У другій половині ХХ столітті прогнозувалося, що зростання енергогенерації буде достатнім для задоволення потреб суспільства у повній мірі. Проте зростання кількості побутових пристроїв, збільшення їхньої потужності у поєднанні зі зростанням потужності промислового устаткування (сукупного) залишає не вирішеним питання скорочення навантаження на енергетичну мережу. Особливо проблемним питанням є пікові навантаження на систему, усунення яких можливе шляхом застосування розподіленої енергогенерації в розумних енергетичних мережах.

Окрім зазначених вище 6 пунктів важливим є питання інформаційної захищеності розумної енергетичної системи, а відповідно технічних пристроїв та технологій, які у них (пристроях) реалізовані.

Інформаційно-комунікаційні системи суттєво розширюють вимоги до енергосистеми та доповнюють її складовими, які раніше не були для неї типовими.



Для забезпечення якісно нового рівня обслуговування потреб енергомережі, як виробників енергії, так і споживачів необхідним є подальше зростання наступних технологій:

- енергетична on-line аналітика;
- віртуальний аудит. «Деякі енергокомпанії вивчають інновації, засновані на програмах зміни поведінки споживачів, в яких використовуються методи гейміфікації, тобто залучення користувача в певні дії, які дозволяють оперативно отримувати зворотний зв'язок і коригувати роботу самої компанії» [59];
- управління споживанням;
- штучний інтелект;
- блокчейн.

Значна кількість проектів з побудови розумної енергомережі у Європейському Союзі та інших провідних країнах дозволяє використати цей досвід для аналогічних цілей в Україні. Системна робота має проводитися в кожному з названих вище напрямків. Однак зважаючи на технічні відмінності енергомереж в Україні та ЄС, доцільно фокусуватися на тих інноваціях та перевірених практикою технологіях, що дозволяють сформувати необхідну інфраструктуру на базовому рівні, тобто першочерговим завданням є забезпечення масштабності використання облікових засобів. Але для подальшого прогресу у напрямку розбудови розумної енергомережі необхідним є вирішення законодавчих питань, що обмежують та ускладнюють процес приєднання до енергомережі об'єктів розподіленої енергогенерації, а також забезпечення стабільної та передбачуваної державної політики стимулювання розвитку розумних енергомереж, що сприятиме залученню інвестицій у галузь.

## ВИСНОВКИ

У дослідженні було здійснено аналіз наявної системи тепlopостачання міста Суми з метою визначення перспективи використання розумної енергомережі як невід'ємної складової системи централізованого теплозабезпечення. Оскільки сектор теплозабезпечення посідає вагоме місце у енергетичному господарстві країни, а відтак споживає значну частину енергетичних ресурсів, його оптимізація з використанням інноваційних та еколого безпечних технологій є перспективною. У дослідженні було встановлено, що фактичний стан системи теплозабезпечення міста характеризується ознаками фізичного та морального зношення енергетичного та комунікаційного обладнання та технологічно не відповідає сучасним вимогам до енергоефективності. Окрім того, перспективні плани, здійснення яких планується на основі нормативної документації, зокрема схеми тепломереж населеного пункту, не передбачають використання Smart Grid технологій для потреб теплозабезпечення міста. Оптимізацію тепломережі та системи теплогенерації пропонується досягати у рамках наявної системи централізованого тепlopостачання за рахунок модернізаційних заходів без принципової зміни моделі теплозабезпечення. Як наслідок, у найближчі роки не планується збільшення частки електричної енергії для теплогенерації з метою забезпечення побутових та промислових споживачів тепловою енергією. Збільшення обсягів виробництва електроенергії шляхом застосування технології когенерації також є сумнівним. Подібні тенденції характерні не лише для локальної системи теплозабезпечення м. Суми, а є типовими для більшості населених пунктів України. Таким чином, за результатами дослідження доцільно зробити аргументований висновок про обмеженість перспективи застосування Smart Grid технології у теплоенергетиці України за умови відсутності суттєвих зрушень у державній та регіональній

політиці сприянню розбудови розумної енергосистеми та неформованості ринкових механізмів стимулювання даного процесу.

Одним з результатів на даному етапі дослідження є здійснення системного аналізу напрямків розвитку розумної енергосистеми за кордоном, що дозволило визначити принципи розбудови розумних енергетичних мереж та ідентифікувати закономірності та вектори цього процесу. У результаті чого було встановлено укрупнений алгоритм процесу побудови розумної енергетичної мережі, що використовується у країнах Європейського Союзу та Сполучених Штатах Америки, та може бути використаний в Україні з внесенням відповідних коригувань. Окрім того, у ході дослідження було ідентифіковано драйвери (рушійні сили) інноваційного розвитку енергосистеми на основі застосування розумних енергетичних технологій та на основі системного аналізу світового досвіду державної та недержавної підтримки реформ енергетичної системи та результатів реалізації численних проектів у галузі розумних енергетичних технологій встановлено необхідність здійснення розбудови розумних енергетичних мереж поетапно, що дозволить максимально швидко створити необхідну інфраструктурну базу для інтенсифікації трансформування енергетичної системи України відповідно до сучасних вимог та забезпечить системність енергетичних реформ.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вакуленко І.А., Колосок С.І. Взаємозв'язок Smart Grids концепції з оновленням теплоенергетики України. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*, 2019. №1. С.14-18.

2. Нікітін Є., Дубовський С. Централізоване тепlopостачання : застаріла спадщина чи європейське майбутнє? URL: [https://dt.ua/energy\\_market/centralizovane-teplopostachannya-324748\\_.html](https://dt.ua/energy_market/centralizovane-teplopostachannya-324748_.html) (дата звернення 20.11.2019).

3. Проект USAID Муніципальна енергетична реформа в Україні. Розробка концепції впровадження конкуренції в централізованому тепlopостачанні України. 2016. URL: <https://saee.gov.ua/sites/default/files/kontseptsiya%20vprovadzhennya%20konkurentsiyi%20v%20tsentralizovanomu%20teplopostachanni%20ukrayiny.docx> (дата звернення 12.11.2019 р.).

4. Енерго- та екологоефективна схема тепlopостачання м. Суми на період 2019-2029 років (проект).

5. Про затвердження Методики формування, розрахунку та встановлення тарифів на електричну та (або) теплову енергію, що виробляється на теплоелектроцентралях, теплових електростанціях та когенераційних установках: Постанова № 991 від 01.08.2017 / Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: <https://www.zakon.cc/law/document/read/v0991874-17> (дата звернення 12.11.2019).

6. Schot J., Legendijk V. Technocratic Internationalism in the Interwar Years: Building Europe on Motorways and Electricity Networks. *Journal of Modern European History*, 6(2), 2008. P. 196-217.

7. Simões M. G., Roche R., Kyriakides E., Suryanarayanan S., Blunier B., McBee K. D., ... Miraoui A. A comparison of smart grid technologies and progresses in Europe and the US. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2012. 48(4). P. 1154-1162.

8. ENTSO-E (2019). ENTSO-E Member Companies. URL: <https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/members/> (дата звернення 20.11.2019).
9. Tröster E., Kuwahata R., Ackermann T. European grid study 2030/2050. Brussels/Langen, Study Commissioned by Greenpeace International, 2011. URL: <https://www.laka.org/docu/boeken/pdf/6-04-0-30-24.pdf> (дата звернення 05.11.2019).
10. Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні: монографія / за ред. С. І. Колосок. – Суми: Сумський державний університет, 2019. 109 с.
11. Marekha I. The European Union's Energy Policies on Smart Grids. Emergence of public development: financial and legal aspects: Collective monograph. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom, 2019. PP. 314-321.
12. Vasilyeva, T. A., & Kolosok, S. (Eds.). European energy collaboration: modern smart specialization strategies. Szczecin: Centre of Sociological Research, 2019. P. 159.
13. Вакуленко І.А., Колосок С.І. Типологізація «розумних» екологічнобезпечних енергетичних рішень, адаптованих до особливостей вітчизняних енергомереж. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка»*, 2019. №2. С.21-25.
14. Матвеева Ю.Т., Колосок С.І., Вакуленко І.А. Аналіз зарубіжного досвіду щодо забезпечення енергетичної ефективності на основі моделі Smart grid *Ефективна економіка*. 2019. №4. URL: [www.economy.nauka.com.ua](http://www.economy.nauka.com.ua) (дата звернення 20.11.2019).
15. Кацадзе Т. Л. Експертні системи прийняття рішень в енергетиці: книжка. Київ: ЛОГОС, 2014.173 с.
16. Денисюк С. П. Технологічні орієнтири реалізації концепції Smart Grid в електроенергетичних системах. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2014 р. Т. 1. С. 7-20.
17. Manfren M., Caputo P., Costa G. Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models. *Applied energy*, 2011. 4: Vol. 88. - PP. 1032-1048.

18. Матвєєва Ю.Т., Колосок С.І., Котюк Р.В. Синергетичний ефект розумних технологій в соціо-еколого-економічних системах енергетики. Міжнародна інтернет-конференція «Сучасний менеджмент і економічний розвиток». Суми, 2019. URL: <http://me.fem.sumdu.edu.ua/docs/d183.pdf> (дата звернення 20.11.2019).

19. Marekha I.S. Smart grid as a tool for prevention of energy crisis in the Europe an Union. Міжнародна науково-практична конференція «Стратегічні напрями зовнішньої політики Європейського Союзу». С. 272–275.

20. Elsevier B.V. Analyze search results, 2019. URL: <https://www.scopus.com/> (дата звернення 20.11.2019).

21. Edenhofer O., Lessmann K., Kemfert C., Grubb, M., & Köhler, J. Induced technological change: Exploring its implications for the economics of atmospheric stabilization: Synthesis report from the innovation modeling comparison project. *The Energy Journal*, 2006. 27. PP. 57-107.

22. Allen S. R., Hammond G. P., & McManus M. C. Prospects for and barriers to domestic micro-generation: A United Kingdom perspective. *Applied Energy*, 2008. 85(6). PP. 528-544.

23. Verbruggen A., Fishedick M., Moomaw W., Weir T., Nadaï A., Nilsson L., . . . Sathaye J. Renewable energy costs, potentials, barriers: Conceptual issues. *Energy policy*, 2010. 38(2). PP. 850-861. Bocken N. M., Short S. W., Rana P., Evans S. A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of cleaner production*, 2014. 65. PP. 42-56.

24. Fouquet R. The slow search for solutions: Lessons from historical energy transitions by sector and service. *Energy Policy*, 2010. 38(11). PP. 6586-6596.

25. Ghisetti C., & Rennings K. (2014). Environmental innovations and profitability: How does it pay to be green? An empirical analysis on the German innovation survey. *Journal of Cleaner production*, 2014. 75. 106-117.

26. Energy Efficiency. Bergen SmartCity. *Energy Efficiency*. URL: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00105/Bergen\\_SmartCity\\_105941a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00105/Bergen_SmartCity_105941a.pdf) (дата звернення 20.11.2019).

27. Shost M. Everest.innovation integrator. URL: <https://www.everest.ua/ai-platform/smart-city/smart-city-texnologii-rozumnogo-mista-i-ih-c> (дата звернення 20.11.2019).

28. Juniper Research. Smart cities – what’s in it for citizens? *Juniper Research*. URL: <https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2018/03/smart-cities-whats-in-it-for-citizens.pdf> (дата звернення 17.11.2019).

29. How do you let 40 households deal with renewable energy in a smart way? URL: <https://ict.eu/case/powermatching-city/> (дата звернення 17.11.2019).

30. Power Matching Sity. Transactive Smart Energy. URL: <http://flexiblepower.github.io/Power-Matching-City-succesfull/> (дата звернення 08.11.2019).

31. Neville, A. Boulder to be first “Smart Grid City”. *Power Business & Technology for the Global Generation Industry Since 1882*. URL: <https://www.powermag.com/boulder-to-be-first-smart-grid-city/?pagenum=2> (дата звернення 08.11.2019).

32. Goldsmith, M. Smart Grid, Smart City: the future of Australia’s electricity networks, 2014. URL: <https://utilitymagazine.com.au/smart-grid-smart-city-the-future-of-australias-electricity-networks/> (дата звернення 08.11.2019).

33. Smart Islands Projects. URL: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/athen/12860.pdf> (дата звернення 08.11.2019).

34. Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/3.-Smart-Grid.pdf> (дата звернення 08.11.2019).

35. Office of Electricity Announces Investment to Improve Grid Resilience and Reliability through Innovative R&D into the Internet of Things. URL: <https://www.energy.gov/oe/office-electricity> (дата звернення 08.11.2019).

36. “Grid 2030” – A National Vision for Electricity’s Second 100 Years. URL: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/Electric\\_Vision\\_Document.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/Electric_Vision_Document.pdf) (дата звернення 11.11.2019).

37. European Technology Platform (ETP) SmartGrids. URL: <https://www.edsoforsmartgrids.eu/policy/eu-steering-initiatives/smart-grids-european-technology-platform/> (дата звернення 11.11.2019).

38. Черемісін М.М., Черкашина В.В., Попадченко С.А. Особливості впровадження технологій smart grid в електроенергетичну галузь України // Scientific Journal «ScienceRise». 2015. №4/2(9). С. 27-31.

39. The National Energy Technology Laboratory: A vision for the Modern Grid. URL: [http://www.bpa.gov/energy/n/smart\\_grid/docs/Vision\\_for\\_theModernGrid\\_Final.pdf](http://www.bpa.gov/energy/n/smart_grid/docs/Vision_for_theModernGrid_Final.pdf) (дата звернення 08.11.2019).

40. Federal Energy Regulatory Commission Assessment of Demand Response & Advanced Metering. URL: <https://www.ferc.gov/legal/staff-reports/12-08-demand-response.pdf> (дата звернення 08.11.2019).

41. Smart Grid, Smart City: the future of Australia’s electricity networks. URL: <https://utilitymagazine.com.au/smart-grid-smart-city-the-future-of-australias-electricity-networks/> (дата звернення 11.11.2019).

42. Faizan A. Electrical. Challenges in Smart Grid Implementation: URL: <http://electricalacademia.com/electric-power/challenges-smart-grid-implementation/> (дата звернення 20.11.2019).

43. Розумні електромережі або що таке Smart Grid. URL: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/rozumni-elektromerezhi-abo-shcho-take-smart-grid> (дата звернення 11.11.2019).

44. Основні питання політики розвитку електроенергетичної галузі України: Аналітична доповідь / Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень. URL: [http://dp.niss.gov.ua/public/File/docs/Pitannya\\_Pol%В3tiki.pdf](http://dp.niss.gov.ua/public/File/docs/Pitannya_Pol%В3tiki.pdf)



45. Матвєєва Ю., Колосок С. Інновації та енергетична безпека: сучасні виклики України в регіоні Східного партнерства. The 10th Anniversary of the Eastern Partnership: Lessons Learnt, Current Challenges and Future Perspectives. Conference Proceedings. Kyiv, June 7, 2019. Ukrainian Association of Professors and Researchers of European Integration. Kyiv, 2019. P.115-118.

46. Вакуленко І.А., Сагер Л.Ю. Окремі питання планового розгортання "розумних" енергетичних мереж як інноваційної складової енергетичної політики України. Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Материалы международной научно-технической конференции. Одесса, 2019. С. 28-30.

47. Євдокимова Є.А., Петренко Н.О. Сучасні тенденції використання енергетики в ЄС. Міжнародна інтернет-конференція «Сучасний менеджмент і економічний розвиток». Суми, 2019. С. 36-38.

48. Bevini, F. Italy - Smart Grid Technologies. *Italy Country Commercial Guide*. URL: <https://www.export.gov/article?id=Italy-Smart-Grid-Technologies> (дата звернення 11.11.2019).

49. Towards the smart grids of the future. URL: "Active Demand": <http://www.addressfp7.org/> (дата звернення 11.11.2019).

50. ENEL Telegestore Project is on track. URL: <https://www.smart-energy.com/regional-news/europe-uk/enel-telegestore-project-is-on-track/> (дата звернення 15.11.2019).

51. Crisp, distributed intelligence in critical infrastructure for sustainable power (CRISP). URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/64903/factsheet/en> (дата звернення 15.11.2019).

52. E-DeMa. *European Commission JRC Smart Electricity Systems and Interoperability*. URL: <https://ses.jrc.ec.europa.eu/e-dema> (дата звернення 15.11.2019).

53. Kappagantu R., Arul Daniel S. Challenges and issues of smart grid implementation: A case of Indian scenario. *Journal of Electrical Systems and Information*

*Technology*, 2018. 5. 3. PP. 453-467 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2314717218300175> (дата звернення 15.11.2019).

54. Challenges in Implementing Smart Grid Technologies in Africa. URL: [https://www.esi-africa.com/wp-content/uploads/i/p/Komla-Folly\\_SmartGrid.pdf](https://www.esi-africa.com/wp-content/uploads/i/p/Komla-Folly_SmartGrid.pdf) (дата звернення 15.11.2019).

55. Do Prado J. C., Qiao W., Qu L., Agüero J. R. The Next-Generation Retail Electricity Market in the Context of Distributed Energy Resources: Vision and Integrating Framework. *Energies*, 2019. 12(3), P. 491. URL: [https://www.researchgate.net/publication/330890414\\_The\\_Next-Generation\\_Retail\\_Electricity\\_Market\\_in\\_the\\_Context\\_of\\_Distributed\\_Energy\\_Resources\\_Vision\\_and\\_Integrating\\_Framework](https://www.researchgate.net/publication/330890414_The_Next-Generation_Retail_Electricity_Market_in_the_Context_of_Distributed_Energy_Resources_Vision_and_Integrating_Framework) (дата звернення 18.11.2019).

56. Шість інновацій розподільчої мережі майбутнього URL: <https://vsenergy.com.ua/categories-page/shist-innovacij-rozpodilchoi-merezhi-majbutnogo/> (дата звернення 18.11.2019).

57. Про ринок електроенергії: Закон України № 2019-VIII від 13.04.2017 р. / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/38583> (дата звернення 18.11.2019).

58. Розподілене виробництво енергії переваги та можливості для кожного українця. URL: <https://ecoaction.org.ua/rozpodilene-vyrobnyctvo-energii.html> (дата звернення 18.11.2019).

59. П'ять технологій, які змінять сервіси енергопостачальних компаній. URL: <https://vsenergy.com.ua/categories-page/p-jat-tehnologij-jaki-zminjat-servisi-energorostachalnih-kompanij/> (дата звернення 18.11.2019).