

ISBN 978-83-66216-78-5

Касаткіна І.В., Бойко С.М., Жуков О.А.

# ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Навчальний посібник

 iScience

Варшава, Польща - 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Касаткіна І.В., Бойко С.М., Жуков О.А.**

# **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

Навчальний посібник

**Варшава-2023**

**УДК 621.31**

*Рекомендовано до друку вченою радою Криворізького національного університету 28 лютого 2023р. (протокол № 9)*

**Рецензенти:**

**Розен В.П.**, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (м. Київ)

**Юрченко О.М.**, доктор техн. наук, професор, Інститут електродинаміки НАН України (м. Київ)

**І.В. Касаткіна, С.М. Бойко, О.А. Жуков.**

Інтелектуальні системи електропостачання. Навчальний посібник / І.В. Касаткіна, С.М. Бойко, О.А. Жуков – 2023. – 151 с.

У навчальному посібнику викладено основні питання щодо інтелектуальних систем електропостачання, особливостей їх побудови та експлуатації. Значний обсяг матеріалу присвячено екологічним аспектам функціонування сучасних енергетичних об'єктів та перспективним напрям зменшення впливу на екологію енергетичної галузі.

Навчальний посібник є логічним продовженням ряду навчальних посібників авторів та містить їх нові наукові розробки.

Рекомендовано для фахівців, аспірантів та студентів за напрямком 141 – «Енергетика, електротехніка та електромеханіка» та інших споріднених спеціальностей при вивченні дисциплін «Інтелектуальні системи електропостачання», «Системи автоматичного керування» та інших.

**ISBN 978-83-66216-78-5**

© І.В. Касаткіна, С.М. Бойко,  
О.А. Жуков 2023

© iScience Sp. z o. o.

## ЗМІСТ:

<b>ВСТУП</b> .....	
<b>Розділ 1 Інтелектуалізація – новий вимір технологічного прогресу</b> .....	
1.1 Інтелектуалізація систем .....	
1.2 Штучний інтелект як основа інтелектуалізації .....	
1.3 Застосування штучного інтелекту в енергетиці .....	
1.4 Штучний інтелект – пріоритетний напрям розвитку енергетики .....	
1.5 Формування інтелектуальної платформи керування енергетичними системами .....	
Контрольні питання до розділу 1 .....	
<b>Розділ 2 Світовий досвід та перспективи розбудови розумних мереж в Україні</b> .....	
2.1 Світова практика розвитку інтелектуальних мереж .....	
2.2 Європейська модель впровадження розумних енергетичних технологій .....	
2.3 Перспективи розвитку інтелектуальних електричних мереж в Україні .....	
Контрольні питання до розділу 2 .....	
<b>Розділ 3 Організації технології Smart Grid в енергетичних системах</b> .....	
3.1 Оцінка кібербезпеки Smart Grid систем .....	
3.2 Забезпечення інформаційної безпеки Smart Grid систем .....	
3.3 Моніторингу електричної мережі в закордонних країнах та в Україні .....	
3.4 Нормативно-технічна база впровадження інтелектуальних енергетичних систем на основі технологій Smart Grid .....	
3.5 Стандарт МЕК 61850 «Комунікаційні мережі і системи підстанцій» .....	
Контрольні питання до розділу 3 .....	
<b>Розділ 4 Інтелектуальна платформа керування енергетичними системами та мережами</b> .....	
4.1. Системи керування потоками енергії .....	
4.2 Керування розподілом електроенергії .....	
Контрольні питання до розділу 4 .....	
<b>Розділ 5 Smart Grid технології інтелектуальних систем електропостачання</b> .....	
5.1 Алгоритм вибору обладнання на базі концепції SmartGrid .....	
5.2 Особливості схемних рішень у разі використання вітроенергетичних станцій в умовах підприємств .....	
Контрольні питання до розділу 5 .....	

<b>Розділ 6 Системна інженерна екологізація виробництва як інноваційний процес сталого розвитку та адаптації до зміни клімату</b> .....	
6.1 Характеристика сучасної екології .....	
6.2 Загальні поняття та визначення екології інженерії .....	
6.3 Інноваційна сутність системної інженерної екологізації .....	
6.4 Керівні глобальні принципи, засади інженерної екологізації виробництва .....	
6.5 Екологічна інженерія Глобальної промислової революції (Індустрія 4.0) .....	
6.6 Зміна моделей технологічних укладів сталого розвитку .....	
6.7 Базовий технологічний блокчейн екологізації виробництва – життєвий цикл продукції .....	
Контрольні питання до розділу 6 .....	
<b>Розділ 7 Інженерна екологізація як інноваційний процес сталого розвитку енергетичної інфраструктури</b> .....	
7.1 Синергетична модель екологічно чистого підприємства .....	
7.2 Практичні рекомендації щодо створення інтегрованої системи екологічного менеджменту та екологічної інженерії на прикладі підприємств переробного виробництва .....	
7.3 Базові інноваційні стратегії сталого розвитку екологічно чистого підприємства .....	
Контрольні питання до розділу 7 .....	
<b>Список використаної та рекомендованої літератури</b> .....	

## ВСТУП

Сьогодні як ніколи гостро стоять питання економії енергетичних і паливних ресурсів, а також захисту довкілля. Для успішної роботи інженерам–електротехнікам слід уміти правильно аналізувати умови по можливості використовувати енергозбережні технології, до яких відноситься також використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії. А для цього необхідно мати теоретичну базу і знати типові методики розрахунків [1].

Розробка та впровадження інтелектуальних систем на базі концепції SmartGrid, в даний час стає досить актуальним та може бути реалізоване в наш час. Інтелектуальна система на базі концепції Smart Grid на сьогоднішній день стрімко розвивається та впроваджується в як для підприємствах так і для звичайного споживача [1].

Існуючі на даним момент енергосистеми побудовані за схемою централізованого енергопостачання, що припускає використання високої напруги і створення великомасштабних енергомереж. У мережах такого типу локальні збої можуть мати колосальний вплив на всю енергосистему і часто приводить до масштабних відключень живлення. З точки зору надійності функціонування такої мережі в умовах дефіциту потужності і високих вимог з боку споживача така схема є вкрай вразливою, оскільки не може оперативним виявляти проблеми і реагувати на них на рівні споживачів [2].

Однак в даний час електроенергетичні системи в багатьох країнах поліпшуються і розвиваються на основі концепції глибокої інтеграції електроенергетичних і інфокомунікаційних мереж Smart Grid. Таким чином, енергомережі знаходять можливість аналізу стану всієї системи в реальному часі, прогнозування процесів в ній, інтерактивної взаємодії з клієнтами та управління обладнанням. Саме через глибоку інтеграцію електроенергетичної та інфокомунікаційної мережі інтелектуальні мережі стають куди більш уразливі до атак, ніж традиційні. З огляду на те, що енергомережу є ядром енергосистеми, що забезпечує життєдіяльність і безпеку населення, необхідно забезпечити мережі якісний захист.

## РОЗДІЛ 1 ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ – НОВИЙ ВИМІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОГРЕСУ

### 1.1 Інтелектуалізація систем

З початком XXI століття набула поширення концепція постіндустріального суспільства, що отримало назву *інформаційного суспільства*, як нової історичної фази розвитку цивілізації, в якій головними продуктами виробництва є інформація і знання. Цей щабель в піднесенні сучасної цивілізації характеризується збільшенням ролі інформації і знань в житті суспільства, зростанням долі інфокомунікацій, інформаційних продуктів і послуг у валовому внутрішньому продукті, створенням глобального інформаційного простору [3].

Оці тенденції, що диктували необхідність знаходження механізмів «трансформації» інформації в знання й використання цього знання як ресурсу для підтримки прийняття управлінських рішень, в сфері автоматизованих інформаційних систем знайшли відображення в процесах *інтелектуалізації* систем й інформаційних технологій [4].

Нові виклики інформаційного суспільства пов'язані з електронним веденням бізнесу, впровадженням технологій електронного урядування, коли обмін документами та повідомленнями відбувається в електронній формі.

Таким чином, майбутня цифрова спільнота буде пов'язаною з інтелектуалізацією економіки та технологій, де поряд з проблемою управління інформацією буде вирішуватись і проблема «керування знаннями» (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Інтелектуалізація систем й інформаційних технологій

Що ж таке інтелектуалізація інформаційних систем? Щоб відповісти на це запитання треба з'ясувати, у чому полягають особливості традиційних АІС. Будь-яка комп'ютерна інформаційна система зазвичай реалізує **інформаційний процес**, виконуючи наступні функції: сприймає інформаційні запити розв'язання задачі (1) і необхідні початкові дані, обробляє запити і дані (2), що зберігаються в системі, у відповідності з відомим алгоритмом і формує необхідну вихідну інформацію (3) (рис. 1.2) [5].

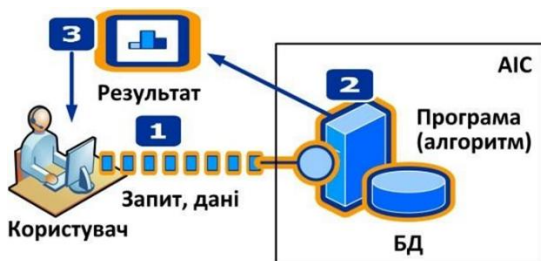


Рисунок 1.2 – Інформаційний процес, що реалізується комп'ютерною системою

У цьому процесі обробляється знання про предметну область. Це знання має двояку природу. Відомості про об'єкти предметної області, що накопичуються в звичайній базі даних, представляють так зване *фактуальне знання*. Залежності і відношення між об'єктами предметної області, які дозволяють інтерпретувати відомості (факти) з БД або витягати з них інформацію, відображають *операційне знання*. Операційне знання представляється в алгоритмічній формі як правила перетворення даних (у вигляді програми, що виконується комп'ютером).

Така схема організації інформаційного процесу має суттєві недоліки. У разі виникнення змін в предметній області (а це відбувається постійно) фактуальні знання ще можна внести в систему шляхом актуалізації БД. А операційне знання скорегувати дуже важко (фактично треба переписувати програму, що оперативно зробити неможливо).

Водночас для формулювання запиту користувач має ясно уявляти собі структуру БД і до певної міри алгоритм розв'язання задачі. Отже, користувач повинен досить добре бути обізнаним не лише в проблемній області, а й в логічній структурі БД і алгоритмі програми, що висуває додаткові вимоги до користувача. У випадку багатокористувачевої системи ця проблема взагалі є нерозв'язаною [6].



Таким чином, вказані загальні недоліки традиційних інформаційних систем полягають в слабкій адаптивності до змін в предметній області та інформаційних потреб користувачів, в неможливості розв'язувати задачі, що погано формалізуються, з якими управлінські працівники постійно мають справу.

Перераховані недоліки усуваються в інтелектуальних інформаційних системах завдяки виділенню операційного знання з програми у так звану *базу знань*, яка в декларативній формі зберігає загальні для різних задач одиниці знань (правила). При цьому структура, що цим управляє, набуває характеру універсального механізму розв'язання задач (*машина висновку*), який зв'язує одиниці знань у виконуваних ланцюжки (генеровані алгоритми) залежно від конкретної постановки задачі (сформульованої в запиті мети і початкових умов).

Внаслідок цього такі ІНС отримали назву систем, основаних на знаннях. Нарешті, такі засоби дозволяють організувати діалог з користувачем на мові, наближеної до природньої та сприймати заздалегідь неформалізовані запити (*природно-мовний інтерфейс*, ПМІ). Таким чином інформаційний процес в інтелектуальних системах трансформується до виду, наведеному на рис. 1.3 [7].

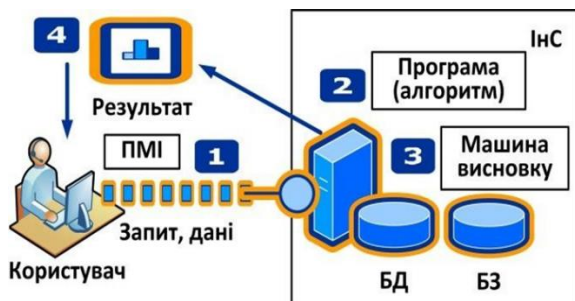


Рисунок 1.3 – Інформаційний процес, що реалізується інтелектуальною системою

Отже, можна навести такі ознаки інтелектуальних систем [8]:

- підвищення «грамотності», або «освіченості» системи за рахунок накопичення знань;
- можливість подавати та використовувати знання про знання (метазнання);
- вміння розв'язувати складні задачі, що важко формалізуються;

- можливість опрацювання неточних, неясних, невизначених знань;
- адаптивність, тобто здібності розвитку та пристосування;
- можливість отримання нових знань з тих, що є в наявності (властивість самонавчання);
- комунікативність, пов'язана з можливістю формулювання користувачем довільних запитів до системи на мові, максимально наближеної до природної.

В наш час процеси інтелектуалізації інформаційних систем знаходять вираз у створенні найрізноманітніших систем і технологій, орієнтовну класифікацію яких наведено на рис. 1.4. Загальним в них є те, що вони є комплексом програмних, лінгвістичних і логіко-математичних засобів для реалізації основного завдання: забезпечення підтримки розумової діяльності людини, зокрема в сфері підтримки прийняття рішень, інформування і консультування.

Важливим напрямком є й сфери імітації інших властивостей людини, що знаходить вираз у створенні роботів.



Рисунок 1.4 – Класифікація інтелектуальних систем (САМР – системи автоматизації проектування, САНД – системи автоматизації наукових)

Зрозуміло, що усі переваги перелічити майже неможливо, адже загальна ефективність інформаційної системи визначається ступенем відповідності її складових виконанню системою свого призначення (функцій) згідно із критерієм мети. А в кожній системі, як правило, свій перелік функцій і власне визначення мети, які залежать від галузі застосування та вимог конкретних користувачів [10].

## 1.2 Штучний інтелект як основа інтелектуалізації

У чому ж основа засобів інтелектуалізації комп'ютерних систем? Її пов'язують з відносно новим науковим напрямком – теорією **штучного інтелекту**. Термін *artificial intelligence* (AI), що в нашому перекладі й означає «штучний інтелект» (ШІ), вперше був запропонований 1956 року Джоном Мак-Карті (John McCarthy) [11].

Отже, штучний інтелект (ШІ) є відносно новою технологією широкого застосування цифрових технологій, зокрема, алгоритмів обробки великих масивів даних для удосконалення процесів забезпечення різних аспектів життєдіяльності суспільств. Тому застосування цієї технології досі не стандартизовано, понад те, досі немає чіткого визначення терміну «штучний інтелект», триває вивчення можливостей його застосування в різних сферах [12].

Визначення ШІ у законодавстві України міститься, зокрема, у схваленій Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні (грудень 2020 року) [12], де ШІ це: «організована сукупність інформаційних технологій, із застосуванням якої можливо виконувати складні комплексні завдання шляхом використання системи наукових методів досліджень і алгоритмів обробки інформації, отриманої або самостійно створеної під час роботи, а також створювати та використовувати власні бази знань, моделі прийняття рішень, алгоритми роботи з інформацією та визначати способи досягнення поставлених завдань».

Єврокомісія у своїх пропозиціях щодо пріоритетних напрямів розвитку ШІ дає таке трактування: «ШІ відноситься до систем, які демонструють розумну поведінку, аналізуючи навколишнє середовище та виконуючи дії, – з певним ступенем автономії – для досягнення конкретних цілей. Системи на основі ШІ можуть бути суто програмними, діяти у віртуальному світі (наприклад, голосові помічники, програмне забезпечення для аналізу зображень, пошукові системи, системи розпізнавання мовлення та обличчя) або ШІ може бути вбудовано в апаратні пристрої (наприклад, просунуті роботи, автономні автомобілі, дрони або програми Інтернету речей) [13].

Одне із найбільш системних визначень ШІ запропоноване в аналізі застосування ШІ, проведеному ОБСЄ [14]: «Система штучного інтелекту є системою, яка може для певного набору визначених людиною цілей робити прогнози, рекомендації або рішення, що впливають на реальне чи віртуальне середовище».

Ці визначення дозволяють усвідомити той комплекс можливостей та проблем, що виникають у зв'язку із застосуванням ШІ. Хоча можливі сфери та способи застосування цієї технології можуть

бути найрізноманітніші, все ж їх можна класифікувати для спрощення подальшого аналізу можливості застосування ІІІ на практиці.

При застосуванні ІІІ вирізняються ряд відмінних за задачами варіантів використання (шаблонів), що можуть співіснувати паралельно в рамках однієї системи ІІІ, а саме [15] :

**Персоналізація** – це алгоритми створення «профілю клієнта» (цілових характеристик), який потім може використовуватись для цільового (target) звернення до потреб клієнта відповідно до його потреб (визначених характеристик). Результатом, наприклад у сфері продажу товарів/послуг, зазвичай є рейтинг, на основі якого розробляються системи рекомендацій щодо перегляду інформації, вибору товару при купівлі, здійснення фінансових операцій, виконання персоналізованого набору фізичних вправ тощо [16].

**Взаємодія та спілкування** – це алгоритми забезпечення взаємодії та обміну інформацією між машинами і людьми за допомогою різних методів, у тому числі голосових, текстових, відео- чи графічних форм. Результати представляються у формі чат-ботів, голосових помічників, моделей аналізу настроїв і намірів тощо.

**Виявлення шаблонів і аномалій** – це алгоритми визначення закономірностей в даних та їх порівняння із відомими шаблонами, щоб оцінити, чи відповідають вони наявному шаблону, чи спостерігаються відхилення або ж аномалії. Використовують машинне навчання (machine learning) для виявлення таких наборів даних. Застосовується, наприклад, для виявлення шахрайства, людських помилок тощо [17].

**Розпізнавання** – це алгоритми, що використовують машинне навчання та інші когнітивні підходи для виявлення та визначення необхідного об'єкта або даних (інформації) у вигляді зображення, відео, аудіо, тексту чи іншому форматі неструктурованих даних з наступною класифікацією таких даних [18].

**Досягнення цілей** – це алгоритми, орієнтовані на досягнення цілей (goal-oriented system) шляхом використання машинного навчання та інших когнітивних підходів комп'ютерних систем. Такі алгоритми надають можливість знайти оптимальне рішення проблеми, яке може бути досягнене шляхом ітераційного процесу навчання шляхом проб і помилок. Передбачається, що для алгоритму задається функція вартості щодо якої здійснюється оцінка рішення. Реалізується в іграх, при задачах оптимізації ресурсів/логістики, ітераційного вирішення проблем, торгах та аукціонах в реальному часі, моделюванні сценаріїв.

**Прогнозування та підтримка прийняття рішень** – це алгоритми обробки інформації, що включають описову аналітику, прогнозну та проєктивну аналітику, прогнозування майбутніх значень

для даних, прогнозування поведінки населення, визначення та вибір найкращого підходу, оптимізацію діяльності тощо. Прогнозування зазвичай використовує дані про минулі та існуючі поведінки, щоб передбачати майбутні результати, як правило, щоб допомогти людині приймати рішення [19].

Вищенаведені варіанти використання можуть застосовуватись окремо або поєднуватись для вирішення окремих завдань у автоматизовані системи ШІ.

**Автономні системи** – це фізичні та віртуальні програмно-апаратні системи, які здатні виконувати завдання, взаємодіяти з оточенням і досягати мети з різним ступенем участі людини. Зокрема відрізняють доповнювальний інтелект (augmented intelligence), де реалізується спільна робота людей і машин і людина включена в цикл прийняття рішення, та автономний інтелект (autonomous intelligence), де людина не включається в цикл роботи системи з обробки інформації та прийняття рішення. У загальному випадку, розрізняють чотири варіації ступеня автономності системи ШІ [19]:

- Відсутність автономності (також відома як «людська підтримка» (human support): система не може діяти відповідно до своїх власних рекомендацій чи результатів обробки інформації. Людина приймає рішення, при цьому за бажанням використовує або нехтує рекомендаціями або результатами роботи системи ШІ.

- Автономність низького рівня (відома як «людина-в-петлі прийняття рішень» (human-in-the-loop): система оцінює вхідні дані та діє відповідно до своїх рекомендацій або результатів, якщо людина погоджується.

- Автономність середнього рівня (відома як «людина-на-петлі» (human-on-the-loop): система оцінює вхідні дані та діє відповідно до своїх рекомендацій чи результатів, якщо людина не накладає вето.

- Автономність високого рівня (відома як «людина-поза-петлею» (human-out-of-the-loop): система оцінює вхідні дані та діє відповідно до своїх рекомендацій чи результатів без участі людини.

Для адекватної та ефективної роботи систем ШІ, необхідні **значні обсяги інформації**, класифіковані у зручній, для використання формі. Відповідні бази даних (**Big data**) формуються різними способами як самими машинами, так і людьми і поділяються на [20]:

- бази даних, зібрані людьми – формуються, коли людині необхідно спостерігати та збирати інформацію, яка вимагає суб'єктивного оцінювання, зокрема, коли об'єкт дослідження не описаний формалізованими моделями (наприклад, психічний стан

людини) чи коли є часткова формалізація, але певні етапи обчислювального процесу виконуються людьми.

- бази даних, які збираються автоматизованими датчиками, – пристрої, які автоматично відстежують і записують дані, включають камери, мікрофони, термометри, лабораторні прилади та інші датчики, такі як пристрої Інтернету речей (Internet of Things (IoT)), а також здійснюють автоматичний запис інформації з онлайн-ресурсів, мобільних телефонів, GPS-пристроїв, браслетів для активності тощо.

- бази даних, зібрані людьми та автоматизованими датчиками – деякі дані збираються людьми разом із автоматизованими інструментами.

Системи ШІ з підтримки взаємодії можуть вплинути на конфіденційність використання даних, що потребує більшої прозорості та розкриття алгоритмів обробки інформації при взаємодії з чат-ботом. Системи орієнтовані на досягнення цілей можуть вчитися у себе шляхом проб і помилок, однак їх потреби в даних можуть зростати експоненційно. Крім того, коли специфікація цілі визначена неточно, ці системи можуть відхилятися від запланованої поведінки [21].

Вищенаведені шаблони застосування ШІ, способи отримання та обробки інформації можуть бути застосовані і у сфері енергетики.

### ***1.3 Штучний інтелект – пріоритетний напрям розвитку енергетики***

У світі відбулися значні зміни щодо стратегії розвитку енергетики. Був визначений комплекс завдань для різних країн з побудови енергетичних стратегій ХХІ ст. Головний наголос зроблено на забезпеченні нерозривності та узгодженості дій при забезпеченні трьох складових: енергозабезпечення (безперебійне постачання електричною енергією відповідної якості), енергодоступність (енергоощадність та доступна ціна на електроенергію) та енергоприйнятність (мінімальний вплив на навколишнє середовище). Ці складові розглядаються як основа для досягнення глобальної мети – забезпечення стабільного розвитку, що гарантує сталі зростання економіки, рівня життя населення, захист навколишнього природного середовища [22].

ШІ є інструментом успішної трансформації енергетичного сектора, оскільки дозволяє інтегрувати новітні та перспективні технологічні новації в енергетиці та обумовлені ними зміни в організації функціонування систем енергозабезпечення

(децентралізація виробництва та розподілення енергії та електрифікації різноманітних технологічних процесів).

Децентралізація зумовлена збільшенням розгортання малих розподілених географічно генеруючих потужностей, наприклад таких як сонячні та вітрові електростанції, які підключаються до локальної розподільчої мережі. Електрифікація транспорту та будівель (опалення та охолодження), побутового споживання, включає в себе велику кількість нових навантажень, таких як електротранспорт, теплові насоси та електричні котли, побутові роботи тощо. Усі ці нові активи на боці попиту та пропозиції ускладнюють енергетичний сектор, водночас роблячи застосування ІІІ для моніторингу, управління та контролю вирішальним чинником успіху енергетичної трансформації [23].

Технології ІІІ можуть підтримувати функціонування систем енергозабезпечення, з урахуванням існуючих тенденцій технологічного розвитку та трансформації моделей організації роботи енергетичних ринків кількома способами, включаючи кращий моніторинг, експлуатацію та обслуговування активів енергетики; досконаліші системні операції та контроль у реальному часі; впровадження нових моделей енергетичних ринків та бізнес-моделей тощо.

Таблиця 1.1 –Технологічний розвиток та трансформація моделей організації роботи енергетичних ринків [24]

Новітні технології	Бізнес-моделі	Дизайн ринку	Особливості роботи системного оператора
Перетворення відновлюваної енергії в інші форми енергії: у тепло ( <i>power-to-heat</i> ), у газ ( <i>power-to-hydrogen/methane</i> 36)	Агрегатори, наприклад віртуальні електростанції ( <i>Virtual power plants - VPPs</i> )	Скорочення періодичності фіксації значень ( <i>time granularity</i> ) даних щодо трансакцій на ринку (деталізація даних у часі)	Майбутня роль оператора системи розподілу
Перетворення відновлюваної енергії у «накопичену енергію» ( <i>power-to-power</i> ) для зміщення	Пірингова торгівля ( <i>peer-to-peer (P2P)</i> )	Збільшення деталізації даних у просторі ( <i>space granularity</i> ) щодо трансакцій на ринку	Співпраця між операторами систем передачі та розподілу

поточного профіциту енергії у періоду дефіциту енергії			
Акумуляторні батареї на стороні споживача (за лічильником)	Енергія як послуга ( <i>Energy-as-a-service - EaaS</i> )	Інноваційні рішення ринку допоміжних послуг	Віртуальні повітряні лінії
Акумуляторні батареї промислового рівня	Моделі оплати у міру використання ( <i>Pay-as-you-go - PAYG</i> )	Переформатування ринку потужності	Удосконалене прогнозування генерації ВДЕ
Розумні зарядки електромобіля	Моделі власності громад (енергетичні кооперативи)	Ринкова інтеграція децентралізованих енергетичних систем ( <i>distributed energy resources</i> )	Інноваційна робота гідроакмулюючих насосних станцій
Розумне обладнання ( <i>Internet of Things</i> )	Регіональні/локальні ринки	Зміна пропускнуої спроможності ліній ( <i>Dynamic line rating - DLR</i> )	
III та великі бази даних ( <i>Artificial intelligence and big data</i> )	Чистий розрахунок ( <i>Net billing schemes</i> )	Віртуальні лінії передачі ( <i>Virtual power lines - VPLs</i> )	
Блокчейн ( <i>Blockchain</i> )		Багатозонні тарифи ( <i>Time-of-use tariffs</i> )	
Мікромережі ВДЕ			
Розумні мережі ( <i>Smart Grids</i> )			

Безумовно, самотійно жодна окрема технологія не є вирішенням всіх проблем, проте як частину сукупного інструментарію III створюють якісну технологічну зміну, що дозволяє справлятися із викликами функціонування все більш складних енергетичних систем.

Здійснення енергетичного переходу, розширення використання ВДЕ, підвищення гнучкості енергетичних систем та попиту на енергію



потребує значних інвестицій у модернізацію енергетичної інфраструктури. Бізнес-моделі, базовані на використанні цифрових технологій, уможливають цю модернізацію дешевшими та ефективнішими способами.

Для оцінки рівня «інтелектуалізації» енергетики у світі став загальноживаним термін Smart Grid. За найбільш поширеним трактуванням Smart Grid – концепція повністю інтегрованої, саморегулюючої і самовідновлюваної електроенергетичної системи, що має мережеву топологію і включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі типи споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем в режимі реального часу. Так, в США концепції Smart Grid відводиться роль революційної ініціативи, яка дає енергетиці «друге дихання» і стимулює економічний розвиток [25].

Концепція Smart Grid в країнах ЄС розглядається як ідеологія загальноєвропейської програми розвитку електроенергетики, база інноваційної модернізації та перетворення електроенергетики, основа побудови «Європейської електричної мережі майбутнього».

Сьогодні зворот «інтелектуальна енергетика» стає терміном, що позначає нові принципи роботи енергетики, як в Україні, так і за кордоном. Сучасні електронні, інформаційні, телекомунікаційні, обчислювальні технології вдосконалюють процеси енерговиробництва та керування енергетичними потоками на підприємствах, роблять їх надійними, безпечними і ефективними, наділяють споживача новими можливостями.

Виникла нагальна необхідність у розробці нових підходів до керування зростаючими та різноплановими за інтенсивністю і напрямками потоками паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), що дозволяє безпечно та ефективно їх використовувати в існуючих і майбутніх енергетичних системах, зокрема, необхідно відзначити актуальність розробки положень концепції Smart Grid та її адаптації до українських реалій [26].

В основу реалізації такої концепції мають бути покладені наступні принципові позиції [27]:

- енергетика є інфраструктурною базою розвитку економіки, в якій зацікавлені всі інститути: держава, бізнес, наука, населення; товари та послуги, вироблені в енергетичному секторі, мають високий рівень суспільної значущості і практично не мають заміників.

- оптимізація якості та ефективності використання всіх видів ресурсів (паливних, технічних, управлінських, інформаційних тощо) і енергетичних активів;

- у сучасному і майбутньому суспільстві енергія розглядається як джерело (інструмент або засіб), що забезпечує отримання людиною та суспільством певних споживчих цінностей (життєвих благ, рівня комфорту тощо);

- визначаючи для себе такий набір, рівень і характеристики цих цінностей, споживач (з урахуванням його особливостей) не повинен отримувати обмеження з боку енергетики, вибираючи, де йому жити, якими приладами та послугами користуватися, здійснювати свою діяльність і т.ін.;

- задоволення потреби в електричній енергії суспільства у XXI ст. має здійснюватися при одночасному істотному зниженні тиску на екологію планети.

У рамках концепції Smart Grid інтелектуальна електроенергетична система розглядається як єдина мережа інформаційно-керуючих систем, що забезпечує:

- інтеграцію всіх видів генерації (у тому числі малої генерації) і будь-які типи споживачів (від домашніх господарств до великої промисловості) для ситуаційного керування попитом на їхні послуги та забезпечення активної їх участі у роботі енергосистеми;

- зміну в режимі реального часу параметрів і топології мережі за поточними режимними умовами, виключаючи виникнення та розвиток аварій;

- розширення ринкових можливостей інфраструктури шляхом взаємного надання широкого спектру послуг суб'єктами ринку та інфраструктурою;

- мінімізацію втрат, розширення самодіагностики і самовідновлення при дотриманні умов надійності та якості електроенергії;

- інтеграцію електромережевої та інформаційної інфраструктури для створення всережимної системи керування з повномасштабним інформаційним забезпеченням.

На сучасному етапі сталого розвитку енергетики технічні засоби Smart Grid відіграють вирішальну роль у реалізації положень концепції Smart Grid. Перспективні технічні засоби можна розділити на наступні основні групи [29]:

- інтелектуальні давачі інформації, контрольно-вимірні засоби, прилади обліку та контролю;

- системи збору та передачі даних, що містять розподілені інтелектуальні пристрої та аналітичні інструменти для підтримки комунікацій на рівні об'єктів енергосистеми, які працюють в режимі реального часу;

- інтелектуальні системи прогнозування, підтримки та прийняття рішень інтелектуальні адаптивні системи захисту та автоматики з функцією автоматичного відновлення живлення;
- вдосконалені технології та активні силові компоненти електричної мережі;
- інтегровані системи інформаційного обміну [27].

#### ***1.4 Формування інтелектуальної платформи керування енергетичними системами***

Нові джерела енергії і необхідність покращення контролю за станом мереж призводять до необхідності формувати клієнтоорієнтовані енергетичні мережі, що має базуватися на такому явищі як дигіталізація [7-10]. Так, електромережеві компанії сьогодні стикаються з серйозними змінами в операційній роботі, що викликано стрімким зростанням числа розосереджених джерел енергії (Distributed energy resources, DER), таких як сонячні фотоелектричні панелі, накопичувачі енергії, електромобілі і підключені до мережі домашні пристрої [1, 10-16]. Ще однією причиною змін енергетичної інфраструктури є проблеми старіння і зносу мережевого господарства.

Дигіталізацію визначають важливою частиною архітектури четвертої промислової революції «Індустрії 4.0» (*нім.* – Industrie 4.0, *англ.* – Industry 4.0) [7-10]. Частиною цифрової економіки безумовно є цифрова енергетика. Очевидно, що в розумінні «цифрова енергетика» дигіталізація не тотожна автоматизації, не означає лише можливість оперувати великою кількістю даних. Більшість досліджень визначають дигіталізацію в енергетиці як новий формат комплексного керування роботою електроенергетичних систем, що забезпечує векторну оптимізацію технологічних і бізнес-процесів для досягнення цільового стану електроенергетики, реалізацію нових технологій економічної взаємодії суб'єктів галузі. При цьому актуальною постає задача інтеграція бізнес-додатків і технологічних інформаційно-комунікаційних систем, що дозволяє [1-3, 6, 17, 18]:

- 1) підвищити надійність мереж та якість обслуговування споживачів;
- 2) оптимізувати інвестиції в розвиток електричних мереж та підвищити віддачу від інвестиційних проєктів за рахунок планування перспективного розвитку мережі з урахуванням;
- 3) оперативного формувати управлінську звітність у будь-якому розрізі на основі даних як бізнес-додатків, так і технологічних інформаційних систем, зокрема, оцінка ефективності інвестицій у нове

обладнання та капітальне будівництво, у тому числі на основі зіставлення витрат (дані з бізнес-додатків) і кількісних індексів CAIDI, SAIDI, CAIFI, SAIFI тощо.

Як наслідок, побудова Smart Grid постає як складне завдання, що починається з детальної кількісної оцінки вимог до системи, визначення фактичних цілей і необхідних для їх досягнення рівнів функціонування, та супроводжується описом основних концепцій системи і використовуваного обладнання. На сьогодні власне розвиток енергетики має розглядатися із врахуванням наступних драйверів [1, 3-7, 10, 13, 14].

**Інтернет енергії.** Нові конфігурації енергосистем у багатьох дослідженнях отримали назву Інтернет енергії (Internet of Energy, IoE). Енергетика нового покоління – це енергетика, де нове підключення до мережі можна отримати так само легко і швидко, як підключення до Інтернету – за принципом plug & play. З'являється можливість миттєво змінювати вимоги до надійності, зокрема, отримувати додаткову надійність чи продавати надлишковий резерв електроенергії, коли в ньому немає необхідності. Енергія має стати «мобільною» та бути доступною в будь-якій точці, як мобільний Інтернет.

**Розосереджена енергія.** Поняття дигіталізація в енергетичній сфері, як правило, розглядають у зв'язку з розосередженою енергетикою. Розосереджена енергетика активно розвивається в світі в останні роки, оскільки має місце суттєве здешевлення технологій. Проекти на меншу потужність в перерахунку на кіловат-годину на всьому життєвому циклі стають все більш вигіднішими. До технологій розосередженої енергетики чи розосереджених енергоресурсів (Distributed Energy Resources, DER) в світовій практиці відносять: розосереджену генерацію (Distributed Generation); керування попитом (Demand Response); керування енергоефективністю; мікромережі (Microgrids); розподілені системи зберігання електроенергії; електромобілі.

Якщо обсяги світового ринку технологій РГ в 2015 році, за оцінками компанії BCC Research, становили 65,8 млрд. дол., то прогнозується, що до 2021 року цей ринок зросте до 106 млрд. дол.

**Промисловий Інтернет речей (Industrial Internet of Things – IIoT)** – багаторівнева система, що включає датчики і контролери, встановлені на вузлах і агрегатах промислового об'єкта, засоби передачі даних та їх візуалізації, потужні аналітичні інструменти інтерпретації одержуваної інформації тощо.

**Єдина інформаційна платформа.** Для підвищення ефективності дигіталізації важливо використовувати всі інформаційні

дані, які виробляє кожен об'єкт електроенергетика. Дигіталізація повинна зробити всі дані, які ще не використовуються на енергооб'єктах (до 98%), доступними для аналізу, щоб на їх підставі здійснити більш якісні та оперативні управлінські рішення. Першим кроком є формування єдиного протоколу представлення в енергосистемі даних всіма її учасниками, зокрема, при забезпеченні горизонтальної та вертикальної інтеграції потоків інформації, тобто формування єдиної цифрової платформи.

**Орієнтація на ризик.** У електроенергетиці важливо впровадити ризик-орієнтоване керування. Прикладом такого підходу до керування активами енергокомпаній є система прогнозування технічного стану обладнання (предикативна аналітика), що дозволяє прогнозувати відхилення в роботі обладнання і запобігати аварійні ситуації. Системи прогностики стану енергетичного устаткування перетворюють потік технологічної інформації у важливі для менеджменту відомості. Отримуючи дані в режимі онлайн, система за допомогою цифрового моделювання на базі інтелектуальних математичних алгоритмів виявляє небезпечні тенденції в момент їх зародження, за два–три місяці до аварії або поломки. Застосування технологій прогностики не тільки підвищує надійність обладнання, але й дозволяє контролювати підрядників і власний персонал, аналізувати ефективність роботи установок.

**Клієнтські сервіси.** Цифровими клієнтськими сервісами можуть стати «інтелектуальні» контракти, системи інтерактивного обслуговування, різні пакети тарифів на оплату електроенергії. Прикладом такого клієнтського сервісу є підключення активних споживачів до балансування енергосистеми, зокрема, Demand Response.

**Агрегатор попиту і пропозиції** – організація, що забезпечує одночасне керування електроспоживаючими обладнанням декількох споживачів і бере участь з їх сумарним обсягом споживання на оптовому ринку електроенергії, потужності і системних послуг [1, 4, 5]. Одна з першочергових завдань – створення умов для появи організацій-агрегаторів і інших сервісних організацій у сфері інтелектуальної енергетики. У світовій практиці останнім часом керування попитом стало повноцінним інструментом забезпечення балансу попиту та пропозиції в енергосистемах. Значний потенціал керування попитом зосереджений у середніх і малих споживачів роздрібною ринку, а також в побутовому секторі. Агрегатори – це учасники ринку електроенергії, керуючі зміною навантаження групи споживачів з метою продажу сукупності регульовальних здібностей цих споживачів на оптовому ринку (також можливий продаж на ринку системних послуг).

Агрегатори навантаження можуть бути незалежними компаніями або постачальниками електроенергії, тобто збутовими компаніями.

Нова роль такого суб'єкта ринку полягає в тому, що він формує пул споживачів, потенційно здатних без шкоди для свого технологічного циклу змінювати споживання, проводить оцінку наявних у споживачів можливостей розвантаження, розробляє ефективні алгоритми участі в програмах керування попитом, оснащує споживачів необхідними засобами автоматизації, приладами обліку та іншими пристроями. Для безпосередньої участі агрегаторів навантаження (у тому числі незалежних) у роботі оптового ринку розробляється відповідна нормативна документація.

Саме у сфері систем керування функціонуванням і розвитком електроенергетики, відбуваються найбільш масштабні зміни, які в результаті мають привести до якісної трансформації умов енергопостачання споживачів за рахунок трьох базових компонент, характеристика яких наведена в табл. 1.2 [1, 6, 7, 8, 13]. Зважаючи на вище викладене, інтелектуальній електроенергетиці (побудованій згідно положень концепції Smart Grid) мають бути притаманними такі властивості [1, 6, 7]:

- мінімальні обмеження для інтеграції через загальну електричну мережу і загальний електричний режим будь-яких типів об'єктів виробництва, накопичення та споживання електроенергії, оптимального використання доступних джерел енергії на основі централізованої та розосередженої генерації;

- максимальна спостережуваність стану мережі та системи в цілому, гнучкість (адаптивність) функціонування і розвитку, прогнозування стану в умовах високої невизначеності режимів, зміни технологічної та просторової структури виробництва і споживання електроенергії під впливом технологічних та економічних (ринкових) чинників;

- орієнтованість на клієнта, тобто пріоритетність індивідуальних вимог споживачів до ефективності, надійності та якості енергопостачання, що передбачає врахування їх інтересів і стратегій поведінки, активну участь у ринковій конкуренції, формування еластичного ринкового попиту на електроенергію, системні та мережеві послуги.

Таблиця 1.2 – Базові компоненти розвитку електроенергетики

Назва компоненти	Характеристика компоненти
Підвищення рівня автоматизації.	Забезпечує більшу оперативність реакції технічних пристроїв і систем,

	суб'єктів ринку на швидко змінювані зовнішні в темпі реального часу.
Підвищення рівня інформатизації.	Забезпечується за рахунок зростання обсягів і швидкості передачі даних, досягнення нового рівня в спостережливості і контролю стану, в керованості режимів роботи окремих технічних пристроїв і енергосистеми в цілому, в інформаційній прозорості механізмів конкурентного ринку для всіх його суб'єктів.
Підвищення інтелектуальності на всіх рівнях систем керування функціонуванням енергосистеми і ринковими операціями.	При нових рівнях інформатизації та автоматизації цей компонент забезпечує не тільки «реакцію по фактичному стану», а й «реакцію за прогнозом», виходячи з оцінки ймовірних змін виробничих параметрів окремих пристроїв, технічних систем, ринкової кон'юнктури.

Цінність побудови енергетичних систем на основі концепції Smart Grid полягає в тому, що підприємства електроенергетики зможуть «згладити» потреби в електроенергії у моменти максимального навантаження, відмовитися від використання гарячих резервів і знизити потребу в довгострокових капіталовкладень у створення додаткових генеруючих підприємств, а також скоротити необхідність інших інвестицій. Як приклад ключові елементи інтелектуальної електромережі згідно рекомендацій компанії Cisco зведено в табл. 1.3 [14]. Наявність чотирьох характеристик, наведених в табл. 1.3, разом узятих фактично робить енергосистему інтелектуальною.

Сьогодні пріоритетними постають наступні напрямки реалізації нової технологічної парадигми в енергетиці [1-7, 17-19]:

- 1) відкриті модульні цифрові платформи для організації кіберфізичних систем і середовищ в електроенергетиці;
- 2) інтелектуальні мультиагентні системи керування;
- 3) системи зберігання електроенергії (від акумуляторів для електромобілів і побутового сектора до систем зберігання електроенергії великої місткості, у т.ч. технології зберігання електроенергії у водневому циклі);
- 4) перспективна високовольтна і високочастотна силова електроніка;

- 5) технології «Інтернету речей» (цифрові датчики, сенсори, актуатори і засоби комунікації);
- 6) цифрові фінансові технології (блокчейн, смарт-контракти, децентралізовані автономні організації).

Таблиця 1.3 – Ключові елементи інтелектуальної електромережі згідно рекомендацій компанії Cisco

Ключові елементи інтелектуальної електромережі згідно рекомендацій компанії Cisco Елемент	Характеристика елемента
Прозорість роботи.	Повне уявлення про стан енергосистеми – передача даних лічильників, вимірювачів і команд керування.
Можливість керування.	Переведення енергосистеми у будь-який потрібний стан.
Автоматизація.	Швидка адаптація до змінних умов без втручання користувача.
Інтеграція.	Підключення систем і процесів підприємства електроенергетики – висока інтелектуальність і ефективність енергоосистеми.

Базові складові сучасної технологічної платформи реалізації концепції Smart Grid [30]:

- 1) силова електроніка (FACTS / HVDC);
- 2) системи керування енергоспоживанням (EMS);
- 3) автоматизація та захист «інтелектуальних» (цифрових) підстанцій;
- 4) інтегрований моніторинг стану підстанції (ISCM);
- 5) комунікаційні рішення;
- 6) система керування розподілом / розподільними мережами (DMS);
- 7) автоматизація та захист розподілу / розподільними мережами енергії;
- 8) розосереджені енергетичні ресурси (DER);
- 9) система керування децентралізованою енергією (DEMS);
- 10) інтелектуальні датчики та лічильники Smart meter;
- 11) широка інтеграція ВДЕ в мережі та енергосистеми;
- 12) технічні рішення акумулювання (збереження) енергії [9].



**Контрольні питання до розділу 1**

1. Що таке інтелектуалізація інформаційних систем?
2. Поясніть концепцію інформаційного суспільства.
3. Що таке фактуальне, операційне знання?
4. Наведіть ознаки інтелектуальних систем.
5. Наведіть класифікацію інтелектуальних систем.
6. Поясніть теорією штучного інтелекту.
7. Наведіть варіації ступеня автономності системи штучного інтелекту.
8. Поясніть як використовується штучний інтелект для розвитку енергетики.
9. Поясніть інтелектуальну платформу керування енергетичними системами.
10. Наведіть напрямки реалізації нової технологічної парадигми в енергетиці.

## РОЗДІЛ 2

### СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗБУДОВИ РОЗУМНИХ МЕРЕЖ В УКРАЇНІ

#### *2.1 Міжнародна практика розвитку інтелектуальних мереж*

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

Міністерство енергетики США позиціонує розумні мережі як повністю автоматизовану енергетичну систему, що забезпечує двосторонній потік електричної енергії та інформації між електричними станціями і пристроями повсюдно. Розумні енергетичні мережі за рахунок застосування новітніх технологій, інструментів та методів дозволяють наповнити електроенергетику «знаннями», що дозволяють підвищити ефективність функціонування енергетичної системи («Grid 2030», 2003) [31].

Національна лабораторія енергетичних технологій США (NETL) визначає розумні мережі як сукупність організаційних змін, моделі нових процесів, рішень в галузі інформаційних технологій, а також – рішень в сфері автоматизованих систем управління технологічними процесами і диспетчерського управління в електроенергетиці («A vision for the modern grid», 2007) [32].

В кожній країні є своє бачення щодо очікувань від впровадження розумних енергетичних систем. На сьогодні, найбільш активно використовуються системи розумних мереж у США. У країні паралельно ведуть роботу з розробки технологій, стандартів, оцінки ефективності впровадження інтелектуальних енергетичних мереж, а також досліджують подальший вплив на економіці і безпеці країни («Стан впровадження та розвитку Smart Grid та Smart Metering в енергетиці в європейських країнах», н. д.). У США вже є приблизно 12 млн установок малої розосередженої генерації з одиначною потужністю – до 60 МВт, та загальною потужністю – понад 220 ГВт. А темпи приросту потужності становлять приблизно 5 ГВт на рік.

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

технологій розумних мереж і підвищення ефективності використання поновлюваних джерел енергії [33].

Проект містить такі основні складові [31]:

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

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

Головними критеріями вибору Боулдер для реалізації пілотного проекту стали [34]:

- вдале розташування;
- відповідна інфраструктура;
- ідеальне географічне розташування (легкий доступ до необхідних компонентів мережі);
- наявність клієнтів «інтелектуальної» мережі.

У Швеції система розумних мереж представлена проектами, що поєднують не тільки сферу електроенергетики, але й теплоенергетики. Їх метою є формування особливого менталітету та відношення до навколишнього середовища. До таких проектів можна віднести й ініціативу «Екологічний район Стокгольм Хаммарбю Сьостад», що полягає у впровадженні розумних мереж на острові Готланд в Балтійському морі (у 90 км від материкової частини Швеції). Відповідно до цього проекту, ставляться задачі щодо залучення нових споживачів: близько 30-ти підприємств і фермерських господарств, а також 2 тис. приватних домогосподарств. Ці споживачі – як великі, так і дрібні, – будуть отримувати інформацію про зміни тарифів на електроенергію, щоб мати можливість відповідним чином регулювати її споживання. Слід зазначити, що до цього проекту споживачі приєднуються починаючи з 2013 року. У перспективі планується частину електричної енергії, що виробляється вітропарком Готланду транспортувати на материк до Стокгольму по кабельних лініях Балтійського моря. Але сучасна мережа не пристосована до нової моделі енергогенерації. Розумна мережа Готланду стане прикладом того, як краще адаптувати існуючу мережу до нових умов [35].

Цікавою є практика впровадження моделі розумних мереж і в Німеччині. Вона реалізовується на рівні окремих регіонів. Один з

тестових майданчиків з впровадження системи розумних мереж знаходиться на федеральній землі Баден-Вюртемберг. Розбудова розумних мереж відбувається комплексно в цьому одному регіоні. Така система забезпечує системний підхід до реалізації моделі розумних мереж за такою схемою: виробництво, поставка, споживання та облік електроенергії [36].

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

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

В Амстердамі поставили перед собою мету побудувати місто з нульовим показником рівня викидів вуглекислого газу і до 2025 року використовувати 20% у загальному енергоспоживанні відновлюваної енергії [37].

Зважаючи на досвід провідних країн при реалізації розумних технологій в енергетиці, можна зазначити, що найбільш дієвою схемою впровадження розумних мереж вважається комплексний підхід до перебудови окремої території для реалізації пілотних проєктів. Крім того, існування моделі розумних мереж у більшості країн світу ініціюється державою та державними органами. Для такої трансформації у всьому світі беруть участь у проєктах розумних мереж понад 2930 організацій з 50 різних країн [38].

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

Розвинуті країни докладають значні фінансові і технологічні зусилля для раціоналізації та стримування темпів зростання свого енергоспоживання. У цьому контексті слід зазначити, що деякі країни найвищим рівнем ВВП на душу населення, активно використовують принципи зеленої енергетики. Так, за даними Climate Action, у 2017 році лідерами в розвитку "зеленої" енергії були такі країни, як Ісландія, Китай, Данія, Кенія та Індія [38].

Ісландія – це країна з одним з найбільш високих рівнів проникнення відновлюваних джерел енергії в національному

енергобалансі у світі. У даний час, геотермальна, гідро- і вітрова енергетика забезпечують 100% потреб в електроенергії Ісландії. Майже 75% забезпечується гідроелектростанціями, решта – геотермальними джерелами. Більше 90% потреби країни в гарячій воді і теплі також забезпечуються за рахунок геотермальної енергії. У 2016 році Ісландія закрила 76% всіх потреб 300 тис. громадян в енергії за рахунок відновлюваних джерел енергії («Пять мировых лидеров в «зеленой» энергетике», 2018) [31].

Китай також визнається світовим лідером з інвестицій в екологічно чисті технології в енергетиці. Країна багато інвестує як в будівництво станцій на відновлюваних джерелах енергії, так і виробництві екологічно чистих енергетичних технологій (наприклад, батареї і електротранспорт). ВДЕ складають значну частку енергобалансу країни. У 2016 році Китай побудував 77 ГВт сонячних і 149 ГВт вітрових електростанцій. Прогнозується, що частка Китаю в глобальній "зеленій" енергетиці до 2022 року складе 42% сонячної енергії, 35% гідро- і 40% енергії вітру [39].

З усіх країн ОЕСР, у Данії – найвищі показники з виробництва електроенергії з вітру на душу населення за останні 15 років. У 2017 вітроелектростанції забезпечували 43% усіх потреб в електроенергії країни. Прогнозується, що в країні до 2030 року понад 50% електроенергії повинні виробляти станції на ВДЕ, а до 2050 року – вже 100%. Темпи зростання "зеленої" енергії свідчать, що Данія має всі можливості щодо досягнення цих цілей. У 2017 році Всесвітній банк оголосив Данію однією із світових лідерів в галузі використання екологічно чистої енергії, згідно з нормативними показниками для сталої енергетики (RISE): за шкалою від 1-100, Данія набрала 86 балів за показником енергоефективності та 94 балів – за ВДЕ. У Кенії доступ до електроенергії мають тільки 70% тих, хто цього потребує. І, у свою чергу, метою уряду Кенії є забезпечення можливості для населення загальнодоступного доступу до електроенергії до 2020 року. За останні кілька років Кенія стала лідером в будівництві не підключених до мережі сонячних станцій. Зусилля кенійського уряду підтримали численні міжнародні інституції, включаючи Світовий банк, німецьке агентство розвитку GIZ та Африканський банк розвитку (АБР). У Кенії спостерігається бум стартапів і енергетичних новаторів, у тому числі – енергетичних компаній, що спеціалізуються на розробці міні-мереж [39].

Завдяки впровадженню "зелених" аукціонів, в Індії створився найбільш конкурентний ринок відновлювальних джерел енергії у світі. Зі зростанням попиту на електроенергію, власники станцій змагаються

між собою на аукціонах, що сприяє зниженню витрат на електроенергію. Уряд Індії планує також побудувати у наступні три роки першу в світі плаваючу сонячну електростанцію (з мінімумом у 10 ГВт потужності ВДЕ) [40].

Норвегія за рівнем споживання електроенергії у 2011 році посіла 2 місце. У контексті зниження споживання електричної енергії, у країні була здійснена трансформація системи опалення. Зокрема, в Осло розвивається система централізованого теплопостачання. Основними напрямками підвищення ефективності теплофікації є використання теплоти сміттєспалювальних заводів та застосування попередньо ізольованих труб при прокладці або реконструкції трубопроводів централізованого теплопостачання. Централізоване теплопостачання є основним методом теплопостачання в містах Фінляндії (Бурячок та ін., 2013) [40].

## *2.2 Європейська модель впровадження розумних енергетичних технологій*

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

Світові інвестиції у розбудову розумних електромереж зросли на 12 % за період з 2014 р. по 2016 р. («Міжнародне енергетичне агентство», н. д.). Це пояснюється світовою кон'юктурою енергетичного ринку. За оцінками НЕК «Укренерго», світовий попит на електроенергію характеризується тенденцією випереджального зростання у порівнянні з попитом на первинні енергоносії. Відповідно до прогнозів Міжнародного Енергетичного Агентства, темпи зростання попиту на електроенергію до 2030 р. випереджатимуть в 1,5-2 рази темпи зростання попиту на первинні енергоносії («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018). Найвищий темп зростання попиту на електроенергію спостерігається в країнах Азії (табл. 2.1) [41].

Таблиця 2.1 – Темпи зростання світового попиту на енергоресурси («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018)

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

Наразі у провідних країнах світу модернізація електроенергетики відбувається у трьох напрямках («SMART-сеть – будуще енергетики України», н.д.) [42]:

а) покращення інфраструктури (напр., «сильна» мережа у Китаї);

б) додавання «цифрового прошарку»;

в) переформатування бізнес-процесів.

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

Впровадження безпечних мереж потребує чималих інвестицій. Топ-10 країн за величиною інвестицій у розбудову розумних інвестицій зазначено у таблиці 2.2 [43].

Таблиця 2.2 – Топ-10 країн за розмірами інвестицій у розумні енергетичні технології за даними («Top 10 countries in smart grid investment», 2011)

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

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

Розумна електроенергетика є вектором розвитку європейських країн. Розглядаючи досвід зарубіжних країн з питань розробки нової концепції «розумна енергосистема», можна виокремити такі положення (Биконя, 2012) [44]:

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

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

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

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

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

Основними перевагами розумних електромереж, що обумовлюють їх популярність у багатьох країнах світу (зокрема і в Україні) є («Advantages of smart grid», н. д.) [45]:

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

- зниження вартості електроенергії;



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

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

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

Впровадження розумних технологій супроводжується отриманням суттєвих економічного та екологічного ефектів. Загальний економічний ефект від застосування розумних та безпечних технологій проявляється як [46]:

- скорочення відключень;
- поліпшення надійності електроенергетичної мережі;
- збільшення пропускної здатності мережі;
- зниження витрат на додаткові послуги;
- скорочення інвестицій у виробництво;
- зменшення витрат електроенергії,
- зниження експлуатаційних витрат;
- зниження витрат на передачу електроенергії.

Загальний екологічний ефект від модернізації електроенергетичної системи на базі розумних технологій полягає у [47]:

- зниженні викидів парникових газів;
- зниженні енергоємності ВВП;
- збільшення частки використання альтернативних (відновлювальних) джерел енергії;
- використанні енергоефективного обладнання та технологій.

В усіх країнах світу концепція розумних енергетичних мереж трактується як концепція інноваційного оновлення електроенергетики, що дозволяє на основі впровадження новітніх технологій забезпечити безперебійне та ефективне функціонування енергетичної системи. У багатьох країнах світу концепція розумних енергетичних мереж є прерогативою національного розвитку, що офіційно декларується у стратегіях держав. Так, Європейським Союзом було прийнято ряд важливих документів, що закріпили концепцію розумних мереж як стратегічний пріоритет регіонального розвитку. Серед них можна окреслити такі: мандат ЄС щодо розумних мереж (M/490, 2011), рекомендації щодо стандартизації розумних мереж в Європі («Recommendations for smart grid standardization in Europe», 2011), а також ряд інших важливих документів («Smart grids and meters», н. д.) [48].

У рамках концепції розумних мереж було створено Європейську ініціативу електричних мереж (European Electricity Grid Initiative), основними завданнями якої стали [49]:

- використання потенціалу відновлювальних джерел електричної енергії;
- інтеграція національних мереж в єдину, пан-європейську структуру;
- високоефективне постачання електричної енергії кінцевим споживачам;
- активне залучення кінцевих користувачів до використання розумної та безпечної електричної енергії;
- розбудова транспортної інфраструктури на основі її подальшої всеосяжної електрифікації;
- обґрунтування економічної ефективності застосування кінцевими споживачами розумних технологій;
- відкриття широких можливостей для бізнесу, а також нових гравців на ринку розумних технологій («European Electricity Grid Initiative», н. д.).

Проблеми розбудови в енергетичній галузі Європейського Союзу вирішує шляхом створення відповідних технологічних платформ (ТП), що є інструментом та комунікаційним середовищем з впровадження інноваційних технологічних проєктів. Місія подібних технологічних платформ полягає в об'єднанні зусиль державного сектора, наукової спільноти та бізнесових кіл з метою сприяння вирішенню великомасштабних технологічних завдань розбудови та модернізації енергетичної сфери ЄС [50].

У 2004 р. на міжнародній конференції, присвяченій інтеграції відновлювальних джерел енергії, була висунута ідея створення Європейської технологічної платформи електромереж майбутнього (ЄТПЕМ). Ініціаторами створення даного проєкту були представники з промисловості. У подальшому, до процесу створення технологічної платформи було залучено національні та європейські органи влади («European technology platform for the electricity networks of the future», н. д.). ЄТПЕМ отримала фінансову підтримку за рахунок п'ятої та шостої програм ЄС зі створення кластерів у сфері енергетики. Як наслідок, – для досягнення поставленої мети об'єдналися понад 100 компаній та дослідницьких центрів Європи [51].

У 2005 р. було задекларовано європейську стратегічну програму досліджень, в якій першочерговим завданням стало формування концепції «розумних енергосистем», кінцевий етап реалізації якого заплановано на 2020 р. Перед Європейською

технологічною платформою електромереж майбутнього поставили вирішення таких завдань (Биконя, 2012) [52]:

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

У 2007 р. в рамках сьомої програми ЄС одержала підтримку технологічна платформа під назвою «Європейська технологічна платформа інтеграції смарт-систем» (ЄТПСС). Дана платформа консолідує представників державних органів влади та приватного бізнесу з метою формування безпекових структур у сфері вивчення та розробки смарт-систем. Засновниками ЄТПСС були такі відомі компанії, як Bosch, Continental, EPCOS, FIAT, EADS, Fraunhofer, Siemens, Vermon, Sagem, Pirelly, Volkswagen та ін. В рамках даної технологічної платформи розглядаються питання консолідації електромереж та інформаційно-комунікаційної інфраструктури в єдину інтегровану структуру – інтелектуальну енергосистему («European technology platform on smart systems integration», н. д.). На сучасному етапі розвитку процес поширення в країнах Європейського Союзу нових смарт-систем та енергозберігаючої техніки дав можливість суттєво знизити навантаження на електромережі. У деяких країнах ЄС заплановано знизити споживання електроенергії на 9% за рахунок упровадження технологій розумних мереж (Каплун та Козирський, 2011) [53].

Поточні лабораторні дослідження показують суттєве скорочення витрат на вироблення електроенергії. На глобальному рівні концепція розумних мереж містить ряд сучасних напрямів і технологій, серед яких («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018) [54]:

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

- системи автоматизації розподілу електроенергії для середніх і низьких класів напруги;
- «розумний» облік – технології «інтелектуальних» систем обліку і розрахунків та режимного управління навантаженням;
- системи абонентського обліку та рахунків в галузі енергопостачання та комунального обслуговування;
- системи зарядження електромобілів тощо.

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

Енергетична Стратегія та План дій є найважливішими документами ЄС в енергетичному секторі, в яких визначено програму дій на політичному рівні для досягнення основної мети розвитку енергетики, пов'язаної із забезпеченням стійкості, конкуренції та енергетичної безпеки. Зазначені цілі пропонується реалізувати до 2020 р. за допомогою підвищення енергоефективності на 20%, зростання частки використання відновлюваних джерел енергії в енергоспоживанні до 20% та зниження на 20% викидів парникових газів відносно до рівня 1990 р. Основними положеннями Енергетичної стратегії ЄС та Плану дій з енергоефективності визначено обов'язкове для виконання завдання із скорочення енерговитрат на одиницю ВВП на 20% від рівня 2005 р. («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018) [51].

Окреслені вище стратегічні цілі та завдання у галузі енергоефективності для країн-членів Європейського Союзу передбачено відповідними Директивами ЄС (табл. 2.3) [55].

Таблиця 2.3 – Директиви ЄС щодо сприяння розвитку і підвищення ефективності електроенергетики («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018)

№	Директива ЄС	Характеристика
1	Директива 1999/93/ЄС	окреслює систему електронних підписів у ЄС
2	Директива 2002/58/ЄС	стосується обробки персональних даних та захисту конфіденційної інформації при електронному обміні даними (Директива про конфіденційність інформації та електронний обмін інформації)
3	Директива 2004/8/ЄС	описує розвиток когенерації на основі корисної теплової напруги на внутрішньому ринку енергоносіїв

4	Директива 2004/22/ЕС	стосується засобів для проведення вимірів
5	Директива 2004/108/ЕС	передбачає зближення законодавств держав-членів, що стосуються електромагнітної сумісності
6	Директива 2006/24/ЕС	регулює захист даних в системі загальнодоступних послуг електронного обміну даних
7	Директива 2006/32/ЕС	нормує вимірювання ефективності енергоспоживання та енергозабезпечення
8	Директива 2009/28/ЕС	стосується підтримки використання енергії від поновлюваних джерел
9	Директива 2009/73/ЕС	регулює загальні правила для внутрішнього ринку природного газу

Директиви є обов'язковими для країн-членів ЄС у частині реалізації кінцевих результатів і підлягають відображенню в національній правовій системі. Окрім директив, при формуванні енергетичного ринку в Європейському Союзі використовуються [56]:

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

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

- кодекси електричних мереж тощо.

Європейська Комісія та національні уряди країн Європейського Союзу, незважаючи на експертні прогнози щодо значного зростання ринку енергоспоживання до 2030 р., серед пріоритетів економічного розвитку вбачають необхідність зниження енерговитрат на одиницю ВВП на 9% шляхом підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, розвитку інноваційних технологій, у тому числі за рахунок всеосяжної імплементації систем розумних мереж («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018). Більш того, впровадження розумних та безпечних енергетичних мереж дозволить до 2020 р. запобігти викидам у понад 1 млрд. т вуглекислого газу в атмосферне повітря, що суттєво підвищить його якість [55].

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

електроенергії у рамках енергетичної стратегії та директивних рішень Європейського Союзу є економічно обґрунтованою, оскільки пакетом документів передбачено [56]:

- розробку та імплементацію інноваційних технологій;
- диверсифікацію використання енергетичних природних ресурсів і збільшення частки відновлювальних джерел енергії у структурі первинних енергоресурсів;
- розвиток розподіленої генерації, комбінованого вироблення теплової та електричної енергії;
- зменшення руйнівного впливу на навколишнє природне середовище («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018).

У квітні 2009 р. Європарламент прийняв запропонований Єврокомісією «Третій енергетичний пакет», що передбачає масштабні дії з комплексної лібералізації енергетичного ринку Європи. Згідно з цим документом Європейський Союз повинен реалізувати Програму розвитку розумних мереж «Технологічна платформа розумних електричних мереж майбутнього в Європі». Відповідно до цієї програми 80% європейських споживачів електроенергії до 2020 року мають бути оснащені розумними лічильниками, а до 2022 року ступінь охоплення кінцевих споживачів повинен досягти 100% («Оцінка стану та реалізації концепцій розвитку «інтелектуальних» електромереж у світовій практиці», 2018. Перелічені цінності рівноправні. Це важливо зазначити у контексті питання вибору пріоритетних проектів розумних мереж [57].

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

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

Обсяг фінансування, необхідний для здійснення проєктів, що передбачаються до впровадження для забезпечення енергетичної політики у глобальному масштабі, за оцінкою Міжнародного енергетичного агентства (Биконя, 2012) до 2030 р. становитиме близько 16 трлн дол. США, у тому числі понад 2 трлн дол. на розвиток розумних мереж («European technology platform SmartGrids», 2006). Обсяг інвестицій, необхідних для розвитку енергосистеми Євросоюзу (включаючи розширення мереж, розвиток відновлюваних джерел енергії та заходів з підвищення енергоефективності) до 2020 р. Єврокомісія оцінює близько 1 трлн євро, майже половину з яких передбачається спрямувати на розвиток електричних мереж (у тому числі розумних електромереж). При цьому 200 млрд євро має бути спрямовано на розвиток нових транспортних енергетичних зв'язків. За оцінкою Комісії, половину необхідних коштів може бути вишукано на енергетичному ринку. Визначено, що для покриття «інвестиційного розриву» в межах 60 млрд. євро пропонується залучати приватні капіталовкладення («European technology platform SmartGrids», 2006) [57].

Фінансування проєктів з розгортання розумних енергомереж у рамках енергетичної політики розвинених країн, зокрема ЄС, відбувається системно, включаючи декілька логічних етапів. Зокрема, для реалізації одного з найважливіших завдань – забезпечення умов для розподіленої енергетичної генерації, є три етапи [58].

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

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

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

Інтегрування розподіленої енергетичної генерації (як комплексу заходів та технічних рішень) до енергосистеми має ряд позитивних аспектів, адже має забезпечити підвищення надійності електропостачання, зменшення втрат електроенергії та екологічного навантаження на довкілля. Проте під час планування та реалізації

проектів розподіленої енергетичної генерації потрібно вирішити низку проблемних питань, зокрема пов'язаних з подвійним направленням руху електроенергії [10].

### ***2.3 Перспективи розвитку інтелектуальних електричних мереж в Україні***

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

Необхідність розбудови національної енергетичної мережі та переходу на нові стандарти функціонування енергетичних компаній обумовлена економічним зростанням, що тісно корелює зі збільшенням обсягів енергоспоживання. Ефективне розв'язання проблем, пов'язаних з новими енергетичними викликами сьогодення, не можливе у рамках традиційної концепції екстенсивного розвитку енергетичних мереж, що була спрямована виключно на нарощування потужності. Необхідність переходу на нову модель функціонування енергетичного ринку в Україні обумовлена такими чинниками [57]:

- якісно нові виклики організаційно-економічної моделі розвитку енергоринку;
- зростання геополітичного дисбалансу та суперечностей;
- необхідність фінансування проектів у сфері ресурсо-та енергозбереження;
- курс на гармонізацію моделей сталого енергетичного розвитку провідних економік світу;



- фундаментальні зміни в енергетичній галузі, обумовлені поширенням інновацій, розвитком передових технологій, зміною ринкових умов.

Переїняття Україною європейського досвіду впровадження розумних технологій є наразі актуальним завданням. У напрямку зближення європейських та українських стандартів стосовно використання технологій розумних мереж на сучасному етапі розвитку активно працює національна енергетична компанія Укренерго. Нею розпочато роботу над використанням у національній енергосистемі новітніх революційних технологій. Наразі Укренерго налагоджує активну співпрацю щодо підготовки національної економіки до впровадження системи інтелектуальних мереж [58].

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

У 2014 році Міністерство енергетики та вугільної промисловості України й бельгійська компанія Tractebel уклали угоду про розробку техніко-економічного обґрунтування проєкту. Даним контрактом було започатковано впровадження декількох пілотних технологій та проєктів розумних мереж на рівні системного оператора, що ґрунтуються на таких - посилення надійності та стійкості енергосистеми України за рахунок модернізації енергетичних об'єктів відповідно до європейських стандартів у рамках реалізації каталогу заходів угоди;

- диверсифікація джерел енергії та прозорі умови надання аварійної взаємодопомоги;

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

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

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

Важливим напрямком роботи організації є формування передумов та сприяння реалізації ініціатив щодо функціонування конкурентного енергетичного ринку. Головне завдання у даному напрямку окреслено як поступова гармонізація правил ринку електроенергії, що лежить в основі сприяння ефективному конкурентному внутрішньому ринку та забезпечує вигоди для споживачів електроенергії й можливості для виробників та торговців енергією відповідно до завдань виконання цілей третього пакета внутрішнього енергетичного ринку та сприяння розвитку добре функціонуючого європейського ринку електроенергії («Top 10 countries in smart grid investment», 2011). Стратегічними завданнями організації за даним напрямком є [59]:

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

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

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

Євроінтеграційний напрямок України, у тому числі в енергетичній сфері, вимагає прийняття європейської концепції розбудови енергомереж з урахуванням місцевої специфіки, яка полягає у політиці заміщення імпорتنих енергоресурсів місцевими, а також за збільшення обсягу виробництва енергії з відновлюваних джерел при

одночасній діяльності у сфері оптимізації (у т. ч. збалансування навантаження) енергомереж [60].

На міжнародному рівні документально закріплено ключові цінності нової електроенергетики: доступність, надійність та якість енергозабезпечення; економічність, ефективність використання всіх видів ресурсів і технологій, зниження негативного впливу на навколишнє середовище [61].

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

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

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

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

Одним з елементів системи трансформації (або модернізації) енергетичної системи у Європейському Союзі є діяльність Європейської мережі системних операторів передачі електроенергії (ENTSO-E), що займається широким колом питань від інформаційної та консультативної підтримки суб'єктів, задіяних у процесі енергетичної генерації, розподілу та споживання енергії, до досліджень стану енергетичної системи та умов функціонування енергетичного ринку, включно з тенденціями його розвитку; від планування та розробки безпечної, ефективною та економічною системи передачі електроенергії до координації міжнародної активності у даній сфері [61].

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

У Брюсселі 28 червня 2017 року була підписана «Угода про умови майбутнього об'єднання енергосистем України та Молдови з енергосистемою континентальної Європи», що набула чинності 7 липня 2017 року. До переваг синхронізації енергосистем для України можна віднести такі («Національна енергетична компанія «Укренерго», н. д.) [62]:

- посилення надійності та стійкості енергосистеми України за рахунок модернізації енергетичних об'єктів відповідно до європейських стандартів у рамках реалізації каталогу заходів угоди;
- диверсифікація джерел енергії та прозорі умови надання аварійної взаємодопомоги;
- впровадження ринку допоміжних послуг (регулювання частоти, підтримання параметрів надійності та якості електричної енергії);
- демонополізація внутрішнього ринку електроенергії за рахунок конкуренції, що стане наслідком інтеграції до ENTSO-E;
- можливість зростання торгівлі електроенергією у 4 рази, а саме до 18-20 млрд кВт·год/рік.

Діяльність ENTSO-E є комплексною та системною, та має чітку структуру завдань в кожній з областей діяльності. Зокрема структура завдань (напрямків активності) у сфері планування розвитку системи містить [63]:

- десятирічне планування розвитку мережі та регіональні інвестиційні плани;
- середньострокове прогнозування достатності;
- квартальні огляди; побудова сценаріїв;
- моніторинг та моделювання;
- стратегічне проектування енергетичних систем тощо («SMART-мережа – майбутнє енергетики України») [64].

**Контрольні питання до розділу 2**

1. Наведіть міжнародну практику розвитку інтелектуальних мереж.
2. Поясніть концепцію розумних електромереж.
3. Як розвиваються функціональні властивості електроенергетики у рамках концепції розумних мереж.
4. Як відбувається інтегрування розподіленої енергетичної генерації до енергосистеми розумних мереж.
5. Охарактеризуйте інтеграцію об'єднаної енергетичної системи України до загальноєвропейської системи ENTSO-E.

## РОЗДІЛ 3 ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ SMART-GRID В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

### 3.1 Оцінка кібербезпеки Smart Grid систем

Інтелектуальні мережі надають можливість активно контролювати енергоспоживання, користуючись гнучкими планами енергоресурсів і навіть стаючи дрібними постачальниками електроенергії. Що стосується постачальників енергоносіїв, то це дає змогу встановити ціни, що базуються на часі, покращити планування потужностей та використання енергії та більш гнучко пристосовуватися до потреб ринку. Мережа покращує управління передачею енергії та підвищує стійкість до відмов системи управління [65].

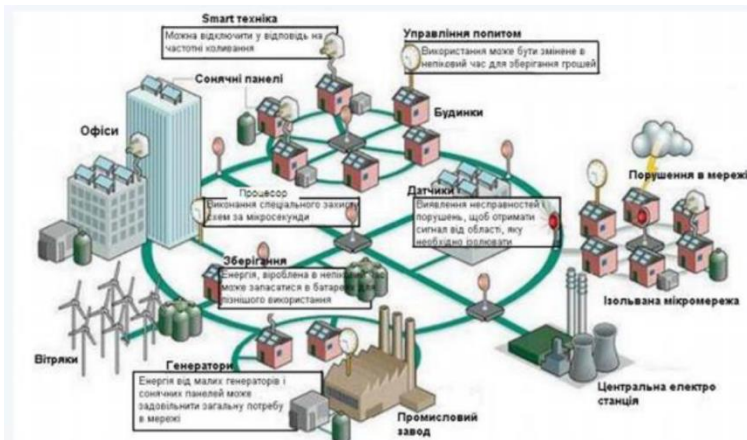


Рисунок 3.1 – Сучасна конфігурація Smart Grid системи

Водночас інтенсивне використання інформаційно-комунікаційних технологій викликає багато нових проблем. «Інтелектуальні мережі» – це сукупність різних застарілих систем, оточених новими технологіями та архітектурними підходами, що відповідають різним стандартам і нормам, які всі повинні поєднувати в одну мережу зв'язку. Системи зв'язку «інтелектуальної мережі» мають багато вразливих місць, що відрізняються між мережами.

Взаємозв'язок «інтелектуальної мережі» з Інтернетом наражає мережу на нові типи ризиків, включаючи розширені постійні загрози (APT), розподілене-заборонене обслуговування (DDoS), ботнети та

нульові дні, Stuxnet, Duqu, Red October або Black Energy – це лише кілька прикладів сучасних загроз, які з'явилися з 2010 року [64].

Впровадження «інтелектуальних мереж» вимагає мультидисциплінарного підходу, який поєднує різні технології та включає в себе управлінські, політичні, юридичні аспекти тощо. Вирішальну частину цього процесу формує оцінка безпеки, тобто оцінка рівня безпеки та виявлення потенційних вразливих місць, якими можуть скористатися зловмисники.

ІЕС TS 62351-1 визначає оцінку безпеки як «круговий процес оцінки активів для вимог безпеки, заснованих на ймовірних ризиках нападу, відповідальності за успішні атаки, і витрат на поліпшення ризиків і зобов'язань [65].

NIST SP 800-53 прирівнюється до оцінки безпеки з оцінкою контролю безпеки та визначає це як «Тестування та / або оцінка управління, експлуатаційного, та технічний контроль безпеки в інформації система для визначення ступеня управління ними реалізовано правильно, функціонуючи за призначенням та виробляючи бажаний результат щодо забезпечення безпеки вимоги до системи» [66]. NIST SP 800-115 визначає оцінку інформаційної безпеки як «процес визначення ефективності конкретної цілі безпеки, яку оцінюють (наприклад, хост, система, мережа, процедура, особа, відома як об'єкт оцінки)». Стандарт розрізняє три типи методів оцінювання, які можна використовувати для їх виконання це [68]:

- тестування – аналіз об'єктів оцінювання під визначеними умовами для порівняння реальної та очікуваної поведінки,
- експертиза – перевірка, огляд, спостереження, вивчення або аналіз об'єктів оцінювання з метою уточнити, зрозуміти або зібрати необхідні докази,
- інтерв'ю – обговорення з окремими особами чи групами в межах організації, щоб уточнити, зрозуміти чи визначити місце доказів.

Визначення дуже схожі. Їх спільний знаменник – розуміння оцінки безпеки як процес, заснований на аналізі активів з метою визначення якщо вони відповідають вимогам безпеки (або цілям безпеки). NIST SP 800-115 розширює визначення із включенням до нього методів оцінки безпеки.

Оцінка безпеки – це процес визначення наскільки ефективно відповідає організація, що оцінюється, конкретним цілям безпеки або вимогам безпеки. Це можна зробити за допомогою трьох типів методів: тестування, іспит та інтерв'ю.

Методи оцінки безпеки можна класифікувати на наступні групи [67]:

- *Відгуки* – пасивні, зазвичай ручні, експертизи, що виконуються з метою виявлення вразливості безпеки. Вони включають огляд документації, журналу, правил та конфігурацій, перевірку відповідності, формальний аналіз, «обнюхування» мережі та перевірку цілісності файлів;

- Ідентифікація вразливості – ручний або автоматизований (як правило) пошук недоліків системи. Методи ідентифікації включають виявлення мережі, сканування портів, сканування вразливості, бездротове сканування та перевірку безпеки додатків;

- *Аналіз вразливості* – ручне або автоматизоване дослідження виявлених вразливостей для остаточного підтвердження їх існування та розробки подальших наслідків їх експлуатації. Методи включають в себе зламання паролів, проникнення, соціальну інженерію та тестування безпеки додатків;

- *Перевірка відповідності* визначає, чи відповідають системи цілям безпеки чи задовольняють вимогам безпеки. Мережеве відчуття – це інструмент, пасивний моніторинг мережевої комунікації та перевірка її вмісту для перевірки того, чи є вона достатньо захищеною. Перевірка цілісності файлу виявляє модифікації файлів на основі обчислення контрольних сум.

- *Формальний аналіз* використовує формальну логіку, дискретну математику та інші математично обґрунтовані методи для оцінки безпеки інформаційних систем. Оцінка вимагає підготовки формальних специфікацій аналізованих систем, які згодом можуть бути перевірені, подібно до перевірки математичних формул. Формальні методи часто оснащені логічним обчисленням, яке може систематично перевірятися автоматизованим інструментом;

- *Відкриття мережі* – це розпізнавання мережевої структури, яке зазвичай виконується за межами її межі. Сканування портів дозволяє ідентифікувати відкриті порти зв'язку, які найчастіше є першою мішенню зловмисників. *Сканування вразливості* шукає (зазвичай відомі) вразливості програмного забезпечення. Це допомагає помітити застарілі версії програмного забезпечення, відсутні патчі або неправильну конфігурацію. Бездротове сканування вивчає, чи можна отримати доступ до бездротових мереж чи комунікацій стороннім користувачем;

- *Злом паролів* спрямований на виявлення паролів на основі наявних даних з метою виявлення слабких паролів та політик щодо паролів.

*Тестування на проникнення*, «злучення з червоним колективом» або «злом білого капелюха» чи інші так звані процедури



«етичного злому», використовують підходи хакерів для аналізу вразливості системи.

*Соціальна інженерія* покладається на те, щоб впливати на людей, щоб вони діяли, що призвело б до викриття системи зловмисникам, перевірки процедур безпеки та поведінки користувачів системи (обізнаність користувачів).

- *Експертиза безпеки тестування та тестування* підтверджує, якщо програмні продукти містять уразливості, працюють надійно, безпечно взаємодіють з користувачами, іншими програмами та середовищем його виконання.

Процес оцінки безпеки «інтелектуальної мережі», визначений у NIST SP 800-115 зображений на рис. 3.2 може застосовуватися для оцінки кібербезпеки Smart Grid систем [69].

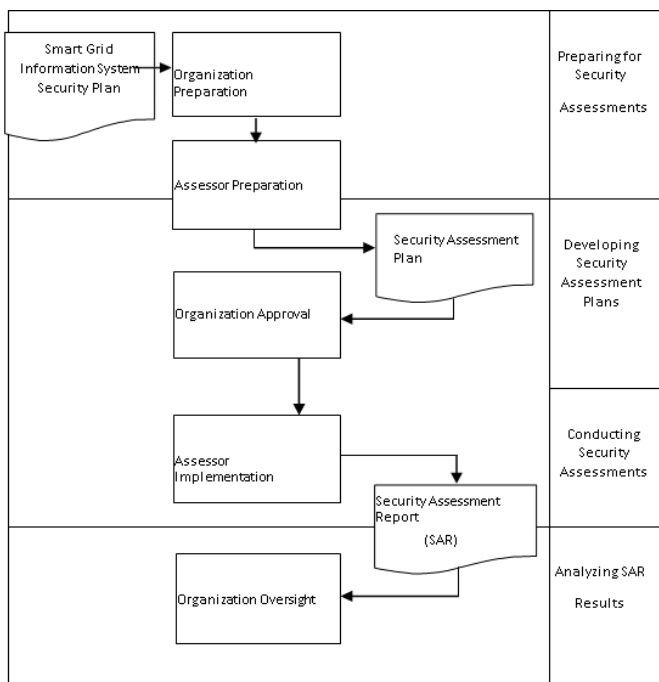


Рисунок 3.2 – Процес оцінки безпеки Smart Grid систем [8]

На додаток до представлених вище вразливостей кіберфізичних систем, інтелектуальні енергомережі мають додаткові власні уразливості, обумовлені архітектурою [70]:

- комунікаційні вразливості в кіберкомпонентах;
- вразливості програмного забезпечення;
- вразливості в конфіденційності;
- вразливості в зв'язку в мережах;
- фізичні вразливості інтелектуальних мереж.

Інформаційна інфраструктура інтелектуальної енергомережі опирається на ряд стандартизованих інтернет-протоколів з відомими вразливими, які можуть бути використані для запуску атак в мережі. ТСП/IP використовується для загального доступу до Інтернету і не повинен використовуватися для підключення до центрів управління системою. Однак енергомережі з доступом до інтернету іноді безпосередньо або побічно пов'язані з центрами управління інтелектуальними мережами через неправильну конфігурацію мережі. Сама ця комунікація вже вважається вразливістю, і тим більше з урахуванням вразливостей в відкритих протоколах. Крім того, ІССР, який є стандартизованим протоколом обміну даними між центрами управління, має критичну вразливість переповнення буфера.

Прикладом вразливості програмного забезпечення є, інтелектуальні лічильники, що містять потенційну критичну вразливість через можливість віддаленого оновлення. Зловмисник може використовувати таку функцію, щоб викликати відключення електроенергії шляхом управління лічильниками з центру управління. Дана вразливість також може бути використана через програмної помилки. Компоненти мереж тепер стають доступнішими в кожному будинку і, отже, надають потенційну точку доступу для зловмисників. Деякі продавці залишають в інтелектуальних лічильниках бекдори. Так потенційно можна отримати повний контроль над лічильником, включаючи зміни ціноутворення. Наприклад, Рубен Сантаматра в своїй статті [71] проаналізував доступну документацію інтелектуального лічильника і з'ясував, що є обліковий запис «Factory Login». Крім облікових записів клієнтів з обмеженими можливостями, що використовуються для базових конфігурацій, цей обліковий запис для входу в систему дає користувачеві повний контроль над інтелектуальним лічильником. Більш того, зв'язок здійснюється через telnet, який відправляє дані у відкритому вигляді без шифрування. Після отримання повного контролю над інтелектуальним лічильником виникають три потенційні атаки: порушення живлення, або безпосередньо, шляхом шкідливого взаємодії з іншими пристроями для зміни бажаного енергоспоживання, або побічно шляхом введення помилкових даних таким чином, що контрольний центр отримувал помилкову інформацію і, отже, приймає неправильні рішення;

використання лічильника в якості «бота» для запуску атак проти інших інтелектуальних лічильників або системи в цілому; і зібрані дані лічильника можуть бути піддроблені так, щоб змінити рахунок.

Вразливості в конфіденційності з'явилися в результаті двостороннього зв'язку між інтелектуальними лічильниками в будинках клієнтів і комунальних підприємствах. Атакуючі можуть перехоплювати величезний обсяг трафіку, створюваного за допомогою інтелектуальних лічильників, і отримувати конфіденційну інформацію про клієнтів. Прикладом такої інформації можуть служити щоденні справи клієнтів і їх присутність/відсутність в будинку.

Вразливості у зв'язку в мережах обумовлені протоколами, що використовуються в інтелектуальних мережах. Інфраструктура енергосистеми Smart Grid опирається на протоколи Modbus і DNP3. У цих протоколах відсутній шифрування трафіку. DNP3 має просту міру цілісності з використанням CRC, Modbus не має ніякої. В обох протоколах не виконуються ніякі заходи аутентифікації, даючи можливість маніпулювання даними. Крім того, нещодавно в якості удосконалення цих протоколів був представлений MEK 61850. Відсутність властивостей безпеки в цих протоколах має інше значення в контексті інтелектуальних мереж. Наприклад, протоколи, які не мають шифрування, роблять дані, що передаються вразливими для підслуховування, що призводить до ряду атак, таких як отримання інформації про дії клієнтів або вкладення неправдивої інформації через відсутність автентифікації. Також можливо впровадити мережу з фіктивними пакетами, метою яких є насичення, що призводить до DoS-атаки; або ввести неправдиву інформацію, в результаті чого приймаються рішення на основі неправдивої інформації. Крім того, інтелектуальні мережі складаються з гетерогенних компонентів, керованих різними об'єктами. Наприклад, генеруюча установка мережі взаємодіє з установкою трансмісії, де, в свою чергу, станція передачі взаємодіє з розподільчою установкою, і, нарешті, розподіл забезпечує електроенергію кінцевим користувачам. Кожен тип взаємодії зазвичай запускається і управляється різними компаніями, що створює вразливості в області комунікації і спільної роботи [72].

Крім того, величезна кількість фізичних компонентів інтелектуальних мереж знаходяться в незахищених середовищах і, отже, вразливі до прямого фізичного знищення. Наприклад, лінії електропередач схильні до шкідливих, випадковим і природним атак. Крім того, інтелектуальні лічильники, прикріплені до будівель, будинкам і віддаленим районам, роблять їх легкою мішенню для різних фізичних атак.

### 3.2 Забезпечення інформаційної безпеки Smart Grid систем

Для аналізу загроз інформаційній безпеці інтелектуальних мереж виділимо три типи даних, які підлягають захисту [73]:

– технічні дані (параметри конфігурацій, інформація про помилки і системні збої, логи), якими обмінюються як активні, так і пасивні елементи системи. Цілісність і доступність цих даних забезпечує стійкість енергосистеми;

– технічні дані клієнтів, що надходять від об'єктів енергообліку;

– персональні дані користувачів.

Також для опису загроз інформаційній безпеці виділимо основні зони автоматизованої системи контролю та обліку енергоресурсів [74]:

– адміністративна зона (управління персоналом). У цій зоні розглядаються загрози, пов'язані з навмисними або випадковими діями співробітників;

– зона застосувань – сукупність програмних і технічних засобів АСКОВЕ, схильних до загроз ІБ;

– мережа – зона, об'єкти якої реалізують передачу даних між об'єктами одного рівня моделі АСКОВЕ, або між об'єктами різних рівнів.

Виходячи з наведених вище інцидентів, відповідно до статті [74] запропоновано перелік основних загроз безпеки (таблиця 3.1) виділених типів даних, розділений на зони

Перейдемо від класифікації атак до конкретних атакам на інтелектуальні мережі.

Кібер атаки.

DoS. Трафік в інтелектуальних мережах є критичним за часом, тому затримки можуть призвести до небажаних наслідків. Насичення мережі на різних рівнях - ймовірний підхід для досягнення DoS-атак.

Введення помилкових даних. Введення помилкових даних в трафік інтелектуальних мереж призводить до різних наслідків, таким як збій в обслуговуванні і фінансові втрати. Лю Яо з колегами в статті [75] продемонстрували імітацію помилкових даних для оцінки впливу на оцінку стану в інтелектуальних мережах. Автори припустили, що атакуючий попередньо вторгся в центр управління для успішної атаки, яка спрямована на те, щоб в кінцевому підсумку ввести помилкові вимірювання в інтелектуальні лічильники, щоб порушити процес оцінки стану. Таке порушення призводить до фінансових втрат для операційних комунальних служб.

Таблиця 3.1 – Основні загрози безпеки

№ Загрози	
Адміністративна зона	
1	отримання неправомірного доступу до керуючого сегменту
2	підвищення привілеїв в системі
3	використання ідентифікації / аутентифікації, заданої за замовчуванням
4	неправомірне ознайомлення з захищеною інформацією
5	розкриття інформації про стан, параметрах, складі системи, а також про топології мереж
6	використання ПЗ, не призначеного для забезпечення працездатності системи, на АРМ
7	отримання неправомірного доступу до технічних даних системи в результаті недбалого ставлення працівників до своїх обов'язків
8	отримання неправомірного доступу до технічних даних системи в результаті некомпетентності адміністраторів системи
Зона додатків	
9	DoS / DDoS-атака на сервери системи управління / інформування
10	отримання доступу до інформації в результаті передачі даних у відкритому / незашифрованому вигляді (plaintext)
11	отримання неправомірного доступу через відсутність механізмів аутентифікації
12	XSS-атаки на систему управління / інформування
13	SQL-ін'єкції в систему управління / інформування
14	підбір паролів методами "грубої сили" або з використанням словників
Мережа	
15	неправомірне підключення до мережі управління / інформування на фізичному рівні
16	перехоплення даних систем управління / інформування
17	підміна даних систем управління / інформування, переданих по мережі (FDI)
18	атаки підміни IP-адрес вузлів систем управління / інформування

Отримання конфіденційної інформації. Атакуючі можуть аналізувати мережевий трафік в інтелектуальних мережах між інтелектуальними лічильниками і центрами обробки даних, щоб отримати конфіденційну інформацію про клієнтів. Наприклад, зловмисник може визначити, чи доступна мета будинку в певні моменти часу і дати. Крім того, також можна вивести образ життя з точки зору часу і якості сну, кращою побутової техніки та багатьох інших.

Нецільове шкідливе ПЗ. У 2003 році черв'як Slammer призвела до відключення трафіку між польовими пристроями та підстанціями. Хоча це шкідливе ПЗ не призначалося для впливу на енергетичний сектор, воно все ще мало ефект через взаємозв'язку мереж

інтелектуальної мережі. Шкідлива програма споживала значну частину критично важливого трафіку, але не викликала збоїв в обслуговуванні.

**Кіберфізичні атаки:**

**Кібер-вимагання.** Цей тип атаки рідкісний, принаймні, публічно. Зловмисники контролюють цільову інтелектуальну мережу і пред'являють вимоги, погрожуючи великомасштабним відключенням електрики.

**Масове відключення електрики.** У контексті інтелектуальних сіток системна аварія вважається атакою DoS. Доступність інтелектуальних мереж, ймовірно, є найважливішою метою забезпечення безпеки, і атаки, спрямовані на порушення безпеки, можуть привести до великомасштабного відключення електрики, яке може мати загальнонаціональний вплив. У 2007 році Національна лабораторія Айдахо (INL) продемонструвала можливість таких атак [75]

Концепція Smart Grid полягає в тому, щоб зробити «інтелектуальними» генерацію, передавання й розподіл електричної енергії через наповнення електричних мереж сучасними засобами діагностики, електронними системами управління та обліку, алгоритмами, обмежувачами струмів короткого замикання надпровідних ліній та іншими автоматично регульованими технічними процесами.

Упровадження технології інтелектуальних мереж, з одного боку, спрощує й прискорює управління, але, з іншого боку, відкриває доступ до можливих кібератак і неправомірного використання даних.

Питання забезпечення кібербезпеки сучасних електроенергетичних об'єктів з використанням інтелектуальних мереж Smart Grid, оснащених цифровими системами моніторингу, управління, релейного захисту та противарійної автоматики, стають дуже актуальними [76].

Для своєчасного виявлення актуальних загроз кібербезпеки, визначення ймовірності їх реалізації, оцінювання збитків у разі їх реалізації, вибору адекватних та економічно обґрунтованих контрзаходів необхідним є розроблення методів оцінювання ризиків кібербезпеки інформаційних систем Smart Grid.

Для більш коректної оцінки ризику кібербезпеки складної інформаційної системи необхідно враховувати умови, у яких функціонує кожний складник інформаційної системи, вид інформації, що циркулює в ній, модель загроз, модель порушника. Залежно від виду інформації, яка підлягає захисту, та особливостей функціонування інформаційної системи ризику кібербезпеки можуть призводити до

порушення конфіденційності, цілісності, доступності інформації або до їх певної комбінації. Для інформаційних систем Smart Grid можлива ситуація, коли критичним є забезпечення доступності й захист від несанкціонованих змін відкритої інформації. У такому разі виникає необхідність визначення ризиків кібербезпеки від втрати саме доступності та цілісності. Усі ці ризики можуть визначатися експертним методом і повинні враховуватися під час розрахунку результуючого ризику кібербезпеки Smart Grid [77].

Кібербезпека є життєво важливим фактором існування енергетичного комплексу та його складових. В сучасних умовах критично важливим є не лише запровадження новітніх технологій забезпечення енергоефективності, але й виконання завдання щодо захисту енергетичної системи від реальних та потенційних загроз у кіберпросторі. Кібератаки можуть бути спрямовані як на об'єкти генерації енергоресурсів, так і на об'єкти транспортування та споживання. Найбільш уразливою ланкою є системи управління та диспетчеризації енергетичних систем. При цьому уразливість буде постійно посилюватися по мірі поширення концепції та технологій "Smart Grid".

Проблеми кібербезпеки енергетичних систем посилюються тим, що понад 75 % енергетичного обладнання має іноземне походження, не враховуючи 100 % комп'ютерного та програмного забезпечення. На цьому фоні важливим завданням є забезпечення безпеки критичної інфраструктури й зокрема енергетичної інфраструктури, що являє собою сукупність енергетичних об'єктів та систем енергетики, включаючи енергетичні транспортні магістралі. Тобто подальше зростання ролі IT-технологій обумовлює виключне значення, якого набуває кібербезпека для забезпечення безпеки та стійкості функціонування енергетичної галузі [78].

Методологія аналізу кіберзагроз та оцінки ризиків порушення кібербезпеки об'єктів енергетичної інфраструктури включає: поточний аналіз стану кіберзагроз об'єктів енергетичної інфраструктури, формування сценаріїв ймовірних екстремальних ситуацій, пов'язаних з реалізацією кіберзагроз, моделювання та оцінювання ризиків порушення кібербезпеки енергетичної інфраструктури. Критерії захищеності вказаних об'єктів також включають інструменти попередження та запобігання некоректних або помилкових дій та процесів, потенційну уразливість програмного забезпечення, яка непомітна на етапах проведення тестування.

До переліку ризиків, які специфічні для підприємств енергетичної галузі, належать: використання в автоматизованих

системах застарілого програмного забезпечення, обладнання та комунікаційних протоколів, які не передбачають можливості та вірогідності щодо кіберзагроз; наявність адміністративних та технологічних труднощів оновлення програмного забезпечення; неконтрольоване підключення автоматизованої системи управління до мережі Інтернет; можливий доступ “сторонніх” компаній до технологічної мережі об’єкта критичної інфраструктури. Енергетична галузь залишається найбільш уразливою з позиції ризиків техногенних катастроф. На цьому фоні вірогідним та прогнозованим є збільшення кількості кіберзагроз щодо енергетичної галузі. Це логічно особливо в умовах глибокої інформатизації та цифровізації. Також очікується тенденційна зміна ландшафту таких загроз [79].

Доцільно враховувати той факт, що підприємства енергетичної галузі у переважній більшості перебувають у стані модернізації, особливо щодо систем релейного захисту та автоматики. Як наслідок цих процесів виникає чимало частково реконструйованих об’єктів із різноманітними рівнями цифровізації вторинних систем та різними рівнями доступу як до програмних пристроїв, так і систем передачі сигналів й управління модулями. В результаті цього виникають непрямі проблеми, пов’язані із кібербезпекою, які не призводять до моментального виникнення несправностей, але які мають накопичувальний характер та стають “бомбою уповільненої дії”. Тому на підприємствах енергетичної галузі кожен встановлений інтелектуальний електронний пристрій повинен мати працездатне програмне і мікропрограмне забезпечення. Захисні пристрої оснащуються комунікаційним і основним модулями, кожен з окремим мікропрограмним забезпеченням. Маршрутизатори мають власне мікропрограмне забезпечення, а на ПК встановлюється операційна система і додаткове програмне забезпечення [80].

Для забезпечення кібербезпеки і функціональної безпеки необхідно здійснювати постійне оновлення компонентів такого мікропрограмного і програмного забезпечення.

Таким чином, питанням кібербезпеки енергетичних об’єктів та автоматизованих систем необхідно приділяти особливу увагу. Основною метою вирішення цієї проблеми є забезпечення стабільного та надійного функціонування відповідних систем та модулів при одночасному зменшенні ризиків та ймовірних збитків. Загрози кібератак безумовно існують, проте їх вірогідність та спричинені збитки необхідно оцінювати застосовуючи до кожної системи окремо. Також велике значення для забезпечення кібербезпеки має захист периметру мережі енергетичного об’єкта (фізичної та інформаційної).



Зменшенню ризиків також сприяє запровадження заходів організаційного характеру, здійснення моніторингу мереж системи автоматичного управління, періодичний аналіз стану захищеності.

Враховуючи наявні виклики та ризики світового масштабу МАГАТЕ опікується вказаною проблематикою у зв'язку з чим розробило стандарт стосовно посилення рівня кібербезпеки на АЕС у 2020 році. Цей стандарт дозволить грамотно проводити тренування та навчання з комп'ютерної безпеки. Він враховує позитивні практики та напрацювання в системах захисту, а також містить рекомендації для оперативного реагування на атаки, що можуть виникнути. Таким чином, вказаний документ стане інструкцією для тренувань з кібербезпеки в атомній енергетиці. Забезпечення безпеки критичної енергетичної інфраструктури представляє собою концепцію протидії серйозним загрозам роботи важливих об'єктів інфраструктури та об'єктів підвищеної загрози в регіоні чи державі, особливо в умовах розповсюдження інформаційних технологій, тоді як динамічний розвиток інформаційних технологій обумовлює появу нових видів кібератак, націлених на об'єкти національної енергосистеми [81-85].

У липні 2021 року Великобританія схвалила на державному рівні Стратегію цифровізації вітчизняної енергосистеми та план заходів щодо її реалізації [86]. Достатня увага приділяється саме кібербезпеці енергетичних систем. До 2050 року в енергетичному секторі планується запровадити мільйони низьковуглецевих технологій, включаючи сонячні батареї, теплові насоси та електромобілі. На цьому фоні роль та значення кібербезпеки потужно зростає.

Розуміючи необхідність посилення стану кібербезпеки, у свою чергу, Міністерство енергетики України як профільний орган має намір створити галузевий операційний центр кібербезпеки (Security operations center, SOC). Операційний центр безпеки – це об'єкт, де корпоративні інформаційні системи (веб-сайти, додатки, бази даних, центри обробки даних, сервери, активне мережеве обладнання, комп'ютери та інше кінцеве обладнання) контролюються, оцінюються та захищаються. Це означає запровадження та розбудову кібер-фізичної інфраструктури для інформаційних систем децентралізованого інтелектуального управління енергосистемами.

Одним із стратегічних завдань галузевого операційного центру кібербезпеки є навчання та інформування користувачів, зокрема, прищеплення їм культури кібербезпеки, а також оперативне їх інформування про виникнення загроз та план дій на випадок скоєння кібератак [87-91].

Проблематикою забезпечення кібербезпеки енергетичної галузі останнім часом також переймається і РНБО України. 22 грудня 2020 року Укренерго підписало Меморандум з Радою національної безпеки та оборони України про взаємодію та співробітництво у сфері кібербезпеки та кіберзахисту. Співпраця здійснюватиметься шляхом обміну технічною та технологічною інформацією у сфері забезпечення кібербезпеки, зокрема індикаторами кіберзагроз, інформацією про кіберінциденти тощо [92].

На виконання положень меморандуму Міністерство енергетики України планує створити проєктний офіс для залучення міжнародної технічної допомоги, провести аудит поточного стану кібербезпеки в енергетиці та організувати секторальний центр кібербезпеки критичної інфраструктури енергетичного сектору.

29 квітня 2021 року в Апараті Ради національної безпеки і оборони України у рамках співпраці між Національним координаційним центром кібербезпеки при РНБО України (НКЦК) і Фондом цивільних досліджень та розвитку Сполучених Штатів Америки (CRDF Global) (за підтримки Державного департаменту США) відбулося третє засідання Національного кластера з кібербезпеки [93]. За підсумками зустрічі було визначено, що розбудова цілісної системи забезпечення кібербезпеки ОКІ держави вимагає також чіткого визначення переліку їх ІТС, створення та ведення загальнодержавного реєстру ОКІ, проведення аудиту інформаційної безпеки на об'єктах критичної інфраструктури, а також ухвалення відповідного законодавства.

29 – 30 вересня 2021 року в Одесі відбулося виїзне засідання (у рамках конференції Energy CyberCon 2021) Робочої групи з питань розбудови кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі Міністерства енергетики України, на якому було презентовано кращі проєкти захисту енергетичного сектору від провідних виробників та постачальників рішень у сфері цифровізації та кібербезпеки. Також учасники заходу обмінялися думками щодо місця секторальної кібербезпеки в організаційно-технічній моделі національної кібербезпеки, стандартів кібербезпеки в енергетичному секторі та законодавства в сфері критичної інфраструктури [94].

Таким чином, кібербезпека енергетичної галузі перебуває у фокусі уваги державного апарата, сектору безпеки і оборони та приватних компаній. Атаки на об'єкти критичної енергетичної інфраструктури можуть привести до масштабних катастрофічних наслідків для галузі, екології та економіки країни. Ситуація з атакою у травні 2021 року на американську трубопровідну систему Colonial

Pipeline переконливо це продемонструвала. Атака зупинила роботу всіх трубопроводів системи на цілих 5 днів. В результаті атаки Президент Д. Байден оголосив надзвичайний стан, а за оцінками експертів – це була найбільша успішна кібератака на нафтову інфраструктуру в історії США.

Враховуючи виклики та загрози світового масштабу, Україна має бути здатною забезпечити свій соціально-економічний розвиток у цифровому світі, що вимагає набуття спроможності ефективно стримувати деструктивні дії в кіберпросторі, досягнення кіберстійкості на всіх рівнях та взаємодії всіх суб'єктів забезпечення кібербезпеки [95-100].

### *3.3 Моніторингу електричної мережі в закордонних країнах та в Україні*

Моніторинг передбачає безперервний або дискретно-безперервний контроль технічного стану об'єктів, наявність стаціонарної системи контролю, особливо на шляху розвитку smart grid. Технічно моніторинг реалізується за допомогою стаціонарних засобів вимірювання, телемеханічних ліній і центру збору та аналізу інформації. Всі засоби моніторингу вимагають систематичного контролю і технічного обслуговування. При відсутності телемеханічних ліній моніторинг стає трендом, але більш дорогим в порівнянні з ним [101].

Моніторинг можливий, при наявності у підприємства фахівців здатних виконувати аналіз результатів вимірювань. У більшості випадків, через відсутність фахівців з аналізу результатів вимірювань, засобами моніторингу здійснюється тільки контроль граничних значень параметрів. Поява нових технологій була викликана потребою збільшення керованості електроенергетичних систем: недостатньою пропускнуою спроможністю міжсистемних і системоутворюючих ліній електропередачі, слабкою керованістю електричних мереж, недостатнім обсягом пристроїв регулювання напруги і реактивної потужності, неоптимальним розподілом потоків потужності по паралельних лініях електропередачі різного класу напруги і т. д.

Інформація від інтелектуальних вимірювальних приладів вимірювання може передаватися за допомогою:

- загальнодоступного бездротового зв'язку, принцип роботи якого схожий з бездротовим інтернетом;
- радіозв'язку, з використанням спеціальних частот, більш надійних, ніж в разі загальнодоступного бездротового зв'язку;

- широкосмугових електричних ліній;
- електричних мереж до встановлених на обох кінцях ліній модемами, які дозволять обмінюватися інформацією між споживачами і генеруючими компаніями [102].

При цьому можливі два види систем: індикаторний і релейний. Важлива роль у забезпеченні електропостачання народного господарства належить інтелектуальним мережам, причому значення їх буде неухильно і швидко зростати. Системи моніторингу параметрів режимів функціонування та діагностування обладнання на рівні електроенергетичних об'єктів дозволяють своєчасно виявити загрози його пошкодження і запобігти виникненню аварійних ситуацій, які можуть розвинутися у великі системні аварії. Завдяки цьому забезпечується можливість своєчасного виведення обладнання з роботи. Це надзвичайно важливо, якщо брати до уваги фізичну зношеність більшої частини основного обладнання об'єктів об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України. З існуючого рівня техніки відомі різні способи і системи, призначені для моніторингу стану електричних мереж і мереж зв'язку. Одним з базових компонентів Smart Grid стають «інтелектуальні електронні прилади» (IED) і обладнання, наприклад, програмовані пристрої контролю якості електропостачання, побудовані на базі високопродуктивних мікропроцесорів, які мають достатню пам'ять, підтримку сучасних мережових інтерфейсів і протоколів (BACnet, Modbus, LON, Ethernet). Найбільш сучасні прилади мають вбудовані вебсервери, кольорові touch-дисплеї, функції вільнопрограмованого логічного контролера з різними типами входів і виходів і підтримують роботу в різних мережах без необхідності використання додаткового обладнання і програмного забезпечення.

Для контролю та диспетчеризації стану електричних мереж і енергооб'єктів в даний час застосовується два підходи [103]:

- безперервна передача даних про стан електричної мережі і енергооб'єкта з заданим періодом оновлення, при цьому дані містять значення вимірюваного параметра і містять або не містять позначку часу;

- формування подій при виявленні зміни стану електричної мережі і енергооб'єкта (вихід вимірюваного значення за заданий поріг, зміна поточного вимірюваного значення щодо попереднього на задану величину і т. ін.), при цьому події містять значення вимірюваного параметра і позначку часу події.

Перший підхід при малому (щодо часу зміни вимірюваного технологічного параметру) періоді поновлення дозволяє отримати високий рівень деталізації вимірювальних параметрів, але містить

велику надлишковість в стаціонарному режимі (передаються дані, що не містять нової корисної інформації). Крім того, обсяг даних вимагає наявності каналу зв'язку з енергооб'єктом з досить високою пропускнуою спроможністю. Крайнім випадком першого підходу є безперервне осцилографування форми вхідного сигналу вимірюваного параметра. При відносно великому ж періоді поновлення забезпечується низький ступінь деталізації вимірюваних параметрів, аж до пропуску швидкоплинних процесів.

Другий підхід забезпечує виявлення змін стану електричних мереж і енергооб'єктів при зменшенні, в порівнянні з першим підходом, обсягу даних з енергооб'єкта. До основних способів розвитку передачі електроенергії на сьогодні відносяться: системи моніторингу і діагностики (WAMS), уніфіковані системи управління енергопотоками (UPFC), гнучкі технології передачі на змінному струмі (FACTS), ЛЕП постійного струму (HVDC), надпровідні матеріали.

У свою чергу розподільна мережа стає активним елементом інтелектуальної системи: вона стає спостережуваною, керованою, а споживачі проявляють пристосованість до режимних та ринкових умов функціонування інтелектуальної енергосистеми з метою підвищення економічної ефективності енергоспоживання [104]. Невисока степінь моніторингу призводить до необхідності планових ремонтів обладнання, а не ремонтів по фактичному стану, що веде до нераціональних витрат. У разі пошкодження лінії необхідно точно визначити місце пошкодження для передачі інформації лінійним бригадам. Впровадження "інтелектуальних" технологій веде до оптимального використання резерву обладнання за рахунок можливості визначення поточних умов його роботи (перегрів, перевантаження, рівень заряду батареї, продуктивність) і оцінки можливостей дозавантаження.

Основні методи інтелектуального управління в інтелектуальній енергетичній системі (ІЕС) [105]:

– МАСУ - координація систем управління з використанням системи моніторингу перехідних режимів і пристроїв FACTS, самовідновлення районних ЄЕС, управління попитом на місцевих торгових майданчиках;

– штучні нейронні мережі (ШНМ) і нейромережеві системи управління, асоціативний пошук для ідентифікації та управління, експертні системи - раннє виявлення і локалізація передаварійних режимів, віртуальне моделювання і зниження порядку моделей, порадики оператора, тренажери;

– метод пристосованості векторного управління гнучкими системами змінного струму - первинне і вторинне автоматичне керування напругою і реактивною потужністю, дооптимізації режимів по реактивній потужності в межах графіка навантаження, встановленого мережевою організацією;

– пристосовані моделюючі платформи реального часу - моделювання та оптимізація режимів по реактивній потужності, моніторинг топології мереж і адаптація моделей, пілотні проекти для відпрацювання систем управління і моніторингу;

– метод проектування, створення і підтримання в працездатному стані великомасштабних систем передачі інформації в ІЕС - системний аналіз, верифікація (комплексна перевірка правильності і якості виконання всіх етапів на відповідність технічній документації) та валідація (комплексна перевірка фізичної функціональності) системи, моделювання та моніторинг параметрів інформаційної мережі для своєчасного визначення проблемних ділянок в інформаційній структурі ІЕС;

– метод адаптивного автоматичного керування для ВДЕ, в тому числі вітрових, сонячних, а також в перспективі космічних сонячних електростанцій;

– методи створення сучасних людиномашинних інтерфейсів на основі застосування персональних мобільних інтелектуальних пристроїв вводу /виводу інформації для забезпечення гнучкого управління в розподіленій структурі "ресурс - користувач".

До складу блоків моніторингу і прогнозування нормальних, передаварійних і післяаварійних режимів ЄЕС для управління входять наступні способи [106]:

– оцінки стану (ОС) системи;

– прогнозування параметрів майбутнього режиму, так як ОС дає тільки поточну оцінку режиму з деяким запізненням, але для задач моніторингу та управління ІЕС потрібна якась випереджальна ОС системи;

– оцінки слабких місць в системі в майбутньому режимі;

– оцінки пропускових можливостей зв'язків в майбутньому режимі – необхідна для ефективного використання запасів при оперативному та автоматичному управлінні за рахунок відповідних керуючих впливів;

– візуалізації майбутнього режиму;

– визначення показників і критеріїв переходу з нормального в передаварійний режим і назад, а також з післяаварійного режиму в нормальний.

Для моніторингу та діагностики повітряних ліній електропередачі (ПЛ) використовуються наступні технології:

- повітряне лазерне сканування, яке дистанційно дозволяє отримати просторово-геометричну інформацію про реальні габарити ПЛ з урахуванням рельєфу місцевості, рослинності і спорудах розташованих по трасі ПЛ;

- наземне лазерне сканування, що дозволяє дистанційно отримати найбільш повну просторовогеометричну інформацію на окремо взятій ділянці ПЛ (прогону ПЛ);

- моніторинг температури нагріву проводів ПЛ за допомогою встановлених на проводах ПЛ датчиків температури з подальшою обробкою інформації та отриманням габариту ПЛ в місці установки датчика;

- моніторинг струмового навантаження, швидкості вітру, температури, габариту ПЛ в точці установки, передача інформації з фіксацією координат (GPS);

- за допомогою багатфункціональних пристроїв "Розумна сфера" встановлених на проводах ПЛ;

- моніторинг ожеледної ситуації на ПЛ за допомогою "Автоматизованої інформаційної системи контролю ожеледного навантаження" дозволяє мати інформацію про температуру навколишнього повітря, напрямку і швидкості вітру, вологості і товщиною стінки ожеледі на проводах і грозозахисних тросах і передавати інформацію на диспетчерські пункти; за допомогою багатопунктових систем грозопеленгації;

- обстеження ПЛ, що виконується шляхом обходу траси ПЛ і складається з обстеження опор, їх фундаментів та ізоляційних конструкцій (гірлянд ізоляторів, ізоляційних розпірок і т.п.).

Широке впровадження систем FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems - гнучкі (керовані) системи електропередачі змінного струму) спільно з новими засобами телемеханіки, моніторингу та управління дозволяє забезпечити формування системи передачі електроенергії з новою якістю. Вдосконалені методи контролю або управління (далі - АСМ -Advanced Control Methods) розвивають одну з ключових технологічних областей концепції Smart Grid, забезпечуючи можливість побудови безпечної, надійної і не шкідливої до навколишнього середовища сучасної енергетичної системи [107].

Технології АСМ представляють собою різні пристрої і алгоритми, які будуть аналізувати, діагностувати і прогнозувати умови експлуатація сучасної енергосистеми, а також визначати і робити

відповідні дії з метою усунення, зменшення негативного впливу та запобігання збоїв в роботі системи і перебоїв в якості продукції, що поставляється потужності. АСМ здійснюватимуть моніторинг за основними компонентами (зчитування і вимір), вчасно реагувати на те, що відбувається (інтегровані комунікації; вдосконалені компоненти), забезпечувати оперативну діагностику (вдосконалені інтерфейси і підтримка прийняття рішень). Найбільш ефективним методом автоматизації на даний момент є застосування SCADA-систем (Supervisory Control and Data Acquisition – Диспетчерське управління і збір даних) [108]. Термін "SCADA-система" використовується для позначення програмно-апаратного комплексу збору даних (телемеханічного комплексу).

Перехід на роботу за принципом технології Smart Grid, заснованої на вдосконаленій мережевій аналітиці та використанні сучасних автоматизованих систем управління приладів збору і обробки інформації (SCADA), а також можливість віддаленого моніторингу та контролю над обладнанням дозволить енергокомпаніям продовжити термін експлуатації обладнання, знизити витрати на модернізацію мережі і запобігти мережевій збої [109]. SCADA-системи призначені для здійснення моніторингу та диспетчерського контролю великого числа видалених об'єктів або одного територіально розподіленого об'єкта.

З метою створення технологічного базису електроенергетики за принципами розвитку Smart Grid були сформовані п'ять технологічних областей, що забезпечують найкращий розвиток:

- вимірювальні прилади і пристрої, що включають, в першу чергу, smart лічильники і smart датчики;

- вдосконалені методи управління: розподілені інтелектуальні системи управління і аналітичні інструменти для підтримки комунікацій на рівні об'єктів енергосистеми, що працюють в режимі реального часу і дозволяють реалізувати нові алгоритми і методики управління енергосистемою, включаючи управління її активними елементами;

- вдосконалені технології і компоненти електричної мережі: гнучкі передачі змінного струму FACTS, системи постійного струму, надпровідні кабелі, напівпровідникова, силова електроніка, накопичувачі та ін.;

- інтегровані інтерфейси і методи підтримки прийняття рішень, управління попитом, розподілена система моніторингу і контролю (DMCS), розподілена система поточного контролю за генерацією (DGMS), автоматична система вимірювання процесів, що протікають



(AMOS) і т.п., а також нові методи планування і проектування як розвитку, так і функціонування енергосистеми і її елементів;

– інтегровані комунікації, які дозволяють елементам перших чотирьох груп забезпечувати взаємозв'язок і взаємодію один з одним, що і являє, по суті, Smart Grid як технологічну систему.

Концепція побудови автоматизованої системи на шляху до розвитку Smart Grid базується на використанні стільникового зв'язку стандарту GSM для передачі інформації між пристроями нижнього рівня й диспетчерськими станціями енергосистеми. При цьому автоматично забезпечується наскрізна адресація всіх вузлів мережі за рахунок присвоєння абонентських номерів стільниковому зв'язку. Це дає можливість доступу до первинної інформації на будь-якому рівні ієрархії системи керування, а також можливість дублювання каналів приймання інформації [110].

Система моніторингу втрат електричної енергії (СМПЕЕ) – це система технічного, інформаційного, методичного, програмного та організаційного забезпечення призначеного для оперативного розрахунку і аналізу технологічної складової втрат електричної енергії, являє собою програмно-обчислювальних комплексів (ПОК), що дозволяє проводити моніторинг втрат електричної енергії і виявляти "осередки" наднормативних втрат електричної енергії. ПОК проводить збір і обробку великого обсягу інформації про режими роботи електричної мережі, встановлене електрообладнання, схеми електропостачання, дозволяє вирішити проблему за рахунок організації автоматичного введення інформації від систем обліку електричної енергії, систем телемеханіки і телевимірювань [111]. Для технічного забезпечення передачі інформації використовуються GSM-модеми стільникового зв'язку, що вбудовані в блоки БВ і блоки БД. Враховуючи, що GSM-модеми, мають більшу чутливість прийому, ніж мобільні телефони, і виносню антену, то дальність зв'язку в даному випадку виявляється більшою.

Одним зі способів організації моніторингу електричної мережі є автоматична система контролю і обліку електроенергії (АСКОЕ) – це інструмент, що дозволяє споживачеві отримати розгорнуту картину енергоспоживання і домогтися раціональної витрати електроенергії, з врахуванням всіх індивідуальних особливостей споживача. Важливою складовою АСКОЕ є можливість аналізу споживання (передачі) енергії і потужності. Регулярний аналіз режимів спвання за періоди часу дозволяє виявити прорахунки в організації постачання електроенергії.

Інтелектуальна енергетична система повинна включати в себе можливість використання альтернативних поновлюваних джерел

енергії, підтримувати належний рівень стійкості режиму електропостачання з можливістю оперативного управління конфігурацією електричної мережі, виконувати комплексний автоматизований контроль рівня енергоспоживання, енергоефективності і енерговитрат [112-114], здійснювати структурування споживачів під можливість ситуаційного управління навантаженням в умовах взаємодії центрів управління, включати в неї так звані розподілені енергетичні ресурси.

Зараз в більшості випадків для оцінки параметрів електричних мереж використовується так звана модель статичного визначення пропускної здатності ліній (SLR). Для сучасних мереж електропостачання моніторинг здійснюється на основі динамічного визначення (DLR). Моніторинг мереж електропостачання дозволяє оцінити пропускну здатність мережі, а також в залежності від зміни параметрів визначати максимальні навантаження [113].

### ***3.4 Нормативно-технічна база впровадження інтелектуальних енергетичних систем на основі технологій Smart Grid***

На сьогоднішній день приділяється велика увага розробці технічних та нормативних документів, які описують норми та вимоги для забезпечення інформаційної безпеки Smart Grid систем. Основою нормативно-технічної складової створення інтелектуальної електроенергетичної системи, яка описує та регламентує вимоги, завдання, питання з стандартизації, що ставляться перед системою, є ряд директив та технічних завдань:

- Директива 2004/22/ЄС про вимірювальні прилади (скорочено – Директива MID);
- Директива 2006/32/ЄС про ефективність кінцевого використання енергії та енергетичні послуги;
- Директива 2004/8/ЄС про просування когенерації на внутрішньому енергетичному ринку;
- Директива про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел (2009/28/ЄС);
- Директиви 2009/72/ЄС і 2009/73/ЄС («Третій енергетичний пакет»);
- Технічне завдання зі стандартизації M/468 від 29 червня 2010 р. щодо питань зарядки електричних транспортних засобів;

- Директива 2002/58/ЄС Європейського парламенту та Ради про обробку персональних даних і захисту конфіденційності у сфері електронних комунікацій;

- Директива про утримання даних (Директива 2006/24/ЄС);

- Директива про правові основи використання електронних підписів;

- Директива 1999/5/ЄС про кінцеве обладнання телекомунікаційних ліній і радіозв'язку;

Комюніке СОМ (2010) 245 про Європейську програму впровадження цифрових технологій (Digital Agenda for Europe) та ін. [114].

Необхідно відзначити, що Європейський комітет стандартів, Європейський комітет зі стандартизації в електротехніці та Європейський інститут стандартів електрозв'язку працюють над нормативною базою, що дозволяє європейським організаціям зі стандартизації безперервно покращувати і удосконалювати стандарти в галузі інтелектуальних електромереж, забезпечуючи взаємну узгодженість і сприяючи безперервній інновації.

Актуальність проведення дослідження зарубіжних нормативних документів, що стосуються інформаційної безпеки, викликана тим, що на сьогодні у світі Smart Grid системи починають створюватися і розвиватися, а в Україні вони нормативно не закріплені і не описані.

Розвиток системи стандартизації та нормативно-технічного забезпечення в галузі електроенергетики, розробка та гармонізація комплексів стандартів та інших нормативно-технічних документів (НТД), які об'єднують безліч інтелектуальних цифрових обчислювальних і комунікаційних технологій та електричних архітектур, а також пов'язані з ними встановлені норми і процедури, процеси і послуги, які функціонально та інформаційно повинні бути сумісні і забезпечувати необхідні показники надійності, безпеки і якості, різноманітні інтелектуальні електромережі, достатньо гнучкі для їх інтегрування в майбутні розробки. Необхідно відзначити, що інтелектуальні системи відрізняються від інших самодіагностикою і саморегулюванням і повинні відображати технічні та організаційні потреби в стійкій інформаційно-безпечній інтелектуальній електромережі з урахуванням конфіденційності. Учасники повинні отримати можливість збору, використання, обробки, зберігання, передачі та видалення всієї інформації. Це дозволить надавати послуги інтелектуальних електромереж на базі відповідної інформаційно - комунікаційної системи, яка за своєю природою буде захищеною в

інфраструктурі мереж передачі і розподілу електроенергії, а також у під'єднаних пристроях.

Оскільки інвестиції в електрогенеруючі і мережні інфраструктури є сферами довгострокової прибутковості, вони вимагають стабільної нормативної бази. Для досягнення цілей в енергетиці необхідний новий глобальний підхід до виробництва, передачі, розподілу, вимірювання, поставок, накопичення і зберігання, а також споживання електроенергії. Буде потрібно широкомасштабне впровадження систем стандартизації з інтеграції технологій зберігання енергії. Стандарти енергоефективності стануть загальним вектором розвитку, попит – істотним фактором в енергосистемах, зростаюча електрифікація транспорту – одним із стратегічних завдань.

Серед нормативних документів, що відносяться до забезпечення інформаційної безпеки систем управління, систем диспетчерського управління та збору даних (SCADA), автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУ ТП) і Smart Grid, виділяються наступні документи міжнародних та національних галузевих стандартів та поданий загальних опис даних документів [116].

Міжнародні стандарти:

1. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) [115]:

- IEEE 1402. IEEE Guide for Electric Power Substation Physical and Electronic Security. Стандарт носить загальний характер і визначає основні підходи до планування, проектування, будівництва та експлуатації електричних підстанцій. Даний стандарт не містить детальних специфікацій щодо забезпечення інформаційної безпеки.

- I IEEE 1686. IEEE Standard for Substation Intelligent Electronic Devices (IED) Cyber Security Capabilities. Стандарт описує специфікації, які необхідно виконати для оцінки захищених інтелектуальних електронних пристроїв (ІЕП). Цей документ дає можливість оцінити функції забезпечення кібербезпеки як уже застосованих ІЕП, так і тих, які планується використовувати.

- I IEEE P1711. Trial Use Standard for a Cryptographic Protocol for Cyber Security of Substation Serial Links. Документ описує механізм шифрування для асинхронного послідовного каналу зв'язку. Стандарт наказує використовувати криптографічні алгоритми, які затверджені NIST і реалізовані відповідно до федеральних стандартів FIPS PUB 140-2.

2. International Organization for Standardization (ISO) ISO 27019. Information security management guidelines for process control systems used in the energy utility industry on the basis of ISO/IEC 27002. На

сьогодні зазначений стандарт знаходиться в стадії розробки. Основним його призначенням буде деталізація загальних вимог ISO/IEC 27002 для підприємств енергетичної галузі, які експлуатують системи реального часу. Планується використовувати стандарт спільно з ISO/IEC 27002.

### 3. International Electrotechnical Commission (IEC):

- IEC TR 62210. Power system control and associated communications. Data and communication security. Цей документ є технічним звітом, що робить акцент на механізмах захисту комунікаційних протоколів, які застосовуються в мережах управління електричних систем. Також в документі наведено приклади вразливості систем та можливі шляхи їх блокування. У звіті приділено особливу увагу відсутності механізмів аутентифікації пристроїв.

- IEC 61784-4. Digital data communications for measurement and control – Profiles for secure communications in industrial networks. Стандарт описує можливі загрози та порядок аналізу наслідків їх реалізації, вимоги до систем безпеки зв'язку, порядок здійснення віддаленого доступу за допомогою модему, а також встановлює профілі безпеки керуючого центру, корпоративної мережі, мережі вищого рівня керуючого центру, віддаленого управління за допомогою мережі Інтернет або Інтранет.

- IEC 62443. Security for industrial process measurement and control – Network and system security. Даний стандарт розроблений на базі галузевих стандартів ANSI / ISA 99 і на сьогодні складається з таких частин:

- IEC/TS 62443-1-1. Industrial communication networks - Network and system security - Part 1-1: Terminology;

- IEC/TR 62443-3-1. Industrial communication networks - Network and system security - Part 3-1: Security technologies for industrial automation and control systems;

- IEC/PAS 62443-3. Security for industrial process measurement and control - Network and system security.

В цілому, стандарт описує основні поняття і терміни, які пов'язані з безпекою виробництва та системою управління; практичні рекомендації щодо складання планів, спрямованих на забезпечення безпеки; конкретні вимоги до безпеки виробництва та систем управління з урахуванням специфіки промислових мереж; життєвий цикл програмного забезпечення захисту систем управління, а також планування промислового виробництва.

- IEC 62351. Data and Communication Security. Стандарт розглядає питання інформаційної безпеки підсистем управління енергосистемами. Також документ говорить про необхідність

модернізації низки стандартів, визначених IEC TC 57, для гарантування безпеки комунікаційних протоколів. Зокрема, мова йде про стандарти, які описують комунікаційні мережі енергосистем, а саме: IEC 60870-5, IEC 60870-6, IEC 61850, IEC 61970, IEC 61968. У стандарті вводиться базове поняття «кінцевої безпеки», під яким розуміється захист інформації в усьому тракті передачі, від пункту створення до пункту використання. Документ містить частини, які визначають механізми поліпшення безпеки комунікаційних профілів, присвячені питанням авторизованого доступу та забезпечення безпеки інформації під час її передачі між різними підсистемами. На даний час можна представити деяку ієрархію стандартів інтелектуальних мереж, яка зображена на рис.3.3.

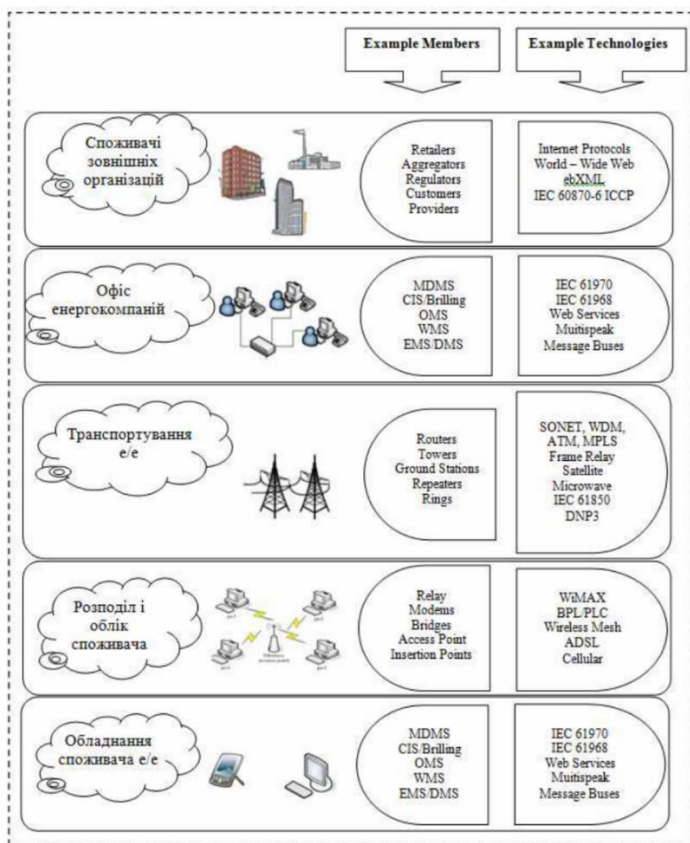


Рисунок 3.3 – Ієрархія стандартів інтелектуальних мереж

Національні галузеві стандарти [116-120].

1. National Institute of Standards and Technology (NIST): - NIST SP800-82. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security. Стандарт дає рекомендації щодо забезпечення безпеки систем промислового управління (ICS), в тому числі і SCADA, а також розподілених систем управління (DCS). У документі міститься огляд ICS і їх стандартних топологій, визначаються типові загрози та вразливості. NIST SP800 - 82 складається з декількох розділів, які описують [121]:

- огляд SCADA та інших ICS, а також обґрунтування необхідності забезпечення їх безпеки;

- відмінності між ICS та інформаційно - телекомунікаційними системами;

- загрози, вразливості та інциденти;

- процес розробки та впровадження програмного забезпечення ICS;

- рекомендації щодо інтеграції механізмів забезпечення безпеки в мережних архітектурах ICS;

- висновки з управління, оперативних і технічних засобів контролю, які описані в NISTSP800 - 53, а також вказівки про те, як ці засоби забезпечення безпеки застосовуються в ICS.

- NIST SP800-53. Security and Privacy Controls for Federal Information Systems and Organizations. Документ регламентує забезпечення безпеки систем управління типу SCADA федеральних інформаційних систем і орієнтований на широку аудиторію – від розробника до постачальника послуг. У стандарті дано докладний опис профілів безпеки та механізмів їх забезпечення. Також слід зазначити, що даний документ є одним із серії стандартів, спрямованих на реалізацію управління ризиками. Стандарт NIST виходить з двох основних принципів побудови системи стандартів, специфікацій і посібників: першочерговість створення стандартів з функціональної сумісності ставить на перше місце взаємозв'язок і взаємозумовленість основних складових інтелектуальної системи; відкритість обговорення проектів стандартів і пропозицій і зауважень до них; орієнтація на застосування створених стандартів у міжнародному масштабі. Виходячи з основних складових інтелектуальної системи (генерація, передача, розподіл, ринки, операції, сервісний провайдер і клієнт), пріоритетними галузями, які підлягають стандартизації, є: широкозонна ситуаційна обізнаність, реакція попиту та енергоефективність для клієнтів, акумулювання електроенергії, кіберзахисність, мережна система зв'язку, удосконалення інфраструктури вимірювання енергоспоживання, управління мережею розподілу електроенергії.

- NISTIR 7628. Guidelines for Smart Grid Cyber Security. Даний нормативний документ описує кібербезпеку в Smart Grid системах. Як і IEC 62351 і NIST SP800-53, він встановлює профілі безпеки, а також призводить у відповідність профілі безпеки по відношенню до NIST SP800-53 і NERC CIP. Також в NISTIR 7628 дано опис безлічі об'єктів і суб'єктів, які належать позначеним доменам, і визначено взаємозв'язки між ними. Причому взаємозв'язки об'єктів і суб'єктів описані з точки зору необхідності забезпечення цілісності, конфіденційності та доступності. Ще однією цікавою обставиною є те, що NISTIR 7628 описує вимоги до криптографічних механізмів захисту інформації. Ці вимоги викладені з урахуванням подальшої перспективи розвитку (2030) систем безпеки.

2. Industrial Automation and Control Systems Security (ISA) ISA SP-99. Цей галузевий стандарт описує підходи до забезпечення інформаційної безпеки системи виробництва і управління виробництвом. На базі ANSI/ISA-62443 розроблений стандарт IEC 62443. Security for industrial process measurement and control - Network and system security. Таким чином, ISA-99 повністю увійшов в IEC 62443 і розвивається як ANSI / ISA і IEC.

3. American Gas Association (AGA). Стандарт є пакетом документів, який пропонує практичні рішення, пов'язані із захистом SCADA від кібератак. Акцент робиться на забезпеченні конфіденційності зв'язку як механізму авторизації користувача. На сьогодні ці документи описують механізми шифрування асинхронних послідовних протоколів, захисту мережних систем та захисту вбудованих компонент SCADA. Сучасні стандарти управління та інформаційного обміну між рівнями Smart Grid подано на рис. 3.2. Слід зазначити, що AGA 12 пропонує використовувати криптографічні алгоритми, затверджені NIST і відповідні FIPS PUB 140-2 .

4. North American Electric Reliability Corporation (NERC). Документ складається з нормативних актів, що регламентують питання забезпечення кібербезпеки в SCADA та інших критично важливих об'єктів інфраструктури електросистем. Стандарт описує практично всі рівні забезпечення безпеки від фізичної охорони до захисту систем управління. У той же час необхідно відзначити, що ступінь деталізації цих вимог досить низький, а самі вимоги носять декларативний характер:

- NERC CIP-002. Cyber Security - Critical Cyber Asset Identification;

- NERC CIP-003. Cyber Security – Security Management Controls;

- NERC CIP-004. Cyber Security - Personnel & Training;



- NERC CIP-005. Cyber Security - Electronic Security Perimeter(s);
- NERC CIP-006. Cyber Security - Physical Security of Critical Cyber Assets;
- NERC CIP-007. Cyber Security - Systems Security Management;
- NERC CIP-008. Cyber Security - Incident Reporting and Response Planning;
- NERC CIP-009. Cyber Security - Recovery Plans for Critical Cyber Assets;
- NERC CIP-010. Cyber Security – Configuration Change Management and Vulnerability Assessments;
- NERC CIP-011. Cyber Security – Information Protection. Також він визначає мінімальні вимоги необхідні для забезпечення відповідності та надійності електросистем.

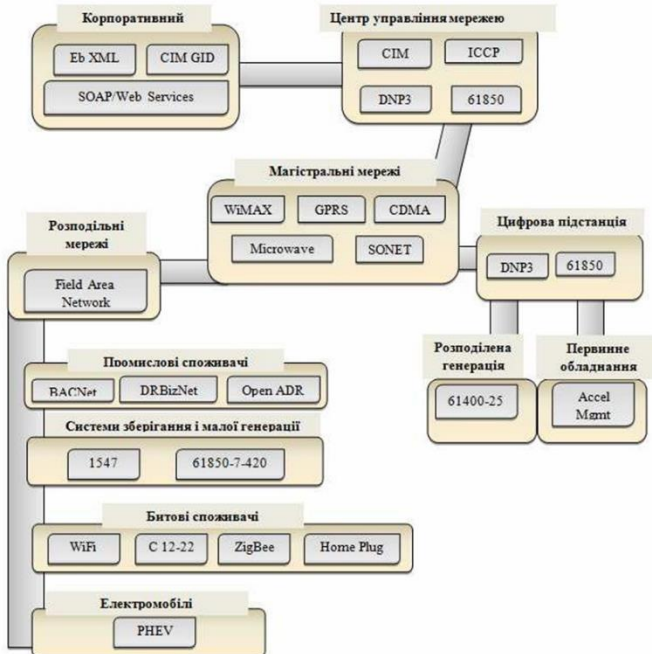


Рисунок 3.4 – Стандарти управління та інформаційного обміну між рівнями Smart Grid

Вимоги та норми інформаційної безпеки, діагностики, контролю, надійності інтелектуальних систем на базі концепції Smart Grid, впровадження і розвиток якої вже здійснюється багатьма країнами

світу. А для реалізації даної концепції в енергетиці України потрібно вирішення організаційних та технічних засобів, а також системи стандартизації [122].

### ***3.5 Стандарт МЕК 61850 «Комунікаційні мережі і системи підстанцій»***

За останні десятиліття різко зросло використання «цифрових» даних. Розподільні підстанції, електростанції, промислові, комерційні і навіть побутові споживачі виражають різні аспекти своєї життєдіяльності у цифровому вигляді. Внаслідок чого виникла необхідність нової інформаційної моделі комунікації для керування великою кількістю пристроїв та зв'язку різних пристроїв один з одним. Така модель була розроблена та стандартизована як стандарт МЕК 61850 (Системи та мережі зв'язку підстанцій).

Робота над стандартом МЕК 61850 розпочалася у 1995 році двома незалежними, паралельно працюючими групами. Пізніше, у 1997 році, роботи обох груп були об'єднані під егідою робочої групи 10 ТК 57 МЕК та увійшли в основу стандарту МЕК 61850.

В основі стандарту лежать три положення:

- він має бути технологічно незалежним, тобто незалежно від технологічного прогресу стандарт повинен зазнавати мінімальних змін;
- він повинен бути гнучким, тобто допускати розв'язання різних завдань з використанням одних і тих самих стандартизованих механізмів;
- він має бути розширюваним.

На сьогоднішній день МЕК 61850 складається з 25 різних документів, які охоплюють широке коло питань і роблять його набагато більшим, ніж просто специфікацією низки комунікаційних протоколів. При роботі з МЕК 61850 необхідно враховувати, що стандарт не описує конкретні методики впровадження, вимоги до конкретних продуктів, не стандартизує функціональність та алгоритми пристроїв, сфокусований на описі можливостей первинного та вторинного обладнання, функцій захисту, управління та автоматизації, видимих ззовні. До недоліків стандарту часто відносять неконкретність опису вимог і надто велику свободу при реалізації, що, на думку розробників, якраз є одним із його головних переваг.

Достатня більшість стандарту МЕК 61850 присвячена визначенню вимог до опису інформації всередині пристрою. Так, сьомий розділ стандарту МЕК 61850 визначає ієрархічну структуру зберігання даних усередині пристрою та способи звернення до них.

Щоб розглянути структуру організації даних усередині пристрою відповідно до МЕК 61850, корисно розпочати розгляд із «логічних вузлів». Відповідно до стандарту Логічний вузол (Logical Node) є найменшим елементом, здатним обмінюватись даними. Логічний вузол зручно розглядати як одну із складових функцій пристрою. Окремо слід згадати про так звані «загальні логічні» вузли, клас яких має найменування GGIO. Загальні логічні вузли призначені для моделювання вузлів даних, які не підпадають під опис жодної з функціональних груп. У сервері може бути реалізовано один або кілька так званих «логічних пристроїв». Основним призначенням логічних пристроїв є угруповання логічних вузлів [123].

Протокол GOOSE, описаний главою МЕК 61850-8-1, є одним з найбільш широко відомих протоколів, передбачених стандартом МЕК 61850.

Набори даних використовуються для групування даних, які будуть надсилатися пристроєм за допомогою механізму GOOSE-повідомлення. Слід зазначити, що в рамках одного GOOSE-повідомлення може надсилатись як одне значення (наприклад, сигнал пуску МТЗ), так і одночасно кілька значень (наприклад, сигнал пуску та сигнал спрацьовування МТЗ тощо). Пристрій-одержувач, при цьому, може витягти з пакета ті дані, які йому необхідні. Пакет GOOSE-повідомлення, що передається, містить усі поточні значення атрибутів даних, внесених до набору даних. При зміні будь-яких значень атрибутів, пристрій моментально ініціює надсилання нового GOOSE-повідомлення з оновленими даними. За призначенням GOOSE-повідомлення покликане замінити передачу дискретних сигналів по мережі оперативного струму.

В 1980 протокол MMS (Manufacturing Message Specification) був розроблений для автоматизації автомобільного виробництва компанією General Motors. Однак широкого поширення протокол отримав лише після того, як був суттєво перероблений компанією Boeing, після чого набув широкого поширення в автомобільній та аерокосмічній галузях і став активно використовуватися виробниками програмованих логічних контролерів (Siemens, Schneider, Daimler, ABB). 1990-го MMS був стандартизований як IEC/МЕК 9506. На сьогоднішній день існує друга редакція цього стандарту від 2003 року.

Завдання, що вирішувалися при розробці протоколу MMS, були в цілому схожі на завдання, які вирішуються стандартом МЕК 61850 [124]:

– забезпечення типової процедури передачі даних з контролерів різних типів незалежно від їх виробника;

– зчитування та запис даних повинні здійснюватися за допомогою стандартних повідомлень.

MMS не визначає прикладних сервісів, які визначені стандартом МЕК 61850. Крім того, протокол MMS сам по собі не є комунікаційним протоколом, він лише визначає повідомлення, які мають передаватися по певній мережі. Як комунікаційний протокол у MMS використовується стек TCP/IP. Однією з основних ідей, закладених у стандарт МЕК 61850 є його незмінність з часом. MMS не визначає прикладних сервісів, які визначені стандартом МЕК 61850. Крім того, протокол MMS сам по собі не є комунікаційним протоколом, він лише визначає повідомлення, які мають передаватися по певній мережі.

В даний час розроблено стандарт МЕК 61850 для промисловості, що є міжнародним стандартом. Цей стандарт відповідає на більшість питань, що виникають у зв'язку із цифровими перетвореннями. Стандарт відображає функціональну сумісність обладнання від різних виробників із встановленими процесами сертифікації на відповідність. Обговорюється можливість використання стандарту МЕК 61850 як протокол зв'язку підстанції із центром управління. Стандарт МЕК 61850 стає кращим, тому що мережеві компанії всього світу переходять до рішень на основі обчислювальних мереж для підстанцій.

Модель цифрової підстанції (далі – ЦП) за МЕК 61850. Відповідно до стандарту система автоматизації інформаційного обміну на енергооб'єкті за схемою ЦП має складатися із трьох рівнів: процесу, приєднання та станції. У свою чергу кожен рівень виконує відповідні йому функції, за які відповідають певні типи пристроїв: вимірювальні для рівня процесу, спостереження та реагування для рівня приєднання та диспетчерський центр рівня станції.

Датчики збору інформації на рівні процесу передають дані про значення струму та напруги на рівень приєднання, де їх обробляють пристрої моніторингу. За результатами перевірки значень при виявленні помилки подається сигнал пристрою релейного захисту та автоматики, за допомогою функції захисту відправляються дані на рівень станції. Через функції управління АРМ повідомляє рівень приєднання до пристроїв управління і далі рівень процесу команду, наприклад, «вимкнути комутаційні апарати».

Наведені вище функції детально вказані в технічних рекомендаціях МЕК 61850-5 першої редакції. П'ятий розділ стандарту регламентує вимоги до продуктивності системи в розрізі тимчасових характеристик процесів.

Таким чином, обов'язково повинні бути враховані такі складові повного часу передачі сигналу через мережу як [125]:

- час кодування сигналу, що надійшов від рівня процесу;
- час передачі сигналу через мережу зв'язку;
- час декодування отриманих даних та їх передачі до інших пристроїв.

Загалом у стандарті МЕК 61850-8-1 передбачено два варіанти комунікаційних профілю, за якими діють протоколи: MMS та Non-MMS. Профіль Non-MMS є горизонтальним і передбачає інформаційний обмін між пристроями одного рівня, до нього відноситься протокол GOOSE. Передача миттєвих значень струму і напруги від вимірювальних пристроїв пристрої РЗА за протоколом Sampled Values (SV) є вертикальним профілем, як і сам MMS, по якому надходять сигнали захисту в диспетчерський центр на АРМ.

Таким чином, повномасштабна функціональна модель цифрової підстанції матиме такий вигляд (рис.3.5):

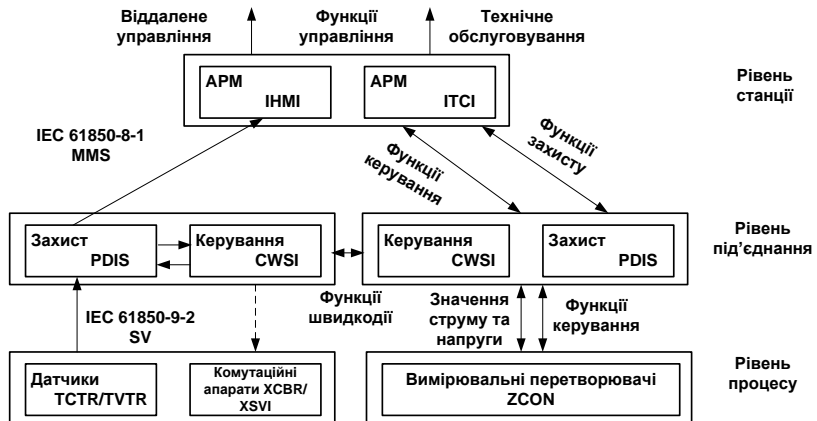


Рисунок 3.5 – Інформаційна модель цифрової підстанції МЕК 61850

Таким чином, стандарт МЕК 61850 спрямований на мінімізацію кількості факторів, що впливають на інформаційні системи підстанцій за рахунок зниження числа задіяних елементів системи і приведення їх на більш новий рівень із застосуванням цифрових інтелектуальних пристроїв [126].

**Контрольні питання до розділу 3**

1. Охарактеризуйте стан кібербезпеки інтелектуальних систем сучасної енергетики.
2. Наведіть класифікацію методів оцінки кібербезпеки в енергетиці.
3. Наведіть методологію аналізу кіберзагроз та оцінки ризиків порушення кібербезпеки об'єктів енергетичної інфраструктури.
4. Наведіть основні методи інтелектуального управління в інтелектуальній енергетичній системі.
5. Наведіть нормативно-технічну базу впровадження інтелектуальних енергетичних систем на основі технологій Smart Grid.
6. Поясніть концепцію побудови автоматизованої системи розвитку Smart Grid.
7. Наведіть ієрархію стандартів інтелектуальних мереж.

## РОЗДІЛ 4

### ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ПЛАТФОРМА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТА МЕРЕЖАМИ

#### 4.1 Системи керування потоками енергії

В залежності від типу керованої мережі (Network Manager) – мережа передачі чи розподілу – можна виокремити системи керування передачею електроенергії (TMS) і системи керування розподілом електроенергії (DMS) [11, 111, 112, 116, 120]. До скасування державного регулювання системи керування енергоспоживанням (EMS) використовувалися, в основному, для комплексного керування виробництвом і передачею електроенергії. Після скасування державного регулювання поділ цих двох функцій призвело до створення систем керування виробництвом електроенергії (GMS) для незалежного керування генеруючими потужностями.

Компанія Newton-Evans опублікувала результат дослідження по застосуванню різних автоматизованих систем енергетичними компаніями з 25 країн світу [123]. Це масштабне дослідження проведено на підставі опитувань, що проводяться Newton-Evans з 1984 року. Згідно з результатами опитування, SCADA-системи експлуатують всі компанії, в той час як систему керування енергоспоживанням (EMS) є тільки в 74% опитаних компаній. Системи керування розподільними мережами (DMS) використовуються в 52% компаній, а системи керування відключеннями (OMS) – 62%. З точки зору застосовуваного обладнання впевнено лідирує компанія GE (включаючи Alstom Grid), слідом йдуть ABB і Siemens. У той час, як майже 2/3 опитаних компаній планують оновити свої SCADA-системи, 29% планують ввести в експлуатацію нові системи EMS і DMS.

Серед опитаних компаній 40% заявили, що розосереджені джерела енергії (DER) інтегровані в їх SCADA-системи, а 47% планують інтегрувати їх в найближчі кілька років. У Північній Америці 82% компаній планують в майбутньому інтегрувати DER в свої SCADA-системи, однак вони ще не впроваджені. Майже 34% опитаних компаній у світі вказали, що вони об'єднали в своїх системах функції SCADA / DMS і OMS. При цьому 28% не планують цього робити, як і половина північноамериканських компаній. В останні роки компанії стали приділяти більше уваги кібербезпеці. Більше половини респондентів використовують сервіси сторонніх компаній для кіберзахисту своїх об'єктів, а 48% вдаються до сторонньої допомоги для захисту критичної інфраструктури і оцінки вразливості. При цьому 23%

компаній проявили інтерес до впровадження хмарних технологій на своїх об'єктах. Крім того, частка компаній, що використовують програмне забезпечення для збору даних про відключення збільшилася з 29% до 69% [123-133].

Системи керування розподільними мережами (distribution management system, DMS) і системи обробки відключень (outage management system, OMS) з плином часу зазнали схожі зміни, значною мірою завдяки розвитку обчислювальної техніки [111, 114, 115, 110, 116, 120]. Розвиток систем DMS починалося з доповнень до систем SCADA / EMS, адаптованих до рівня розподільних систем, а також з автономних систем. Відмінність таких систем від їх аналогів з магістральних мереж полягає в додаткових прикладних функціях, специфічних для розподільних мереж.

Цілі інтеграції систем SCADA / EMS з раніше незалежними засобами керування розподільними мережами та обробки відключень багатогранні. Рішення представляється у вигляді засобу, що забезпечує цілу низку функціональних удосконалень, які, в свою чергу, позитивно позначилися б на функціонуванні системи:

- інтегроване керування операціями (при збереженні всіх експлуатаційних даних в одній системі різними суб'єктами (наприклад, співробітники пункту управління, виїзний персонал, конструкторський відділ) можуть використовувати в роботі одне джерело даних);

- аналіз зв'язності (завдяки більш повного і глибокого аналізу керування великими і різномірними електричними мережами може бути більш точним, ефективним і безпечним);

- підвищена продуктивність праці (співробітники енергетичної компанії можуть витрачати менше часу на збір інформації та більше – на її використання);

- інтеграція даних в масштабі підприємства (можуть бути вдосконалені інформаційні потоки між споживачами, відділом експлуатації, конструкторським відділом і керівництвом);

- миттєве охоплення стану мережі (енергетичні компанії можуть отримати набагато більш повне уявлення про стан системи в будь-який момент часу);

- оптимізація роботи мережі (система енергопостачання може експлуатуватися найбільш ефективним чином з технічної точки зору). Детально розглянемо особливості побудови децентралізованих систем керування енергією (Distributed Energy Management System, DEMS) {інше позначення: Distributed Energy Resource Management System (DERMS)} [111, 114, 115, 116, 20].



Таблиця 4.1 – Функції DEMS

№ з/п	Функція DEMS	Характеристика функції DEMS
1	Функція планування	Розглядають на періоді часу від одного до семи днів з тимчасовим дозволом в залежності від розрахункового періоду продажу і покупки енергії, наприклад, 15, 30 або 60 хв. Функція прогнозу погоди DEMS забезпечує імпорт / розрахунок даних прогнозу погоди, які використовуються в якості вхідних даних для інших функціональних модулів DEMS. Функція прогнозу погоди має можливість імпорту прогнозу метеорологічних даних із зовнішніх джерел, наприклад, метеорологічних служб. За допомогою алгоритму корекції ковзним середнім мінімізується різниця відхилення між зовнішнім прогнозом і локально обмірюваними фактичними метеорологічними даними.
2	Функція прогнозу навантаження	Забезпечує розрахунок для декількох класів навантаження. Основні дані – це безперервні історичні дані вимірюного навантаження з дозволом, відповідним функції планування.
3	Функція прогнозу генерації	Обчислює очікувані обсяги генерації ВДЕ, в залежності від прогнозованих погодних умов. В якості алгоритму прогнозування використовується кусково-лінійне перетворення двох метеорологічних змінних в очікувану потужність згідно матриці перетворення (наприклад, швидкість і напрямок вітру для вітрових силових агрегатів, інтенсивності світла і температура навколишнього повітря для фотоелектричних систем). Матриця перетворення може бути налаштована відповідно до технічних специфікацій установки та / або оцінці на основі історичних свідчень потужності і метеорологічних вимірювань шляхом застосування нейромережевих алгоритмів (в кроці автономного аналізу).
4	Функція диспетчерських графіків	Обчислює оптимізовані графіки (включаючи зобов'язання) для всіх установок, які адаптуються, таких як контракти, енергоблоки, сховища і гнучкі вимоги. Функція цілі полягає в різниці доходів за вирахуванням витрат, прибутку. Планування враховує параметри елементів моделі і їх топологічні зв'язки, які визначають фінансову інформацію, а також технічні, екологічні та

		договірні параметри і обмеження віртуальної електростанції.
5	Функція керування виробництвом електроенергії	Передбачає контроль і нагляду за всіма генеруючими потужностями і обладнанням акумуляції VPP. Залежно від режиму керування відповідного блоку (незалежний, ручний, за розкладом або режим керування) і параметрів блоку (мінімальна / максимальна потужність, градієнт потужності, енергоємність), фактичного стану (в роботі, в очікуванні, віддалений запуск, дистанційне керування, збій) та фактичної потужності блоку, розраховуються команди на пуск / зупинка та уставки потужності для блоків, що передаються через командний інтерфейс.
6	Функція керування споживанням електроенергії	Передбачає контроль і спостережуваність за всім гнучким навантаженням VPP. Клас гнучкого навантаження може містити один або кілька груп навантаження з однаковим пріоритетом, коли одна група навантаження може бути включена або виключена повністю за допомогою однієї комутаційної команди. Залежно від режиму керування класу навантаження (незалежний, за розкладом або в режимі керування) і фактичного комутаційного стану, стану фактичного елемента керування, фактичного енергоспоживання і допустимого часу керування груп навантаження, розраховуються необхідні команди на перемикання для забезпечення уставки загального навантаження і передається через командний інтерфейс (застосовується циклічне відключення навантаження групи навантаження одного класу).
7	Функція моніторингу енергообміну	Обчислює очікуване відхилення узгодженого графіка обміну енергією в поточний обліковий період (15, 30 або 60 хв.) і значення необхідної корекції потужності для підтримки обміну за графіком. На основі фактичного енергоспоживання в поточному звітному періоді та фактичною тенденцією обміну потужності, в кінці звітного періоду розраховується передбачувана енергії обміну. Різниця між цим значенням і значенням узгодженого обміну, поділене на час, що залишився звітного періоду, дає значення необхідної загальної корекції потужності, яка необхідна для підтримки графіка узгодженого обміну в кінці розрахункового

		періоду. Це значення передається функції оптимізації і координації в реальному часі для подальшої обробки.
8	Функція оптимізації та координації в реальному часі	Відправляє загальне значення корекції енергії на всі окремі блоки генерації електроенергії, пристрої зберігання і гнучкі класи керованих навантажень.

Паралельно з лібералізацією енергетичних ринків, децентралізація виробництва електроенергії, тепла і холоду реалізуються в рамках концепції віртуальної електростанції (virtual power plant, VPP) [133-140]. VPP являє собою сукупність малих і дуже малих децентралізованих генераторів електроенергії, контрольованих і керованих системою керування виробництвом і розподілом енергії більш високого рівня. Успішна робота VPP вимагає наступного технічного обладнання:

1) системи керування виробництвом і споживанням енергії, яка відстежує, планує і оптимізує роботи децентралізованих силових агрегатів;

2) системи прогнозування навантаження, яка здатна розраховувати дуже короткострокові (до 1 год.) і короткострокові прогнози (до 7 днів);

3) системи прогнозування виробництва ВДЕ з використанням прогнозу погоди, щоб передбачити продуктивність вітряних електростанцій і сонячних батарей;

4) системи керування енергетичними даними, яка збирає та архівує дані, які потрібні для оптимізації та прогнозування, наприклад, профілів виробництва і навантаження, а також контрактних даних для постачання споживача;

5) потужного інтерфейсу зв'язку системи керування виробництвом і споживанням енергії з децентралізованими силовими агрегатами.

Для функціонування VPP потрібний двонаправлений зв'язок між децентралізованими силовими агрегатами генерації електроенергії і центральною системою керування виробництвом і споживанням енергії.

Для операційного планування та складання диспетчерських графіків потрібні досить точні прогнози. Для параметрування прогнозу використовується кілька операційних показників, зокрема таких, як середня похибка прогнозу на добу або абсолютна похибка на добу або на періоді прогнозування. Залежно від основної мети VPP, вимоги до методів прогнозування можуть змінюватися. Якщо основна мета

полягає у зниженні пікового навантаження або балансуванні енергії, прогноз повинен бути дуже точним у піковий час або час з високими цінами на балансуєчу енергію. Алгоритми прогнозування повинні вміти швидко пристосовуватися до нових ситуацій.

На основі результатів роботи алгоритмів прогнозу і фактичного стану VPP, навантаження у зоні відповідальності може забезпечуватися за допомогою децентралізованих силових агрегатів чи існуючих енергетичних контрактів.

Особливості роботи DEMS проаналізуємо на прикладі системи компанії Сіменс [120]. Система DEMS не призначена бути заміною для всього можливого устаткування автоматизації, необхідного для функціонування компонентів VPP. Повинно працювати, по крайній мірі, локальне устаткування автоматизації, яке буде реалізовувати основні операції децентралізованих силових агрегатів для забезпечення безпеки компонента і особистої безпеки під час відсутності системи DEMS.

Компоненти / блоки VPP і графік їх енергетичного потоку моделюються в DEMS в окремих класах елементів моделі, наприклад, конвертер одиниць, контракти, одиниць зберігання, відновлювані станції і гнучкі навантаження.

Додаток планування DEMS компанії Сіменс моделює всі витрати / доходи і потоки енергії та теплоносія з урахуванням обмежень, незалежно від їх типу (наприклад, електроенергію, гаряча вода, пар, охолодження, викиди, водень). Додатки керування DEMS забезпечують контроль і нагляд за потужністю всіх генераторів електроенергії, обладнанням зберігання і гнучким попитом, а також можливістю керування для підтримки узгодженого профілю обміну електроенергією.

Функції DEMS можна розділити на функції планування і функції керування. Наприклад, до відповідних функцій планування відносяться прогноз погоди, прогноз навантаження, прогноз виробництва та зобов'язання групи. DEMS забезпечує не тільки керування виробництвом і споживанням енергії, а також контроль, оптимізацію і координацію в реальному часі [119].

#### ***4.2 Керування розподілом електроенергії***

Система керування розподілом електроенергії (Distribution Management System, DMS) активно знижує піковий попит на електроенергію, оптимізує мережеві активи, одночасно допомагаючи розподільним мережам постачати електроенергію більш ефективно,

надійно, безпечно та економно. Всі типи систем керування мережами використовують в якості базової платформи системи SCADA для диспетчерського керування та збору даних, функціонал яких сьогодні розширюється додатковими компонентами і додатками [112, 116, 120]. Спектр функцій для побудови систем керування виробництвом, передачею та розподілом електроенергії зведено в табл. 4 [121, 116, 120].

Має бути доступними також ще низка компонент функціонування системи, які використовуються і налаштовуються відповідно до завдань і розмірності системи керування. Характеристика таких компонент зведена у табл. 4.5.

Так, корпорація Oracle представила Oracle Utilities Network Management System, вдосконалену платформу керування мережами, яка дозволяє електромережевим компаніям здійснити перехід до клієнтоорієнтованої енергетичної мережі [122].

Платформа надає диспетчерам можливості для моніторингу стану всіх їх мережевих і лінійних активів у режимі реального часу. Платформа Oracle Utilities Network Management System дозволяє мережевим компаніям агрегувати інформацію про різні мережеві активи в єдиний інтерфейс з більш детальним відображенням поточного функціонування мережі.

Таблиця 4.2 – Функції системи керування розподілом електроенергії

№ з/п	Функція	Характеристика функції
1	Керування техобслуговуванням та аварійними відключеннями.	Обробка звітів про аварійні відключення; планування і моніторинг перемикачів; корекція помилок.
2	Керування мережами передачі.	Оцінка стану; розрахунок потокорозподілу / струмів короткого замикання; аналіз наслідків аварій.
3	Керування розподільними мережами.	Ізоляція аварій та відновлення енергопостачання; розрахунок потокорозподілу / струмів короткого замикання; експертна система.
4	Керування даними про електроенергії.	Керування диспетчерським графіком; прогнозування навантаження / генерації; архівування; складання звітів.
5	Керування навантаженням.	Керування навантаженням для електроенергії та газу; керування навантаженням для водопостачання.

6	Керування для виробництва електроенергії.	Автоматичне керування виробництвом з регулюванням частоти і активної потужності; додатки планування.
---	---	--

Вперше мережеві компанії отримують інформацію про мережеві активи – двосторонню інформацію про розосереджені джерела енергії (Distributed Energy Resource, DER), інформацію про інфраструктуру інтелектуального обліку (Advanced Metering Infrastructure, AMI), дані систем керування розподілом потоків потужності в мережі (Distribution Management System, DMS) і дані систем керування аварійними відключеннями (Outage Management System, OMS) – у вигляді єдиного інтерфейсу для більш змістовного аналізу і прийняття обґрунтованих рішень.

Таблиця 4.3 – Компоненти, які використовуються і налаштовуються відповідно до завдань і розмірності системи керування

№ з/п	Компонента	Характеристика компоненти
1	Кооперативне керування системою з декількох розподілених центрів керування.	Забезпечує гнучку та динамічну роботу системи керування в розподіленій конфігурації.
2	Система архівної інформації.	Забезпечує архівування та подальше відновлення технологічних даних.
3	Прогнозування.	Забезпечують довгострокове, середньострокове і короткострокове прогнозування завантаження системи.
4	Планування потужності.	Забезпечує оптимальне планування ресурсів генеруючих потужностей, включаючи зобов'язання і плановані поставки.
5	Регулювання потужності.	Забезпечують моніторинг і контроль, тобто диспетчеризацію в реальному часі генеруючих потужностей, що беруть участь в регулюванні частоти.
6	Програми для мереж передачі.	Забезпечують швидкий комплексний аналіз і оптимізацію роботи передавальної мережі.
7	Керування відключеннями.	Забезпечує ефективне керування плановими і аварійними відключеннями в розподільних мережах.
8	Програми для розподільних мереж.	Забезпечують швидкий комплексний аналіз і оптимізацію роботи розподільчої мережі.

9	Програми експертної системи.	Підтримує оператора в важливих і складних завданнях у сфері усунення неполадок розподільній мережі.
---	------------------------------	---

Удосконалена платформа надає мережевим компаніям можливість моніторингу, які їм необхідні для відстеження та реагування на зміни стану мереж. Серед нових функцій розробленої Oracle галузевої платформи – мобільний інтерфейс, який дозволяє диспетчерам оперативно зв'язуватися і взаємодіяти з виїзними ремонтними бригадами, щоб прискорити усунення неполадок. Платформа містить функції безпеки, які попереджають диспетчерів про небезпечні роботах на розподільній мережі, викликаних функціонуванням РГ.

У Oracle Utilities Network Management System забезпечується повний моніторинг стану розподільної мережі за допомогою інфраструктури інтелектуального обліку, розподілених датчиків, геоінформаційної системи (GIS), системи диспетчеризації та збору даних (SCADA), датчиків стеження за погодними умовами та інших кінцевих пристроїв на єдиній платформі; масштабовану платформу, яка не обмежує мережеві компанії в їх подальшому розвитку; можливості для покращення показників надійності, зокрема, індексів середньої тривалості переривання енергопостачання споживача (Customer Average Interruption Duration Index, CAIDI) та середньої тривалості переривань в роботі системи (System Average Interruption Duration Index, SAIDI) – навіть у процесі розвитку мереж; зниження витрат на відновлення енергопостачання, даючи можливість диспетчерам і виїзним ремонтним бригадам взаємодіяти у реальному часі за допомогою мобільного додатку, щоб оперативно усувати несправності; підтримку для операторів мереж газопостачання, водопостачання та електропостачання [141].

Нові функції Oracle Utilities Network Management System: покращені можливості оцінки збитку і керування в періоди несприятливих погодних умов, зокрема, визначення розрахункового часу відновлення (з метою більш точного інформування клієнтів); покращені можливості для диспетчера мережі в процесі підготовки системи енергопостачання до відключення на підставі знову отриманих даних від систем GIS, SCADA, AMI і систем стеження за погодними умовами; надання диспетчерам вдосконалених можливостей керування розподільними мережами, що покращують функції локалізації неполадок, перевантаження / відключення навантаження і профілювання навантаження.

Більш детально розглянемо особливості побудови та функціонування системи ETAP ADMST<sup>™</sup>, Розроблену компанією ETAP [16]. ETAP ADMST<sup>™</sup> – це комбіноване рішення для планування та експлуатації при керуванні, контролю, візуалізації та оптимізації мережі розподілу електроенергії, що складається з:

- геопросторова інформаційна система (Geospatial Information System, GIS);
- електричні системи диспетчерського контролю та збору даних (Electrical Supervisory Control & Data Acquisition, eSCADA);
- система керування розподілом (Distribution Management System, DMS);
- розподілені мережеві додатки (Distribution Network Applications, DNA);
- система керування відключеннями (Outage Management System, OMS).

Характеристика системи керування розподілом електроенергії ETAP ADMST<sup>™</sup>:

1) масштабоване та модульне рішення для керування, контролю, візуалізації, оптимізації та автоматизації мереж розподілу від великих міст до сільських кооперативів;

2) інтегрована мережева модель для планування, захисту, надійності та операцій;

Інтуїтивно зрозумілий та зручний графічний інтерфейс користувача, який використовується операторами розподільної мережі (DNO), диспетчерами, інженерами по плануванню, аналітиками надійності та менеджерами;

3) розширена аналітика, включаючи оцінку стану розподілу, оптимізацію рівнів напруги та реактивної потужності, локалізація несправностей, відновлення ізоляції та відновлення обслуговування (FLISR), прогнозування відмов, прогнозування навантаження, уніфікований потік змінного та постійного струму, моделювання розосередженої генерації, захист, зниження навантажень тощо;

4) ситуаційна «інтелектуальність» забезпечує ефективний та надійний аналіз мережі та керування під час швидкої зміни стану мережі;

5) стандартизація з більшістю галузевих додатків та легка інтеграція із застарілим та стороннім програмним забезпеченням.

Система керування розподільними мережами ETAP ADMST<sup>™</sup> являє собою інтелектуальне геопросторове рішення для розподільчих мереж, яке активно знижує пікове навантаження на систему, оптимізує мережеві активи, забезпечуючи значну ефективність передачі



електричної енергії. Система керування розподілом побудована на існуючому та перевіреному рішенні ETAP Real-Time™ та інтегрується з GIS, eSCADA, OMS та іншими додатками, такими як автоматизоване зчитування вимірювань (Automated Meter Reading – AMR) та інформаційні системи клієнтів (Customer Information Systems – CIS). DMS надають розширені можливості підтримки прийняття рішень для безпечної та надійної роботи радіальних та замкнених розподільних мереж розподілу. Основні характеристики особливостей призначення ETAP ADMS наведені нижче [142].

### **1. Геопросторові електричні схеми**

Модуль Геопросторові електричні схеми ETAP забезпечує редагуване середовище для електричних компонентів і з'єднань в поєднанні з геопросторовими даними. Геопросторові дані можуть бути імпортовані з багатьох систем сторонніх виробників або можуть бути змодельовані безпосередньо в геопросторових електричних схемах. Переваги електричних схем географічних інформаційних систем (ГІС): скорочення витрат на введення даних за допомогою ГІС-оновлених технічних даних для системних досліджень; автоматична корекція помилок напруги і струму дозволяє уникнути дублювання / неправильного введення даних; автоматичне створення баз даних електричного обладнання в оптимізованій базі даних; повний контроль результатів аналізу, що відображаються на схемі електричної схеми ГІС; гнучкість у використанні карт в якості фонових зображень для просторового інформування; гнучке використання всіх ETAP модулів для аналізу; багаторівневе графічне відображення даних ГІС та ETAP.

Таблиця 4.4 – Основні характеристики особливостей призначення ETAP ADMS

№ з/п	Призначення	Особливості
1	Мережевий зв'язок та аналіз топології.	Постійна обробка електричної топології системи на основі умов роботи в режимі реального часу.
2	Оцінка стану розподілу.	Висока оцінка стану продуктивності дистрибуції та нетехнічні розрахунки збитків, що зумовлюють незбалансований характер роботи розподільної мережі, а також зростаюче проникнення розосередженої генерації до розподільних мереж електроживлення.
3	Послідовність перемикачів та керування	Запит, побудова, перевірка, затвердження повного плану послідовностей комутації та виконання його «в один крок». Розширені можливості моделювання та прогнозування

	замовленими перемиканнями.	для незбалансованих мережєвих фідерів із вбудованою логікою та процедурами керування системою.
4	Балансування подачі та мінімізація втрат.	Оптимізація розподілених перемикачів автоматично визначає оптимальну топологію системи для збалансування завантаження подачі та / або поєднання з мінімізацією втрат для усунення ненормальних умов роботи. Він забезпечує оптимальний стан існуючих комутаційних пристроїв і пропонує розташування нових відкритих точок зв'язку в системі.
5	Оптимізація напруги / реактивної потужності та консервативне зниження напруги.	ЕТАР VVO оптимально керує загальносистемними рівнями напруги та потоком реактивної потужності для досягнення ефективної роботи розподільної мережі, а також допомагає операторам розподілу зменшити втрати в системі, піковий попит або споживання енергії за допомогою методів CVR.
6	Локалізація несправностей, відновлення ізоляції та відновлення обслуговування.	ЕТАР FLISR знаходить ділянку мережі, яка буде ізольована через вимушене відключення, та надає інформацію оператору чи диспетчеру щодо замовника. FLISR має вирішальне значення для прийняття рішень в надзвичайних умовах і забезпечує спостережуваність надійності постачання.

## 2. Оцінка стану розподільної мережі

Здійснюється розрахунок несиметричного розподілу навантаження і нетехнічних втрат. У зв'язку з проникненням розосередженої генерації в розподільну мережу контроль мережі на підставі моделі реального часу з оцінкою стану розподілу відіграє основну роль в традиційних несиметричних розподільних мережах. Функція оцінки стану розподільної мережі використовує методи розподілу навантаження для видачі в реальному часі інформації про технічні та нетехнічні втрати.

Основні можливості оцінки стану розподільної мережі: оцінка індивідуальних навантажень на фідер з урахуванням класів навантаження, типу навантаження, кривої навантаження і вимірювань навантаження; інтегрованість з оцінкою стану ліній електропередач, надаючи уніфіковану і повну картину комплексної системи передачі і розподілу електроенергії;

Функція оцінки стану розподільної мережі може працювати в енергетичних мережах в режимах: з перевіркою або без перевірки телеметричних вимірювань; з ручною або автоматичною обробкою неспостережуваних частин мережі; з фіксованими вимірами або без них. Ця функція використовує архівні дані мережі, включаючи: денні профілі навантаження, що враховують типи, класи, дні тижня і погодні умови; пікові навантаження для розподільних трансформаторів і / або споживачів та ліній передачі. Вона враховує відсутність даних в режимі реального часу і компенсує їх історичними даними, псевдо- і віртуальними вимірами для отримання мінімального набору вхідних даних, необхідних для узгодженого розрахунку усталеного режиму.

### ***3. Ізоляція коротких замикань і відновлення роботи***

Модуль здійснює оптимальне відновлення роботи мережі. Модуль ЕТАР для виявлення коротких замикань і відновлення роботи знаходить ділянку мережі, який буде ізольований через вимушений відключення, і надасть інформацію оператору або планувальником щодо порушених споживачів. Даний модуль може визначити оптимальну стратегію відновлення, яка буде використовуватися для відновлення максимальної кількості порушених споживачів без повторного виникнення несправності і перевантаження існуючих мереж.

### ***4. Переключення системи керування замовленнями***

Керування замовленнями на перемикання ЕТАР (SOM) дозволяє диспетчерам енергосистеми, операторам та менеджерам запитувати, призначати, відстежувати та записувати робочі замовлення на комутацію. Використовуючи технологію на основі HTML5 для зв'язку з мобільними додатками, ЕТАР SOM з'єднує бригади з обслуговування та відключення роботи з центром керування для повного керування запланованими заходами в цій галузі.

### ***5. Оптимізація комутації***

Здійснюється балансування фідерів і мінімізація втрат. Модуль оптимізації послідовності перемикань – це засіб, який автоматично визначає оптимальну конфігурацію системи для досягнення однієї або декількох цілей, поставлених користувачем. Він визначає оптимальний стан існуючих комутаційних пристроїв і рекомендує місця для установки нових точок секціонування системи. Модуль може використовуватися інженерами-проектувальниками або інженерами експлуатації для мінімізації втрат активної потужності в системі і пом'якшення або повного усунення аномальних умов експлуатації. Цей інструмент може застосовуватися для аналізу радіальних і петльових

трифазних або однофазних енергосистем великої розмірності з різними типами профілів навантаження.

#### **6. Блок контролю кількості спрацьовувань**

Здійснюється планування технічного обслуговування обладнання на підставі контролю кількості спрацьовувань. Блок контролю спрацьовувань відстежує кількість спрацьовувань, виконаних кожним вимикачем, вимикачем конденсатора, пристроєм РПН, електроприводним ізолятором, вимикачами навантаження тощо, які контролюються системою.

#### **7. Аналіз структури мережі**

Здійснюється аналіз структури мережі в режимі реального часу та обробка топології мережі. Додатки Smart Grid для керування і автоматизації розподільних мереж базуються на точній моделі стану мережі. Модуль аналізу структури мережі в Real-Time (NCA) обраховує стан в реальному часі. Щоб оцінити і проаналізувати стан всієї електричної мережі, топологія мережі повинна бути доступна і постійно оновлюватися в режимі реального часу. Обробка топології мережі постійно зберігає і оновлює топологію електричної системи, таку як імпеданс ліній, навантаження, підключення, стан вимикачів тощо. Обробка топології мережі ETAP є основою для додатків реального часу, наприклад, оцінки стану розподільної мережі. Обробка топології мережі також забезпечує динамічний аналіз топології електричної мережі і повідомляє про умови експлуатації оператору. Дисплеї зі значними можливостями забезпечують швидку індикацію відключених споживачів та інших аномальних умов роботи мережі.

#### **8. Інтелектуальний онлайн аналіз**

Інтелектуальний онлайн аналіз є потужним аналітичним інструментом, який дозволяє прогнозувати поведінку системи у відповідь на дії оператора та події на підставі збережених даних і даних, що надходять в режимі реального часу.

Основні можливості функції інтелектуального моделювання: моделювання спрацьовування вимикача; визначення потенційних проблем в експлуатації; моделювання пуску двигуна і зміни навантаження; прогнозування часу роботи захисних пристроїв; прогнозування відгуку системи на дії оператора; реалізація сценаріїв «що – якщо»; моделювання на підставі архівних даних і даних, які надходять в реальному часі; допомога та навчання оператора. Використовується предиктивне моделювання, яке дозволяє уникнути непередбачених відключень підприємства, пов'язаних з людським фактором, перевантаженням обладнання тощо. Предиктивне

моделювання надає середовище для ефективного навчання та підтримки операторів.

### ***9. Оптимізація Вольт/ВАр (VVO) і консервативне зниження напруги (CVR)***

Здійснюється мінімізація реактивних втрат і підвищення ефективності розподільчої мережі. Оптимізація Вольт/ВАр (VVO) керує рівнями напруги по всій мережі і реактивною потужністю при розрахунку усталеного режиму для досягнення ефективної роботи розподільної мережі. VVO допомагає диспетчерам розподілу знизити втрати системи, піковий попит або споживання енергії за допомогою методів зменшення напруги (CVR).

Оптимізація і Вольт/ВАр керування є функцією, яка визначає кращий набір контрольних дій для всіх пристроїв регулювання напруги і реактивної потужності для досягнення однієї або декількох зазначених робочих цілей без порушення будь-якого з основних експлуатаційних обмежень (межі високого / низького напруги, межі навантаження тощо). Оптимізація Вольт/ВАр включає функцію консервативного зниження напруги (CVR), яка використовується для розрахунку і підтримки допустимого напруги (наприклад, 220 В +/- 5%) на вході для всіх клієнтів, що обслуговуються фідером при всіх можливих умовах експлуатації. CVR використовується для вирівнювання профілів напруги і зниження загальної напруги системи під час перевищення заданих рівнів напруги згідно вимог ANSI або IEC. Загальна система попиту може бути знижена на коефіцієнт 0,7–1,0% на кожен 1% зниження напруги.

### ***10. Керування послідовністю перемикачів***

Модуль аналізу ETAP ArcFault™ обчислює обсяги енергії переключень для систем передачі і розподілу електроенергії. Конструктор послідовності перемикачів містить перелік комутаційних пристроїв і часи роботи вимикачів, роз'єднувачів навантаження і роз'єднувачів заземлення. Перед початком процесу моделювання будь-якої послідовності перемикачів додаток перевіряє відповідність послідовності безпечним процедурам перемикачів і запитує підтвердження в процесі моделювання кожного етапу перед переходом до наступного етапу, щоб уникнути випадкового перемикачів.

### ***11. Аналіз прогнозу навантаження (контроль, прогнозування, керування)***

Прогнозування навантаження є ідеальним інструментом для промислових підприємств, а також елементом для надійного і точного прогнозування майбутньої короткострокової навантаження в системі. Основні переваги прогнозування навантаження: адаптивне

прогнозування навантаження шини; тренди в реальному часі; бібліотека профілів навантаження; архівація сценаріїв прогнозування; прогнозування завантаження до семи днів; прогнозування декількох графіків (режимів) навантажень; змінні користувачем погодні змінні і навантажувальні профілі; перегляд прогнозів на основі навантажувальних і погодних умов; бібліотеки профілів навантажень; імпорт і експорт даних з попередніх прогнозів.

### ***12. SCADA & Monitoring для електричних мереж***

SCADA & Monitoring, керований моделлю, забезпечує інтуїтивну візуалізацію і аналіз в реальному часі за допомогою інтелектуального графічного призначеного для користувача інтерфейсу, однолінійних схем, геопросторового вигляду та цифрових панелей моніторингу.

### ***13. Система керування аварійними відключеннями***

Інтегроване керування аварійними відключеннями і рішення для керування ремонтними бригадами, яке мінімізує збої в роботі з відключенням, забезпечуючи більш швидке виявлення і швидке відновлення завдяки розширеній ситуаційної обізнаності, автоматизації, а також ефективному і високоефективному використанню ремонтних бригад.

### ***14. Моніторинг енергоспоживання та симуляторних процесів***

Модуль моніторингу та моделювання електричних мереж ETAP (PSMSTM) лежить в основі системи керування електроспоживанням в реальному часі ETAP. Складові моніторингу енергоспоживання та розрахунку процесів: інтелектуальний моніторинг; інтуїтивний, інтелектуальний і інтегрований моніторинг в режимі реального часу з сучасним інтерфейсом; предиктивне моделювання; прогнозування поведінки системи у відповідь на дії оператора та події на підставі збережених даних і даних, що надходять в режимі реального часу; первинний енергооблік; детальне споживання енергії та аналіз витрат на основі тарифів на енергоносії і обміну інформацією про ринок електроенергії; прогнозування навантаження; прогнозування навантаження і передбачення трендів системи на основі алгоритмів, які адаптуються до вхідних змінних, зокрема, погодні умови.

Іншим прикладом ефективної реалізації ADMS для керування розподільними мережами є рішення компанії Schneider Electric (система SE ADMS) [112].

Ключовою особливістю системи SE ADMS є повна інтеграція п'яти абсолютно синхронізованих між собою систем на базі єдиної

інформаційної платформи з єдиним призначенням для користувача інтерфейсом: системи керування розподілом енергії (Distribution Management System, DMS), системи керування аварійними і плановими відключеннями (Outage Management System, OMS), системи аналізу режимів роботи мереж високої напруги (Energy Management System, EMS) і системи диспетчерського керування та збору даних (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA OASyS), геоінформаційної системи GIS (Geographic information system, GIS) [112].

При побудові системи використовується сервіс-орієнтований (Service-oriented Architecture, SOA) підхід, який полягає в модульній побудові самого програмного забезпечення, заснованого на використанні розподілених, змінних компонентах, оснащених стандартизованими інтерфейсами для взаємодії за стандартизованими протоколами. Даний підхід забезпечує підтримку кількох систем (технологічної системи, система діагностики, системи збору даних, навчальної системи та системи резервного копіювання), що працюють паралельно, де кожна система складається з набору сервісів, необхідних для успішної роботи всієї системи в цілому.

Важливим архітектурним аспектом є масштабованість системи. Систему SE ADMS можна розглядати в якості одного з основних блоків середовища інтелектуальних мереж, що надає послуги інтеграції на основі стандартів (наприклад, веб-сервіси), для забезпечення обміну даних з іншими корпоративними системами підприємства, такими як геоінформаційна система (Geographic information system, GIS), система інформації про споживачів (Customer Management System, CIS), система планування ресурсів підприємства (Enterprise Resource Planning, ERP), вдосконала система вимірювання, збору і аналізу даних (Advanced Measurement Infrastructure, AMI) та інші.

Основними особливостями системи SE ADMS з функціональної і архітектурної точки зору є: масштабованість; висока продуктивність; безпека (система розроблена на безпечному міжплатформенному програмному забезпеченні); підтримка різних версій схеми мережі і графічних даних (даних відображення); можливість реалізації розподіленої архітектури; підтримка інтерфейсів на базі стандартів IEC 61970 та IEC +61968, які підходять для сценаріїв інтеграції на основі сервіс-орієнтованої архітектури; забезпечення повноцінного функціоналу архівування даних, тобто можливості зберігання, як телеметричних даних, так і результатів обчислень функцій DMS з аналізом трендів.

Система SE ADMS складається з трьох основних системних компонентів (підсистем) [121]: додатків графічного інтерфейсу

користувача (Graphical User Interface – GUI) на рівні уявлення; додатків системи керування розподілом енергії (Distribution Management System – DMS) і служби реального часу розподіленої системи диспетчерського керування та збору даних (Distributed Supervisory Control and Data Acquisition – DSCADA) на прикладному рівні; служб архівування на рівні бази даних.

Характеристики базових функцій SE ADMS зведені в табл 4.5.

Таблиця 4.5 – Характеристики базових функцій SE ADMS

№ з/п	Базова функція	Характеристика базової функції
1	Керування роботою мережі.	Відновлення електропостачання, відновлення електропостачання на великих ділянках, керування послідовністю перемикачів, керування відключеннями, показники роботи мережі, скидання навантаження, часові елементи, тренажер диспетчера.
2	Планування та оптимізація.	Регулювання реактивної потужності, регулювання напруг, реконфігурація мережі, оперативне прогнозування навантаження, короткотермінове прогнозування навантаження, керування навантаженням, покращення параспроможності мережі.
3	Аналіз роботи мережі.	Розрахунок втрат, аналіз надійності розрахунок струмів короткого замикання, перевірка характеристик вимикача, гармонійний аналіз, аналіз історії роботи системи.
4	Планування розвитку мережі.	Прогнозування навантаження, планування розвитку мережі, автоматизація мережі, оптимальне розміщення регуляторів напруги, підвищення надійності мережі.

Функції «керування роботою мережі» і «планування та оптимізація» в системі SE ADMS здійснюються в режимі реального часу, тоді як функції «аналіз роботи мережі» і «планування розвитку мережі» можуть здійснюватися в автономному режимі.

Отже, сучасні системи керування генерацією та розподілом електроенергії включають в себе набір засобів, що дозволяють операторам енергокомпаній не тільки ефективно керувати, але й виявляти, запобігати або усувати збурення в системі / мережі перш, ніж вони переростуть в масштабні аварії. Наступний етап у розвитку засобів контролю і керування для енергосистем – це реалізація групи технологій, відомих в цілому під назвою систем глобального



моніторингу (WAMS, Wide Area Monitoring Systems) [120]. Вони не призначені для заміни систем SCADA / EMS / DMS або будь-яких інших прикладних систем, а скоріше служитимуть доповненням до них. У WAMS застосовуються фазорні вимірювальні блоки, які синхронно у часі реєструють з високою точністю (до однієї мікросекунди) параметри мережі в найважливіших точках, розподілених по дуже великій площі. Системи WAMS можна розглядати як «міст» між великими ділянками мережі, аналогічний тому мосту, який будують між магістральними та розподільними мережами інтегровані системи класу Network Manager. Наприклад, компанія АББ вже почала розгортання WAMS на рівні електричних розподільних мереж. У найближчі роки WAMS, ймовірно, стануть невід'ємним елементом диспетчерських залів електричних мереж, а в подальшому – повністю інтегрованим елементом систем керування мережами [119].

#### **Контрольні питання до розділу 4**

1. Поясніть що таке система керування передачею електроенергії (TMS).
2. Поясніть що таке система керування розподілом електроенергії (DMS).
3. Як працюють системи розподілу електроенергії?
4. Охарактеризуйте системи керування розподілом електроенергії.
5. Переваги сучасних систем керування генерацією та розподілом електроенергії.

## РОЗДІЛ 5

### SMART GRID ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

#### 5.1 Алгоритм вибору обладнання на базі концепції SmartGrid

На рис. 5.1 представлено алгоритм вибору обладнання. З нього видно що спочатку визначаються електротехнічні параметри: установлена потужність, споживана напруга, рід струму (постійний, змінний), а також вид первинної енергії. Далі наступним кроком є умова що споживачі відновлювальних джерела енергії повинні бути більшими або дорівнює за встановлену потужність установки, якщо умова виконується то розглядається наступна умова, що потужність вітроустановки повинна бути більшими або дорівнює за встановлену потужність установки, якщо дана умова виконується то переходить на наступний етап вибір обладнання, після цього перевіряється умова що загальна сума затрат повинна прагнути до мінімуму, якщо умова виконується то кінець алгоритму, а якщо ні тоді перевіряються всі умови заново. А якщо умова не виконується тоді вибирається наступна умова, що потужність сонячної електростанції повинна бути більшими або дорівнює за встановлену потужність установки, якщо дана умова виконується то переходить на наступний етап вибір обладнання, після цього перевіряється умова що загальна сума затрат повинна прагнути до мінімуму, якщо умова виконується то кінець алгоритму, а якщо ні тоді перевіряються всі умови заново. Якщо не достатньо потужності або умова не виконується що потужність сонячної електростанції повинна бути більшими або дорівнює за встановлену потужність установки якщо ж не виконується то виконується підключення потужності ГЕС яка повинна бути більшими або дорівнює за встановлену потужність установки, якщо так то вибір обладнання, а якщо ні то розглядається умова, що сума затрат прагне бути мінімальною, якщо дана умова виконується на наступному етапі вибирається обладнання, а якщо умова не виконується то перевіряється умова що треба вибирати додаткові установки [141].

Якщо не виконалась умова споживачі відновлювальних джерела енергії повинні бути більшими або дорівнює за встановлену потужність установки, то розглядається умова про додаткові установки, якщо умова виконується то підключається дизельгенератор і потім іде вибір обладнання, а якщо ні то вибирається ще один вид додаткової установки газотурбінна установка, якщо так то відбувається вибір обладнання, а якщо ні береться наступна умова тобто підключається

бензиновий генератор, якщо так тоді вибирається обладнання, а якщо ні то перевіряється умова, що сума затрат прагне бути мінімальною, якщо дана умова виконується на наступному етапі вибирається обладнання, а якщо умова не виконується то перевіряється умова про вибір установки.

Якщо не виконалась умова додаткових установок тоді розглядається умова, що потрібно вибрати акумуляторні джерела, після цього вибирається акумуляторні батареї якщо їх достатньо то відбувається вибір обладнання, а якщо не виконується умова тоді розглядається наступна умова про вибір паливних комірок, якщо умова виконується то йде вибір обладнання, а якщо умова не виконується то перевіряється умова, що сума затрат прагне бути мінімальною, якщо дана умова виконується на наступному етапі вибирається обладнання, а якщо умова не виконується то перевіряється умова про вибір акумуляторного джерела.

Після цього на етапі вибору обладнання коли обладнання вже вибрано, перевіряється наступна умова, що загальна сума затрат повинна прагнути до мінімуму, якщо умова виконується то кінець алгоритму, а якщо не виконується умова, тоді перевіряються всі умови заново, тобто перевіряється умова, що споживачі відновлювальних джерел енергії повинні бути більшими або дорівнює за встановлену потужність установки і алгоритм проходить всі етапи до отримання оптимального розв'язку [142].

Інтелектуальна система працює наступним чином в блоці відновлювальних джерел електричної енергії присутні декілька видів відновлювальних джерел електричної енергії кожна з яких має свій блок датчиків, які з'єднанні з погоджуючим пристроєм, а погоджуючий пристрій з'єднаний з системою керування на базі концепції SmartGrid [142].

Система має традиційне джерело живлення а також альтернативні до яких входять ВЕС, СЕС, мініГЕС, та інші види відновлювальних джерел електричної енергії, тобто є можливість споживати електричну енергію від відновлювального джерела або від мережі.

Відповідно до навантаження вибирається та установка яка в даний момент виробляє електричну енергію і в достатній кількості, тоді система керування на базі концепції Smartgrid комутує ГПП та один з видів відновлювального джерела електричної енергії через комутацію з'єднується з активним споживачем, яких підключено може бути не один.

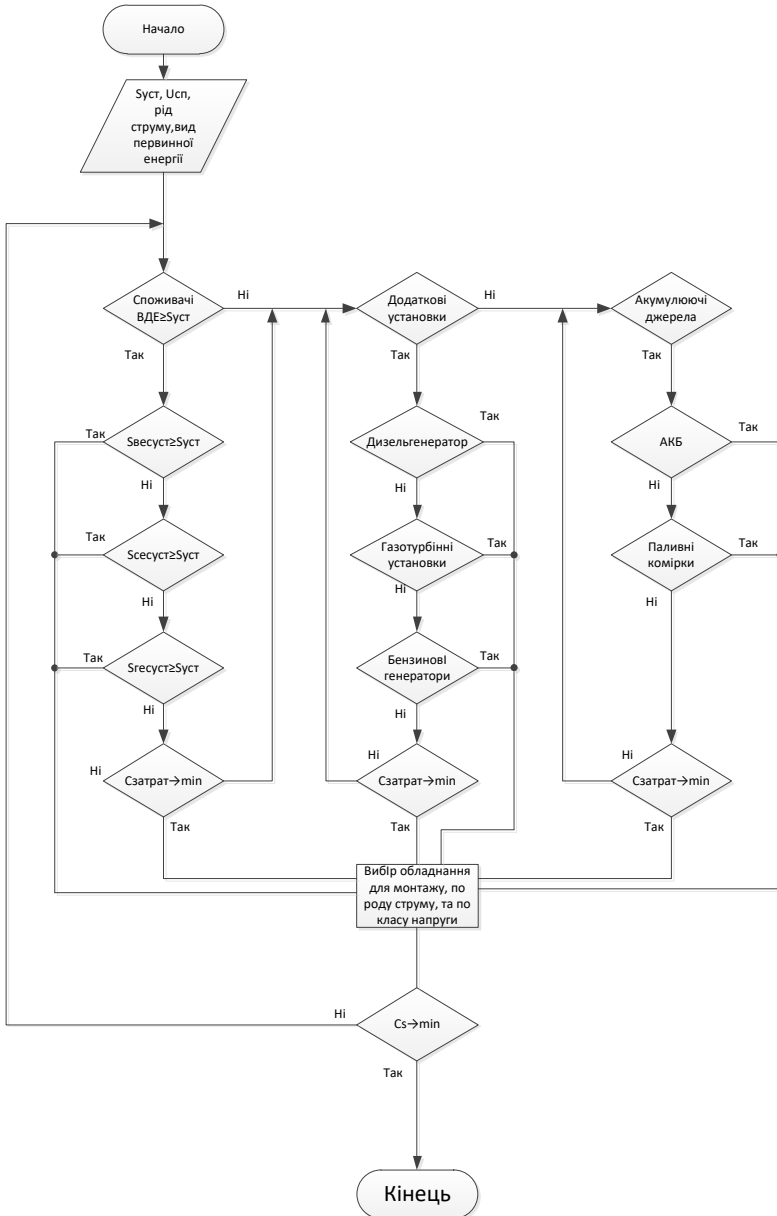


Рисунок 5.1 – Алгоритм вибору обладнання на базі концепції SmartGrid

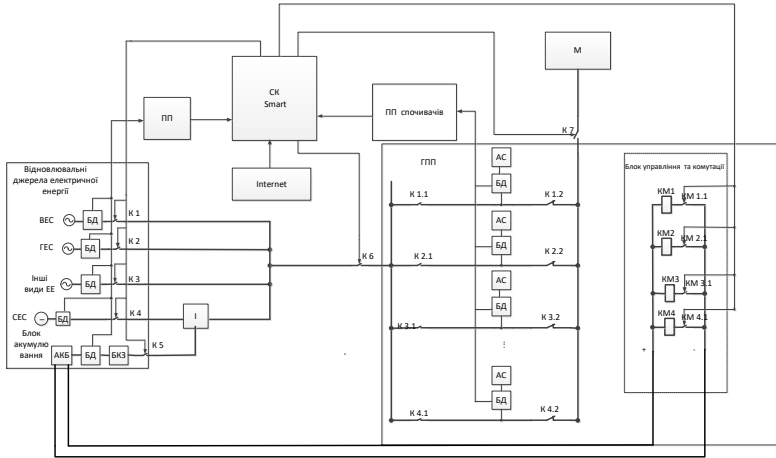


Рисунок 5.2 – Структурна схема інтелектуальної системи електропостачання–електроспоживання

де ВЕС – вітроелектростанція, ГЕС –гідроелектростанція, СЕС – сонячна електростанція, АКБ – блок акумуляторних батарей; БКЗ – блок контролю заряду акумулятора; І – інвертор, ПП– блок погоджуючого пристрою; ПП споживачів –блок погоджуючого пристрою споживачів; СК Smart – система керування за концепцією SmartGrid;Internet – блок інтернету; М – Мережа; АС – активний споживач, БД – блок датчиків, БУК – Блок управління комутації.

Кожний активний споживач має в собі блок датчиків виходу якого з’єднаний з погоджувачим пристроєм споживача, який з’єднаний з системою керування на базі концепції Smartgrid. Тобто дана система може сама вибирати від якого джерела електричної енергії їй краще і вигідніше споживати електричну енергію, а також може розподіляти споживання електроенергії по тарифним зонам відповідно до ціни за 1 кВт·год, що дозволить зменшити собівартість продукції не порушуючи технологічного процесу, чим самим дана продукція буде більш конкурентоспроможною на ринку [143].

При використанні відновлювальних джерел електричної енергії через систему керування здійснюється комутація силової частини, тобто замикаються нормально розімкнені контакти К 1.1, К 2.1, К 3.1, К 4.1, через які активний споживач отримує електричну енергію для споживання. Якщо даної енергії не вистачає, або в даний період часу енергія мало виробляється, то дану енергію можна передати менш відповідальному споживачеві, або якщо енергія не виробляється по ряду

причин можлива комутація активних споживачів з мережею, тобто контакти К 1.1, К 2.1, К 3.1, К 4.1, розімкнені, а нормально замкнені контакти через керований пункт здійснює підключення мережі з активним споживачем.

## ***5.2 Особливості схемних рішень у разі використання вітроенергетичних станцій в умовах підприємств***

На сьогодні визначені основні напрямки інтеграції розосереджених енергоресурсів, організації активної участі споживачів та створення нових інфраструктур, одним з прикладів яких є система Micro Grid, побудована на основі вузлів розосередженої генерації та з використанням синергетичного підходу до розбудови розподільчих мереж підприємств. Розглядаючи Micro Grid як концепцію функціональності та рівня класифікації енергосистем різного технічного та когнітивного наповнення, можна стверджувати, що у XXI столітті Micro Grid набула статусу ідеології, яка домінує в енергетиці.

У зв'язку з тим, що потужність джерел у системах розосередженої генерації співставна з потужністю навантажень, а сучасне обладнання - це в основному нелінійні навантаження, то у системі наявні нелінійні спотворення відхилення параметрів струму і відповідно напруги та зсуву фаз між струмом і напругою. Забезпечення ефективної роботи всієї системи передбачає відбір максимальної енергії від джерел розосередженої генерації, яка забезпечується компенсацією нелінійних відхилення параметрів струму, формуванням активного характеру навантаження та забезпеченням відповідного кута навантаження. Ці проблеми вирішуються на основі сукупності різноманітних пристроїв перетворювальної техніки, таких як регулятори, стабілізатори, компенсатори та ін. [53].

Оскільки в системі розосередженої генерації наявні різнотипні джерела енергії, які працюють на спільне навантаження, із своїми каналами зворотного зв'язку для підтримання параметрів електроенергії в заданому діапазоні, і загальна система також має декілька каналів зворотного зв'язку, наприклад, за напругою та потужністю, питання забезпечення стійкої роботи є одним з основних, яке визначає працездатність системи. Тому при побудові таких систем загальна ефективність визначається мінімізацією втрат у мережі [144].

Концепція інтелектуальної енергетики Smart Grid включає в себе такі складові, як активне споживання електричної енергії, розосереджена генерація, інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом, розподілом і

споживанням рівня електричної енергії, згідно з цим було сформовано такі ключові для сучасних умов підприємств, вимоги світової енергетики майбутнього, як доступність, надійність, економічність, електроенергоефективність, екологічність та електроенергетична безпека [144].

У той же час, одним з головних напрямків розвитку енергетики України на період до 2030 та 2035 років є забезпечення енергоефективного споживання та впровадження ДРГ.

Тож, зважаючи на вище перераховані факти і на те, що гірничі підприємства, є одними з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів, а приблизно 90% всього об'єму енерговитрат на виробництво продукції – залізорудної сировини, складають електроенергетичні, є актуальним дослідження питання впровадження активного споживання електричної енергії у напрямку концепції Smart Grid, з метою збільшення ефективності використання електричної енергії, зниження собівартості залізорудної сировини та підвищення надійності системи електропостачання цих підприємств [145].

Як відзначалося попереду, одним з основних факторів переходу від звичайного електроспоживання на активне споживання електричної енергії в умовах ГРП є зниження собівартості залізорудної сировини та підвищення надійності системи електропостачання. В свою чергу найбільший ефект очікується при впровадженні та взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням, впровадження ДРГ [146].

Застосування ДРГ дасть змогу не лише покращити якість електропостачання, а й зменшити втрати електроенергії за рахунок власної генерації [60], то особливо актуальною є можливість ГРП самостійно забезпечувати власні потреби відповідальних споживачів чи частково покривати графік електропостачання підприємства.

Оскільки, при впровадженні комбінованого електропостачання велика кількість можливих конфігурацій, то буде актуальним описування цих конфігурацій у вигляді тензора. Тензор електропостачання від ЛЕС з використанням ДРГ представлено у вигляді:

$$B_i^k \sum_{PP} = \sum_{\substack{i=1 \\ k=1}}^{k=4} S_i^k t^i = \begin{pmatrix} S_1^1 t^1 & S_2^1 t^2 & S_3^1 t^3 & S_4^1 t^4 & S_5^1 t^5 \\ S_1^2 t^1 & S_2^2 t^2 & S_3^2 t^3 & S_4^2 t^4 & S_5^2 t^5 \\ S_1^3 t^1 & S_2^3 t^2 & S_3^3 t^3 & S_4^3 t^4 & S_5^3 t^5 \\ S_1^4 t^1 & S_2^4 t^2 & S_3^4 t^3 & S_4^4 t^4 & S_5^4 t^5 \end{pmatrix}$$

де,  $k$  – варіанти електропостачання,  $i$  – джерела постачання ЕЕ,  $S_i^k$  – потужність  $i$ -го джерела ЕЕ в  $k$ -му варіанті електропостачання,  $t^i$  – час електропостачання від  $i$ -го джерела ЕЕ,  $S^k$  – варіант електропостачання ЕЕ,  $S_1$  – електромережа,  $S_2$  – вітроелектростанція,  $S_3$  – сонячна фотоелектростанція,  $S_4$  – мікрогідроелектростанція,  $S_5$  – акумулятори.

Перший рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ДРГ за 1-м варіантом.

Другий рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ДРГ за 2-м варіантом.

Третій рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ДРГ за 3-м варіантом.

Четвертий рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ДРГ за 4-м варіантом.

Враховуючи результати ряду попередніх досліджень, широкого розповсюдження набули асинхронні генератори у складі ГЕС та ВЕС, так, як вони мають ряд переваг: краще захищені від попадання бруду і вологи, більш стійкі до короткого замикання і перевантажень, а вихідна напруга асинхронного електрогенератора відрізняється меншим ступенем нелінійних спотворень. Це дозволяє використовувати асинхронні генератори не тільки для живлення промислових пристроїв, які не критичні до форми вхідної напруги, але й підключати до них електронну техніку. До переваг асинхронного генератора також відносять низький клірфактор (коефіцієнт гармонік), що характеризує кількісну наявність у вихідній напрузі генератора вищих гармонік. Вищі гармоніки викликають нерівномірність обертання і небажаний нагрів електромоторів. У синхронних генераторів можна спостерігати величину клірфактора до 15%, а клірфактор асинхронного електрогенератора не перевищує 2% [146].

Ще однією перевагою асинхронного електрогенератора є те, що в ньому повністю відсутні обертові обмотки і електронні деталі, які чутливі до зовнішніх впливів і досить часто схильні до пошкоджень. Тому асинхронний генератор більш стійкий в роботі і менше схильний до зносу і може служити дуже довго.



Як відомо, якість електричної енергії характеризується сукупністю властивостей електричної енергії, які обумовлюють придатність її для нормальної роботи електроприймачів відповідно до їх призначення при розрахунковій працездатності [147].

Показники якості електричної енергії (ПЯЕ) ГРП - поділяються на дві групи: основні і додаткові.

Основні ПЯЕ визначають властивості електричної енергії, які характеризують її якість. Додаткові ПЯЕ представляють собою форми записи основних ПЯЕ, використовувані в нормативно-технічних документах.

До основних ПЯЕ відносяться: відхилення напруги  $\delta U$ , розмах зміни напруги  $\delta U_i$ , доза коливань напруги  $\Psi$ , коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги  $k_{nsU}$ , коефіцієнт  $\nu$ -ої гармонійної складової  $K_{U(\nu)}$ , коефіцієнт зворотньої послідовності напруги  $K_{2U}$ , коефіцієнт нульової послідовності напруги  $K_{0U}$ , відхилення частоти  $\Delta f$ , тривалість провалу напруги  $\Delta t_p$ , імпульсна напруга  $U_{ipn}$  [148].

До додаткових ПЯЕ відносяться: коефіцієнт амплітудної модуляції  $K_{mod}$ , коефіцієнт небалансу міжфазних напруг  $K_{neb}$ , коефіцієнт небалансу фазних напруг  $K_{neb.f}$ .

Таким чином якість ЕЕ в запропонованій системі електропостачання можна описати за допомогою тензора через суму тензорів:

$$\begin{aligned} \prod_{j,i,q}^k &= \sum_{k,j=1}^{k,j=4} (a_j^k \delta U^j + b_j^k \delta U_i^j + c_j^k \Psi^j + d_j^k U_{imp}^j) + \\ &\sum_{k,i=1}^{k,i=4} (a_i^k k_{nsU}^i + b_i^k k_{U(\nu)}^i + c_i^k k_{2U}^i + d_i^k k_{0U}^i) + \\ &\sum_{k,q=1}^{k,q=4} (a_q^k k_{mod}^q + b_q^k k_{neb}^q + c_q^k k_{neb.f}^q + d_q^k \Delta f_p^q) \end{aligned}$$

або в спрощеному вигляді, враховуючи правило додавання, знак суми можна опустити і записати у вигляді:

$$\prod_{j,i,q}^k = A_j^k + B_i^k + C_q^k$$

Запропонована схема електропостачання з використанням нейроконтролера в своєму складі має блок датчиків, комутатор, нейроконтролер та два джерела електричної енергії (мережу та автономне альтернативне джерело енергії).



Рисунок 5.3 – Структурна схема системи електропостачання з використанням нейроконтролера

Блок датчиків, визначає показники напруги, частоти та струму безпосередньо в мережах електропостачання незалежно одна від одної, та передає дані до нейроконтролера.

Нейроконтролер аналізує енергетичні параметри, що надійшли від блоку датчиків, та надсилає управляючий сигнал на комутатор.

Комутатор є багатопозиційним і в залежності від управляючого сигналу від нейроконтролера має можливість підключити споживача до одного з джерел електроенергії, відключити споживача від джерела електроенергії та виконувати функцію автоматичного вмикання резерву.

Перевагою нейроконтролера у даному випадку є те, що він може одночасно приймати сигнали від усіх датчиків вимірвального блоку та одночасно аналізувати їх у режимі реального часу, оскільки при реалізації цієї схеми звичайними контролерами, одночасно аналізувати сигнали із датчиків вимірвального блоку одночасно у режимі реального часу не є можливим.

При роботі ВЕК паралельно з мережею (рис. 5.4), доводиться вирішувати питання, пов'язані з усталеною роботою станції, що виключає перевантаження генератора, за умови надійності в експлуатації. Усе це вимагає створення механічних і електричних пристроїв для автоматичного регулювання вітроелектростанції. Тому запропоновано підключати мережу до споживача через автоматизований розподільчий пристрій, що призначений для регулювання електроживлення споживача в автоматичному режимі. Таким чином, за умови достатнього електропостачання споживача від ВЕК, енергосистема працює в автономному режимі. При аварійній ситуації, чи виходу з ладу ВЕК, автоматичний розподільчий пристрій автоматично підключає споживача до мережі. У випадку, коли

відбувається, за рядом причин, недостатнє генерування електричної енергії ВЕК, то автоматичний розподільчий пристрій автоматично підключає до системи електропостачання споживача мережу, як додаткове джерело електричної енергії. Таким чином мережа є додатковим джерелом електричної енергії.

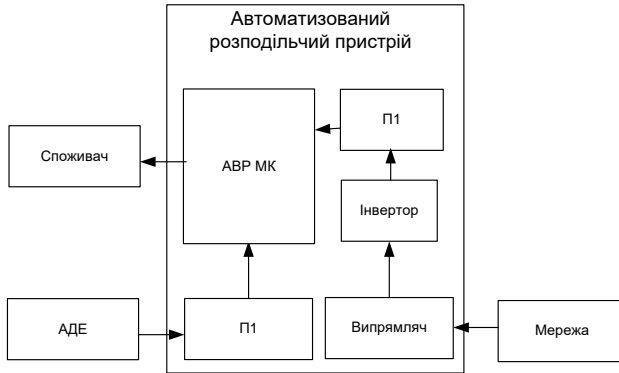


Рисунок 5.4 – Структурна схема автоматизованого розподільчого пристрою

За такої системи регулювання підвищується надійність електропостачання споживача та модульність системи вцілому. Оскільки, за необхідністю, відбувається регулювання кількості акумуляторних батарей та ВЕК [149].

### Контрольні питання до розділу 5

1. Які особливості алгоритму вибору обладнання бази концепції Smart Grid?
2. У чому принцип побудови структурної схеми інтелектуальної системи електропостачання-електроспоживання?
3. Які є основні напрямки інтеграції розосереджених енергоресурсів?
4. У чому особливість впровадження джерел розосередженої генерації?
5. Яким чином можна описати систему електропостачання на базі джерел розосередженої генерації?
6. Який вплив мають джерела розосередженої генерації на якість електричної енергії у мережі доя кої вони під'єднані?

## РОЗДІЛ 6

### СИСТЕМНА ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЯК ІННОВАЦІЙНИЙ ПРОЦЕС СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА АДАПТАЦІЇ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ

#### *6.1 Характеристика сучасної екології*

По-перше, очевидно, що це не одна наука, а міждисциплінарний комплекс. По-друге, стосовно його назви йдуть суперечки, висуваються різні варіанти: велика екологія, загальна екологія, глобальна екологія, натурсоціологія, ноологія, геологія соціосфери, геотехнологія, природокористування, созологія, созіекологія, геотехнія та багато інших. Назва комплексу ще не "встоялась". Певно що, найбільші шанси має термін соціальна екологія. Тому, вживаючи термін "екологія", ми маємо на увазі саме соціальну екологію як екологію всього соціуму [150].

Разом з тим не можна не помітити інтегруючу функцію екології в сучасній науці адже за останні десятиріччя екологія все більше стає цілісною дисципліною, що пов'язує природничі та гуманітарні науки. Зберігаючи свої міцні корені в біологічних науках, вона вже не може бути віднесеною цілком тільки до них. Екологія – точна наука в тому розумінні, що вона використовує концепції, методи та прилади математики, хімії, фізики та інших природничих наук. Але водночас вона гуманітарна наука, оскільки на структуру і функцію екосистем дуже впливає поведінка людини. Як інтегрована та природнича наука екологія з великим успіхом може бути застосована до практичної діяльності людини, оскільки для ситуацій, що складаються в реальному світі, майже завжди є властивими два аспекти: природничий та соціальний.

У певному розумінні екологію чекає доля кібернетики: остання також узагальнила свої центральні поняття – "управління" й "інформація", – поширивши їх на дві вищі форми руху матерії. Проте в кібернетичі первинною виявилася соціальна форма руху матерії, тоді як в екології – біологічна. Створились реальні передумови для узагальнення багатьох екологічних понять і створення більш фундаментальної теорії – екології біологічних і соціальних систем. Зокрема, започаткувався процес створення екології неорганічних систем.

Досить продуктивною в методологічному плані, на наш погляд, вбачається можливість побудови єдиної екологічної науки. Створення такої науки дозволить систематизувати всі екологічні знання,

сформувати так звану "екологічну картину світу". Екологічний підхід – це загальнонауковий підхід і він не може бути монополією з окремих наук. За вікову історію екологія обґрунтувала такі фундаментальні уявлення, як екологічна система, лімітуючі фактори, динаміка популяцій, розвиток і еволюція, екосистеми і деякі інші. Уявлення про екологічну систему і детермінуючі чинники її розвитку мало плідне методологічне значення не лише в структурі біологічного знання, а й в науці в цілому. Поняття "**екологічна система**" (А. Тенслі) спочатку відображало будь-яку єдність, що включає всі організми на якійсь ділянці і взаємодіє з фізичним середовищем таким чином, що потік енергії створює певну трофічну структуру, видове різноманіття і колообіг речовин всередині системи. Тобто здатність до самопідтримання і саморегулювання на основі складних причинно-наслідкових взаємозв'язків. За сучасними уявленнями, ступінь складності екосистеми перебуває в прямому зв'язку з її здатністю до саморегуляції. Спрощення екосистеми призводить до посилення її вразливості. Еволюція екосистем може бути прогресивною, тобто відбуватися з ускладненням, збільшенням внутрішніх зв'язків і взаємодій, або регресивною – при негативному характері цих процесів і навіть нейтральною, тобто яку не можна віднести ні до прогресивної, ні до регресивної. Нейтральні ефекти можна назвати ще структурними перебудовами, оскільки вони залишають ступінь розвитку на тому самому рівні. Всі ці три характеристики розвитку належать як до кожного компонента окремо, так і до всієї екосистем [151].

Екосистема складається з суб'єкта (його становлять, насамперед, біологічні та соціальні системи) і оточуючого його середовища, або об'єкта екосистеми. Якщо навколишнє середовище – природа, то йдеться про екологію природи, якщо – це "друга" природа, створена людиною, про екологію культури. Взаємовідносини між компонентами екосистеми називаються екологічними відносинами або взаємодіями.

Угруповання живих організмів, які мешкають на Землі, включаючи рослини, тварин і мікроорганізми, утворюють з навколишнім середовищем деяку єдність, тобто систему, в межах якої відбувається процес трансформації енергії та органічної речовини. Такі сукупності в біосфері організмів (біоценозів) і неорганічних компонентів, де здійснюється колообіг речовин, називають екосистемою. Зауважимо, що під біоценозом розуміється біологічна система, що становить собою сукупність популяцій різних видів рослин, тварин і мікроорганізмів, які населяють певний біотоп, тобто життєвий простір. Поняття біотоп включає мінеральні та органічні

речовини, кліматичні чинники, світло, тиск і рух середовища, вологість, механічні й фізико-хімічні властивості субстрату і т.п. Категорії "екосистема" і "біоценоз" широко використовуються в екології. Екосистема становить функціональну одиницю біосфери. Це – основна функціональна одиниця живої природи, що включає і організми, і абіотичне середовище. Вона є головним об'єктом сучасної екології. Екологічній системі притаманна динамічність. Суть її динамічності в тому, що єдність усіх живих організмів, які її утворюють, безперервно змінюється, взаємодіючи з фізичним середовищем. Ця взаємодія зумовлює формування потоку енергії, що має певну трофічну структуру. В результаті маємо видову різноманітність організмів і колообіг речовин всередині екосистеми. При відносній стабільності зовнішнього середовища екосистема зберігає стабільність. При перемінах у зовнішньому середовищі й у самій екосистемі відбуваються різноманітні зміни, в тому числі самопідтримання і саморегулювання екосистеми. Здатність екосистеми до самопідтримання і саморегулювання називають **гомеостазом**. У природних умовах гомеостаз самокорегується завдяки взаємодії коловоротів речовин і потоків енергії, які відбуваються в екосистемі. Для підтримання гомеостазу, що самокоригується, не потрібно зовнішнього управління [152].

Будь-яка система зазнає впливу величезної кількості чинників, у тому числі природних, екологічних, а також чинників, які виникли завдяки господарській діяльності людини. Екологічні чинники звично підрозділяються на дві основні групи: абіотичні та біотичні. *Абіотичні* включають компоненти і явища неживої, неорганічної природи, зокрема, клімат, світло, хімічні елементи і речовини, температуру. До *біотичних* належать чинники взаємодії особин і видів між собою (хижацтво, конкуренція, паразитизм та ін.), а також чинники харчування. До чинників, що виявляються в результаті діяльності людини, відносять антропогенний та техногенний вплив на природне середовище.

## **6.2 Загальні поняття та визначення екології інженерії**

Під **екологічним станом**, на наш погляд, слід розуміти сукупність умов і чинників абіотичної і біотичної природи, що визначають природні процеси в екосистемах і навколишньому середовищі, а також вплив людини на навколишнє середовище. Вона характеризується кількісними значеннями певних параметрів, за допомогою яких уявляється можливим оцінити вплив оточення на

здоров'я і життєдіяльність людини, стан екосистем та інших об'єктів біосфери. До зазначених параметрів можна віднести рівні геофізичних полів, у тому числі полів концентрацій інгредієнтів, які забруднюють навколишнє середовище, інтенсивність (дозування) температурного, вологісного чинників, коефіцієнти народжуваності, приросту і смертності тієї чи іншої популяції, швидкість природного збільшення популяції і т.п. [153].

Поняття "екологічний стан" набуває визначеного змісту лише за наявності певної небезпеки. В основі його лежить констатація вірогідності потенційної загрози, зумовленої тими чи іншими екологічними чинниками. Відповідно до цього, під **екологічною небезпекою** слід розуміти загрозу погіршення якості природного середовища, ураження людей, популяцій і угруповань живих організмів, що зумовлена наявністю або потенційною можливістю виникнення шкідливих природних і антропогенних чинників. Кількісною мірою екологічної небезпеки може бути вірогідність завдання тієї чи іншої шкоди об'єктам біосфери.

Слід зауважити, що під чинниками, від яких залежить сам факт існування екологічної небезпеки і її міра, нами розуміються не лише екологічні чинники, але і чинники, що пов'язані з виникненням геофізичних, гідрологічних, метеорологічних та інших небезпечних явищ (землетруси, сильні морські хвилювання, вітрові нагони води, урагани, торф'яні пожежі та ін.). Що ж до природних екологічних чинників, то при їх впливі екосистеми, що мають здатність до самопідтримання і саморегулювання, повертаються в стан екологічної рівноваги. Ентропія знову набуває свого максимального значення.

Антропогенні навантаження до певної межі також витримуються екосистемами і не призводять до порушення екологічної рівноваги. Однак через те, що антропогенний вплив на біосферу має постійний характер і часто перевищує допустимі рівні, антропогенні чинники повинні розглядатися як основні причини виникнення екологічної небезпеки. З екологічною небезпекою корелюється термін "екологічна ситуація". **Екологічна ситуація** – це просторово-часове співвідношення природних, економічних, соціальних і політичних умов, які створюють відносно стійку систему життєзабезпечення людини і суспільства. Складовими екологічної ситуації є умови, процеси й обставини. Умови на певній території визначають найбільш значимі групи екологічних чинників. Головними з них є несприятливі природні процеси, густина населення, територіальна концентрація виробництва, господарське використання земель, забруднення

навколишнього середовища, які визнаються джерелами екологічної небезпеки [154].

Екологічна ситуація, яка склалася у світі на межі III тисячоліття, спонукала все цивілізоване людство усвідомити, що подальше безвідповідальне споживацьке ставлення до природи та природних ресурсів може завершитися глобальною катастрофою. Тому попри негаразди та економічну скруту, за останні роки і в Україні закладено базові основи (інституціональні, науково методологічні, правові, економічні) державної екологічної політики, що притаманні країнам з ринковою економікою. Сьогодні забруднювати довкілля та надмірно споживати природні ресурси стає економічно не вигідним.

За останні 50 років склалася парадоксальна ситуація: світова цивілізація досягла вражаючих успіхів і в то же час опинилася на межі свого знищення. Низка глобальних проблем, які особливо гостро постали у другій половині XX століття (бурхливе зростання населення Землі, загострення енергетичної кризи та початок ведення воєн за енергоресурси, нестача продовольства та злидні населення багатьох країн світу, епідемії, тероризм, впливові регіональні та глобальні екологічні проблеми) стали причиною формування міжнародних об'єднань, що ставлять собі за мету їх вирішення.

Що розуміється під екологічно-конфліктною ситуацією та як її упередити? **Екологічно конфліктна ситуація** – це порушення рівноваги в екосистемах (біогеоценозах); локальне або регіональне погіршення стану довкілля (забруднення атмосфери, води, деградація ґрунту тощо) внаслідок діяльності людини або руйнівного впливу стихійних сил природи, що ставить під загрозу здоров'я людини, збереження природних об'єктів і обмежує ведення господарської діяльності. Яке правило, поняття використовують стосовно антропогенних явищ.

З метою врегулювання взаємовідносин між людиною та природою, розв'язання та попередження виникнення екологічних конфліктних ситуацій держава реалізує на своїй території певну екологічну політику, яка спрямована на збереження безпечного для існування живої та неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього середовища, досягненням гармонійної взаємодії суспільства й природи, охорону, раціональне використання й відтворення природних ресурсів.

В Україні правові, економічні та соціальні основи організації охорони навколишнього природного середовища визначаються базовим у галузі екології Законом України "Про охорону навколишнього



природного середовища" від 25 червня 1991 р. В подальшому розвиток напрямків екологічної політики з різною мірою повноти здійснюється у розроблених відповідно до цього Закону земельному, водному, лісовому законодавстві, законодавстві про надра, про охорону атмосферного повітря. З метою здійснення державного нагляду й контролю у сфері екології прийнято Закон України – Про екологічну експертизу від 9 лютого 1995 р. Поводження з хімічно небезпечними засобами захисту рослин визначається Законом України – Про пестициди та агрохімікати від 2 березня 1995 р. З метою поліпшення забезпечення питною водою населення та галузей економіки, розв'язання водогосподарських і екологічних проблем, створення умов сталого і ефективного функціонування водогосподарського комплексу та захисту від її шкідливої дії прийнято цілу низку законів, з яких провідним є Закон України – Про загальнодержавну програму розвитку водного господарства від 17 січня 2002 р. Зазначене природоохоронне законодавство постійно вдосконалюється. Приклад цього, прийняття "Основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2020 року".

Екологічно конфліктна ситуація може скластися внаслідок недотримання людиною обов'язкових екологічних вимог при використанні природних ресурсів, ігнорування екологічної безпеки, а саме нераціонального та неекономного використання природних ресурсів, псування, виснаження природних ресурсів; аварії при роботі з екологічно небезпечними речовинами (транспортування нафти), забруднення природного середовища відходами виробництва та життєдіяльності (створення сміттєзвалищ, злив стічних вод до річок, водосховищ, ставків, неконтрольований викид в атмосферу вуглекислого газу, двоокису сірки тощо); здійснення непередуманих інженерних проєктів (створення водосховищ, осушення боліт, тощо) [156].

**Екологічна аварія** (від італ. *avaria* - пошкодження) – небажана подія у процесі господарської діяльності, вихід з ладу, пошкодження будь-якого механізму, агрегату, чи споруди, пов'язаної з загрозою для людського життя, екологічними збитками, а також забруднення навколишнього середовища. На практиці екологічна аварія існує як така виробнича або транспортна ситуація, що передбачена діючими регламентами та правилами. В цілому екологічна аварія є особливим різновидом технологічної аварії, що включає в себе: викиди, прориви шкідливих речовин з попаданням їх в оточуюче природне середовище.

Екологічна аварія виникає в разі, коли певні виробничі чи інші об'єкти викидають у навколишнє середовище шкідливі речовини в

таких розмірах, що створюється реальна загроза населенню, довкіллю, матеріальним цінностям. За характером ризику екологічну аварію можна поділити на наступні групи: викиди і скиди хімічних речовин стаціонарними джерелами; викиди бактеріологічних і біологічно активних речовин; викиди радіоактивних речовин; вибухи та пожежі; раптові руйнування будівель (різних споруд гідродинамічних, електроенергетичних, комунальних систем, стічних споруд тощо); транспортні аварії (аварії при перевезенні пасажирів і вантажу наземним, водним і повітряними видами транспорту, аварії на трубопроводах); надзвичайні ситуації, пов'язані з випробуванням військової техніки та ін. Так, в Україні у середньому за рік фіксується 300 випадків екстремального забруднення довкілля. Найбільші екологічні аварії трапляються на нафтопроводах, продуктопроводах, каналізаційних мережах.

Екологічні аварії класифікують за їх видами (джерелами); за сферами дії (водні ресурси, атмосферне повітря, земельні ресурси); за заповідному навколишньому середовищу негативному впливові; за мірою покарання винних у виникненні екологічної аварії (екологічна аварія, винні у виникненні якої не притягнуті до відповідальності; екологічна аварія, винні у виникненні якої притягнені до адміністративної відповідальності; екологічна аварія, винні у виникненні якої притягнені до кримінальної відповідальності). З екологічною аварією нерідко пов'язаний безпосередньо екологічний вибух [157].

**Екологічний вибух** – це масове розмноження виду на території, до якої він був завезений, і де не виявилось його природних ворогів. Екологічний вибух спричинений різким багаторазовим і відносно раптовим збільшенням чисельності особин будь якого виду, це процес, який не регулюється природним чином. Найчастіше екологічний вибух виникає через переселення особин окремих видів тварин і рослин за межі їхнього природного ареалу та адаптації до нових умов існування. Організми заносяться у райони випадково й акліматизувавшись перетворюються на шкідників.

Явище екологічного вибуху спостерігали в різних місцях та за різних обставин. Наприклад, у 1835 році в Австралію фермери завезли декілька овець, де їх раніше не було. Не маючи природних ворогів вівці приблизно через півстоліття збільшили свою чисельність до 8 мільйонів особин, а потім, через зниження харчової бази, темпи приросту почали уповільнюватися. Таке різке збільшення числа овець може бути прикладом екологічного вибуху. Досить багато прикладів розглянуто у книжці англійського еколога Ч. Елтона – Екологія нашестя тварин і

рослин (1960 р.). В ній згадується, що в кінці XIX-го століття в міський парк Нью Йорка були завезені 80 шпаків, а через півстоліття вони розповсюдились по всій території США і Канади. Північноамериканська ондатра в Європі почала своє розповсюдження всього з 5 особин (Чехія, 1905 рік), а зараз чисельність ондатри досягає декілька мільйонів особин. В результаті інтродукції в Росії північноамериканська ондатра стала важливим хутровим звіром в басейнах рік Сибіру, на півночі Російської рівнини.

Явище екологічного вибуху спостерігалось і в Україні. Яскравим прикладом цього є масове розмноження колорадських жуків на території України. Через відсутність природних ворогів, за досить короткий термін їх кількість настільки зросла, що зараз вони є шкідником, від якого сільське господарство України потерпає найбільше [158].

Явище екологічного вибуху може приносити як користь, так і завдавати шкоди людському суспільству, що проживає на території, де він відбувся. У чому виражається екологічна шкода?

**Екологічна шкода** – вид екологічної ситуації, яка полягає в умисному або невмисному заподіянні збитків навколишньому середовищу, яке може мати соціально політичні або економічні або правові наслідки. Має наступні форми.

1. Шкода, що спричинена джерелом підвищеної небезпеки для навколишнього середовища; шкода, яка є загрозою здоров'ю громадян, спричинена впливом забрудненого навколишнього середовища, викликаним діяльністю підприємств, установ, організацій. Ця шкода виникає у результаті правопорушення.

2. Шкода, нанесена майну громадян, у результаті шкідливого впливу навколишнього середовища, викликана господарською чи іншою діяльністю.

3. Економічні (може визначатися у грошах) і соціальні втрати суспільства і окремих осіб через порушення стійкості навколишнього середовища у результаті господарської діяльності, яких можна було уникнути не порушуючи стійкості навколишнього середовища, що відбувається у межах еколого-економічного потенціалу.

Сьогодні існує тенденція постійного зросту екологічної шкоди. Це виражається в істотних змінах навколишнього середовища, що впливає на економіку, соціальний статус людей, здоров'я. В окремих країнах намагаються дати оцінку екологічній шкоді, але завжди методики виявляються неповними, оскільки по суті підривається фундамент життя самих людей і усієї біоти. Велику кількість зв'язків між природною біотою, господарською діяльністю і людьми, не

вдається повною мірою описати, відсутня адекватна модель для оцінок екологічної шкоди. Але ще більше ускладнює оцінювання екологічної шкоди неможливість отримати і переробити увесь потік інформації в системі біота – навколишнє середовище – людина.

**Екологічна шкода** виражається в розриві природних зв'язків у природі, а це значить [159]:

- неможливість заповнити в грошах збиток, заподіяний природному середовищу;

- відшкодування шкоди в натурі можливо лише частково, відшкодування шкоди носить умовний характер, тому що об'єкти природного середовища не мають вартості.

Шкода, заподіяна навколишньому природному середовищу, характеризується негативними змінами в стані навколишнього середовища, викликаними діяльністю людини. Ці зміни можуть полягати в забрудненні навколишнього середовища, виснаженні природних ресурсів, ушкодженні, руйнуванні екологічних систем природи, що у свою чергу заподіює шкоду чи створює реальну погрозу заподіяння такої шкоди здоров'ю людини, рослинному і тваринному світу, матеріальним цінностям.

Шкода, заподіяна природному середовищу, по особливому виявляється в часі і просторі. Усі складові частини природного середовища знаходяться між собою у взаємодії і взаємозв'язку, вони складають єдину екосистему, а в межах конкретних ділянок суші чи водойм утворюють єдину спільність організмів, рослинності і т.п. – біоценоз. Заподіяння шкоди одній з частин екосистеми негайно відбивається на стані інших. Змінена внаслідок заподіяної шкоди якість природного середовища у свою чергу негативно впливає на соціальне середовище: завдається шкода здоров'ю людей, майну. Таким чином, у загальному понятті шкода природному середовищу розрізняються шкода первинного і вторинного походження. Шкода здоров'ю людей і майну носить вторинний (похідний) характер, оскільки походить від первинної шкоди, заподіяної природному середовищу. Шкода здоров'ю людей виявляється у втратах фізіологічного, економічного, морального, генетичного порядку. Шкода майну може виражатися у втратах врожаю сільськогосподарських культур, загибелі тварин, знищенні багаторічних насаджень, не одержаних доходах і т.д. [160].

Взаємодія двох систем – суспільства і природи обумовлює розподіл шкоди на економічну і екологічну. Шкода економічна впливає з економічної оцінки природних ресурсів. Вона зазіхає на економічні інтереси природокористувачів. Так, економічна шкода, що виникла в результаті порушення правил пожежної безпеки в лісах,

включає: вартість знищеної товарної деревини, витрат на гасіння пожежі і прибирання території, витрат по відшкодуванню збитків іншим організаціям і особам. Однак не тільки цим вимірюються втрати, що виникли при пожежі. Перестав функціонувати лісовий масив, знищений пожежею. Атмосферне повітря позбавляється природного фільтра, що очищає навколишнє середовище від пилу і газів, а ґрунт і ріки – захисту від ерозії і обміління. Це – екологічна шкода. Вона, як правило, не піддається грошовій оцінці.

Економічна шкода містить у собі наступні елементи: а) невикористані витрати, вкладені раніше в природні об'єкти, наприклад, такими можуть бути суми, витрачені на охорону державного природного заповідника; б) витрати на відновлення колишнього стану природного об'єкта, наприклад, кошти на рекультивацію земель; в) не одержані доходи, що виразилися в не одержанні природної сировини, наприклад, вартість знищеної товарної деревини. Шкода може виявлятися в одному із трьох зазначених елементів або в їхньому сполученні. Так, наприклад, третій елемент може мати місце, якщо тільки природний об'єкт використовується в господарській діяльності.

Як уникнути екологічної небезпеки? **Екологічна небезпека** – це вид екологічної ситуації, за якою створилась або вірогідна загроза виникнення вражаючих факторів і впливу джерела надзвичайної ситуації на населення, на об'єкт народного господарства і навколишнє природне середовище. Можливе виникнення факторів екологічної небезпеки (складова будь-якого небезпечного процесу або явища, викликана джерелом небезпеки і характеризується фізичними, хімічними і біологічними діями, які визначаються відповідними параметрами), здатних призвести до одного або сукупності наступних небажаних наслідків для людини та навколишнього середовища [150]:

а) відхилення здоров'я людини від середньостатистичного значення, тобто до хвороби або навіть смерті людини;

б) погіршення стану навколишнього середовища людини, зумовлене нанесенням матеріальної або соціальної шкоди (порушення процесу нормальної господарської діяльності, втратою того чи іншого виду власності) або погіршення якості природного середовища і т.д.;

в) порушення екологічної рівноваги екологічних ресурсів на деякій території;

г) загибелі еволюційно сформованих біогеоценозів;

д) до локального або регіонального погіршення стану довкілля (забруднення атмосфери, води, деградація ґрунтів тощо), що розглядається як загроза для населення регіону.

Екологічна небезпека може виникнути в зв'язку з: а) дією стихійних сил (стихійних лих) та природних явищ; б) різким порушенням взаємозв'язків в природних системах під впливом антропогенних факторів. Екологічна небезпека може мати локальний, регіональний або глобальний характер.

Усвідомлення екологічної небезпеки є джерелом екологічних студій, міроприємств, екологічної діяльності, підставою формулювання завдань. До завдань сучасної екології людини належать [160]:

- створення екологічного моніторингу – системи спостережень за змінами процесів життєдіяльності людей у зв'язку з дією на них різних факторів навколишнього середовища, які впливають на здоров'я населення, зумовлюють поширення захворювань;

- складання медико-географічних карт, що відображають територіальну диференціацію захворювань населення, пов'язаних з погіршенням якості навколишнього середовища;

- зіставлення медико-географічних карт з картами забруднення навколишнього середовища і встановлення кореляційної залежності між характером і ступенем забруднення різних природних компонентів соціоекосистем та відповідними захворюваннями населення;

- визначення науково обґрунтованих значень гранично допустимих техногенних навантажень на людський організм.

Екологічна безпека нерідко залежить від наявності екологічно-небезпечного об'єкта.

**Екологічно-небезпечний об'єкт** – одиниця, яка становить певну небезпеку (може нанести будь-яку шкоду) навколишньому середовищу та загальній природній ситуації. У постанові Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 року "Про затвердження положення про державну систему моніторингу довкілля" вказано, що суб'єкта системи моніторингу, місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування, підприємства, установи та організації, незалежно від підпорядкування та форм власності повинні здійснювати розроблення та узгодження з органами МНС та Мінекобезпеки планів здійснення заходів з метою спостереження за станом екологічно небезпечних об'єктів, запобігання екологічно небезпечній виробничій, господарській та іншій діяльності. Сьогодні дуже часто мітинги та різного типу заяви спричинені відмовленням в отриманні правдивої інформації про екологічно небезпечний об'єкт, що викликає протест з боку населення. Приклади конфліктів, пов'язаних з екологічно небезпечними об'єктами: строки закриття станції промивки цистерн від нафти (Лузанівка, Одеський район), автозаправки в Києві та області), бази зберігання нафтопродуктів (Васильків, Біла Церква), вибухи на

складах боєприпасів (м. Калинівка Вінницької обл. 27.07.2017 р.; с. Новоянисоль Донецької обл. 22.09.2017 р.; м. Балаклія Харківської обл. 23.03.2017 р.; м. Сватове Луганської обл. 29.10.2015 р.; пожежа на танковому складі у м. Кривий Ріг Дніпропетровської обл.; м. Лозова Харківська обл. 27.08.20108 р.; чотири роки поспіль – 2004-2007 – вибухали артилерійські склади в с. Новобогданівка Запорізької обл.; пожежа на складі брєприпасів в Артемівську (нині Бахмут) Донецької обл.) тощо [160].

Для перевірки екологічно небезпечного об'єкта використовується екологічний аудит - це перевірка підприємства, мета якої - виявити, наскільки виробництво та система управління навколишнім середовищем відповідають встановленим вимогам. Екологічний аудит виник в країнах Західної Європи в 60-х роках минулого століття. Безпека функціонування екологічно небезпечних об'єктів (ЕНО) залежить також від ефективності системи фізичного захисту (попередження неправомірних дій). Нерідко за цими катастрофічними подіями стоїть не тільки провокації ворога, а й елементарна безвідповідальність посадових осіб, їх екологічний волюнтаризм.

**Екологічний волюнтаризм** (від латинського voluntarius - залежний від волі) – це господарювання без урахування екологічних та етичних обмежень, особливо в прогнозованому інтервалі часу, коли виникатимуть і відчуватимуться явища – екологічного бумерангу, тобто негативного впливу чинників довкілля на господарські заходи і життя людини.

На початку минулого століття основною ідеєю природокористування було використання природних ресурсів на основі пізнання основних законів її розвитку. Екологічний волюнтаризм набув поширення із розвитком науково-технічної промисловості та зменшення кількості природних ресурсів Землі. Наразі є кілька видів екологічного волюнтаризму. Так, екологічний волюнтаризм у промисловості проявляється у тому, що власники великих промислових підприємств, не переймаючись екологічними проблемами регіонів, проводять свою виробничу політику всупереч рекомендаціям науковців-екологів, тим самим ще більше забруднюючи навколишнє середовище.

Волюнтаризм у екології є наслідком екологічного утопізму, коли подаються суто суб'єктивні оцінки оточуючої дійсності та виконуються дії, наслідки яких у результаті не збігаються із очікуваними.

Екологічний волонтаризм у своєму прогресивному розвитку переростає в екологічний нігілізм, що по суті є однією (останньою) зі стадій екологічного волонтаризму, тобто господарювання провалиться не тільки без урахування екологічних обмежень, але й з метою умисного нехтування екологічними вимогами щодо окремих видів діяльності: інвестиційної, господарської та у процесі розміщення і розвитку населених пунктів (містобудівної); вимог екологічної безпеки: транспортних засобів; щодо проведення наукових досліджень, провадження відкриттів, винаходів, застосування нової техніки, імпортного устаткування, технологій і систем та щодо військових, оборонних об'єктів і військової діяльності, а також вимоги щодо охорони довкілля від неконтрольованого та шкідливого біологічного впливу; від акустичного, електромагнітного, іонізуючого та іншого шкідливого впливу фізичних факторів і радіоактивного забруднення; від забруднення виробничими, побутовими, іншими відходами; у процесі застосування засобів захисту рослин, мінеральних добрив, токсичних, хімічних речовин та інших препаратів. Ідея протистояння екологічному волонтаризмі закладена у законах про навколишнє середовище чітко описується це поняття, класифікуючи це діяння як заподіяння шкоди самій державі.

Ще один важливий термін для пояснення екологічної безпеки є введення екологічних обмежень. **Екологічні обмеження** – визначені чинним законодавством країни рекомендації, щодо регулювання діяльності фізичних та юридичних осіб, які своєю діяльністю можуть спричинювати екологічну шкоду. Обмеження в екології встановлюються з урахуванням рівня екологічної місткості територій, стану об'єктів природи та екосистеми в цілому.

Екологічні обмеження мають наступну специфіку [140]:

1) в разі різкого погіршення екологічного стану певного регіону можуть бути застосовані жорстокіші екологічні обмеження, включаючи примусове закриття шкідливих промислових об'єктів та виплату грошових компенсацій;

2) розробляються на основі доповідей територіальних комітетів Міністерства охорони здоров'я та Міністерства охорони навколишнього середовища, іншими спеціальними органами у відповідності до їх компетенції;

3) представники регіональних урядових установ інформують населення регіону про введення жорстких екологічних обмежень на території їх проживання.

Екологічні обмеження може бути як ландшафтно-біологічним або фізичним, так звана "заборона", яка базується на фактичному чи



передбачуваному, прогнозованому шкідливому впливові певного господарського проекту, заходу на довкілля або технологічні процеси в суміжних галузях господарювання.

Крім того, існує нормативне значення терміну, де екологічні обмеження - це акти розвитку та розміщення продуктивних сил, у рамках яких повинне здійснюватися їхнє функціонування на території країни та у межах їх екосистем. За порушення екологічних обмежень передбачається екологічна відповідальність керівників даного району та підприємства. Екологічне обмеження - це: ліміти допустимих викидів (скидів, розміщення) забруднюючих речовин у навколишнє середовище; ліміти допустимого використання (вилучення) природних ресурсів по природних об'єктах, екосистемах і площах.

Зазначені обмеження – ступеневі, бо вони підлягають уточненню, їх рамки робляться суворішими, жорсткішими, з певним часом і у підсумку доводяться до нормативного рівня. Причому об'єм викидів забруднюючих речовин встановлюється на договірній основі між країнами, областями та містами. Така система екологічних обмежень сприяє перебудові виробництва та переорієнтації усієї економіки на безвідходні та маловідходні технології та ресурсозбереження [160].

Екологічні обмеження здебільшого забезпечується екологічним нормуванням та екологічною стандартизацією, що передбачає діяльність спеціально уповноважених органів, установ та організацій по розробці та встановленню комплексу обов'язкових норм, правил, вимог щодо охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки. В систему екологічних нормативів входять:

1) нормативи екологічної безпеки (гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі, гранично допустимі рівні акустичного електромагнітного та іншого шкідливого фізичного, хімічного та біологічного впливу на навколишнє природне середовище, гранично допустимий вміст забруднюючих речовин у продуктах харчування);

2) гранично допустимі викиди та скиди забруднюючих речовин у природне навколишнє середовище.

Порушення таких юридичних критеріїв виступає юридичним фактом для притягнення до відповідальності за порушення права екологічної безпеки.

### *6.3 Інноваційна сутність системної інженерної екологізації*

У сучасних наукових та навчальних вітчизняних виданнях екологізація як інноваційний процес розглядається переважно в економічному ракурсі, тобто як економічна категорія.

Так, наприклад, бельгійський досвід ґрунтується на кластерних (синергетичних) моделях екологізації, серед яких наявні інженерні кластери енергозбереження з конструктивними та технологічними рішеннями. Більше інженерно-екологічних аспектів містить американська модель екологізації автотранспорту: перехід до екологічно сприятливих конструкцій автомобіля, відмови від вуглецевих видів палива, створення цифрових мереж регулювання тощо [160].

Отже, екологізація як інноваційний процес досягнення збалансованої інтеграції економічних, інженерних, екологічних аспектів сталого розвитку за своєю методологічною сутністю є синергетичний інженерно-економічний та інженерно-екологічний інноваційні процеси в контексті сучасної синергетичної парадигми сталого розвитку інноваційного спрямування.

Саме на синергетичному підході ґрунтувалася Лундська (шведська) модель екологізації промисловості, поєднуючи технічні, екологічні та економічні методи, заходи у цілісній програмі запобігання забрудненню у складі системного інтегрованого менеджменту екологізації. Згідно зі шведською моделлю інноваційний процес екологізації промисловості має починатися із впровадження системи міжнародних стандартів ISO з екологічного менеджменту в поєднанні зі стандартами управління якістю (ISO 9000, 9001-3, 9004).

Для України як індустріально-аграрної держави є актуальним відтворення інноваційного потенціалу галузей індустрії, рушійною силою яких (відтворення) має стати системна екологізація, тим більше, що це передбачено чинним законодавством: «підготовка державних цільових програм з екологізації окремих галузей національної економіки, що передбачають технічне переоснащення, запровадження енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій, маловідходних, безвідходних та екологічно чистих технологічних процесів».

Процес екологізації у будь-якій галузі діяльності за своєю сутністю є інноваційним процесом згідно з поширеним його визначенням як «процес постійного екологічного вдосконалення, який спрямований на запобігання та усунення екодеструктивних факторів».

Отже, під екологізацією виробництва слід розуміти цілеспрямований інноваційний процес підвищення екологічності

життєвих циклів продукції, продукційних систем; підвищення екологічної чистоти технологічних систем, перехід до екологічно чистих моделей виробництва з досконалою системою еколого-інноваційного та енергетичного менеджменту [160].

Для сучасної методології екологізації виробництва характерними є інноваційні моделі, стратегії екологічної чистоти технологій, виробництва. Це ключова системоутворювальна ланка інноваційної структури синергетичного процесу екологізації. Вимога більш широкого застосування екологічно чистих і безпечних технологій та виробничих процесів міститься в оновлених цілях глобальної стратегії сталого розвитку на період до 2030 р.

У Паризькій кліматичній угоді на період до 2050 р. пропонується розробити рамкові технологічні платформи, що зумовлено змінами клімату, які мають сприяти розвитку «екологічно оптимальних технологій», зміцнювати синергію технологічних механізмів, потенціалів запобігання змінам клімату та адаптації до змін.

У ЄС політика розвитку інноваційних технологій та екологізації економіки спрямована на використання у промисловості найкращих інноваційних методик, моделей, що забезпечує поширення більш досконалих моделей використання ресурсів (моделі ЖЦП).

У ЄС провадиться інтегрована політика щодо продукції (ІРР) з метою системної екологізації ЖЦП від сировини та утилізації використаної продукції. Перше велике прагнення Європи сприяти екоінновації втілено у «Плані дій щодо розвитку технологій захисту довкілля» (екологічних технологій – ЕТАР).

Для України не обов'язково винаходити «свій інноваційний курс» на початку інноваційного шляху до ноосферо-синергетичної моделі сталого розвитку в ХХІ ст. Розпочати слід з використання результативного досвіду Швеції, Канади, Польщі, Китаю.

#### ***6.4 Керівні глобальні принципи, засади інженерної екологізації виробництва***

Вони визначені в програмних документах ООН, спрямованих на формування глобальних узгоджених та у подальшому вдосконалених концептуальних основ, принципів, системних підходів, цілей сталого розвитку, зокрема таких [160].

1. Програма дій «Порядок денний на ХХІ століття». Ухвалена конференцією ООН в 1992 р. у Ріо-де-Жанейро. Уперше визначено концептуальні основи, цілі сприяння більш екологічно чистому виробництву, поширенню екологічно чистих технологій, які

визначаються як маловідходні або безвідходні технології перероблення сировини і одержання готового продукту і запобігають забрудненню навколишнього середовища. До них також належать технології перероблення по завершенні виробничого циклу або технології очищення, призначені для усунення наявного забруднення. Екологічно чисті технології слід розглядати як комплексні (синергетичні) системи у сукупності з інформаційними технологіями, спеціальними процедурами, послугами, обладнанням та методами організації та управління. Концепція більш екологічно чистого виробництва передбачає забезпечення екологічної досконалості та синергетичної інтегрованої ефективності на кожному етапі ЖЦП.

2. Доповідь Всесвітнього саміту на вищому рівні щодо сталого розвитку. ООН, Йоганесбург, 2002. Розвиваються концептуальні основи, принципи екологічно чистих технологій, виробництва в напрямі стійких, раціональних моделей виробництва і споживання на засадах науково обґрунтованих підходів до екологізації ЖЦП; підтримання програм і центрів, зокрема інженерних, чистого виробництва; створення і розвиток інноваційного потенціалу екологічної чистоти малих і середніх підприємств; поширення моделей досвіду чистого виробництва та споживання; здійснення програм навчання, підготовки спеціалістів у сфері екологічної досконалості моделей виробництва і споживання.

3. Підсумковий документ Конференції ООН зі сталого розвитку «Майбутнє, якого ми бажаємо». Ріо-де-Жанейро, Бразилія, 2012 р. Уперше на офіційному всесвітньому рівні вводиться поняття «забезпечення синергетичної взаємодії та узгодженості» щодо зміцнення потенціалу, зокрема інноваційного, сталого розвитку, взаємодії науки і практики, збалансованої інтеграції трьох аспектів сталого розвитку. Уводиться поняття «зеленої» економіки як одного з важливих інструментів забезпечення сталого розвитку, що ґрунтується на всіх принципах, визначених ООН у Ріо-де-Жанейро. «Зелена» економіка має стимулювати інноваційну діяльність, сприяти подоланню технологічних розривів та впровадженню раціональних моделей виробництва і споживання; підвищувати ефективність використання ресурсів і зменшувати відходи.

Концепція ООН рекомендує промисловим секторам розробляти стратегії розвитку «зеленої» економіки; поширювати ефективні інноваційні моделі, досвід «зеленої» економіки; стимулювати екологічні технології, дослідження та інноваційні розробки. У документі розглядаються синергетичні умови формування Глобального екологічного імперативу (перспективу), одне з призначень якого

полягає у «зміцненні синергетичних зв'язків» між екологічними конвенціями, зведення у цілісну мережу екологічної інформації. Екологічний імператив ООН охоплює всі основні сфери життєдіяльності людства та «зелену» енергетичну мережу їх забезпечення.

Отже, **сучасна концептуальна модель «зеленої» економіки** має складну синергетичну структуру екологізованих компонентів: «зелена» енергетика, «зелені» інвестиції, «зелений» ринок екологічно чистої продукції, технологій, послуг; «зелені» моделі виробництва і споживання.

### *6.5 Екологічна інженерія Глобальної промислової революції (Індустрія 4.0)*

Характерною методологічною особливістю четвертої промислової революції є технологічний синергізм на основі технологічних укладів 5-го і 6-го поколінь та синергетичний ефект: інноваційний, екологічний, економічний, соціальний, бізнесовий. Ключову роль у досягненні синергетичного ефекту має відігравати цифрова інженерія – цифрові технологічні платформи поєднання, синергії індустріальних, цифрових, біоекологічних та нанотехнологій.

Інноваційний потенціал дозволяє переорієнтувати бізнес і споживачів з лінійної моделі використанням ресурсів «бери-роби-викидай» на інноваційну модель чистого виробництва, у якій технологічні ресурсні, переробні, цифрові, очисні системи синергетично взаємодіють у ЖЦП і сприяють формуванню сталої регенеруючої («зеленої») продуктивної системи, яка має властивості не тільки запобігання забрудненню, але і підвищення екологічних характеристик виробництва, продукції [160].

Клаус Шваб розглядає інноваційні цифрові технології з екологічним ефектом, зокрема і кліматичним. Застосування інтернет-речей (IoT) та інтелектуального ресурсу дозволяє відслідковувати потоки матеріальних, енергетичних ресурсів з досягненням додаткового синергетичного ефекту за всіма ланцюгами створення вартості (продукції). Із 14,4 трлн дол. США економічних вигід, які, за оцінками Cisco, мають бути отримані за рахунок інтернет-речей у наступному десятиріччі (2020–2030 рр.), 27 трлн дол. США вартості мають бути отримані внаслідок скорочення відходів та екологічного вдосконалення ланцюгів постачання та логістики інноваційних моделей з використанням інтернет-речей і можуть сприяти скороченню викидів парникових газів на 16,5 %.

Четверта промислова революція, її інноваційні моделі технологічного синергізму відкривають перед корпораціями можливості досягти повноти екологізації ЖЦП, створити послідовність з каскадним екоефектом, що дозволяє вторинний ресурс використовувати для інших цілей, при цьому зменшуючи шкідливі викиди і навантаження на навколишнє природне середовище. У цій інноваційній промисловій системі CO<sub>2</sub> перетворюється, наприклад, із забруднювальної речовини, що створює парниковий ефект, у виробничий новий ресурс, а інженерія уловлювання і збереження вуглецевих сполук створює додану вартість та нові технологічні потужності.

Інженерні системи когенерації (технологічний синергізм комбінованого виробництва теплової та електричної енергії) та комбінованого охолодження вловлюють і використовують надлишкове тепло, істотно підвищуючи енергоефективність. Системи тригенерації використовують тепло для обігріву будівель, або для їх охолодження за допомогою абсорбційного холодильного обладнання, наприклад, охолодження офісних комплексів з великою кількістю комп'ютерів [160].

Інженерні системи водопостачання з «Уотернет» («Інтернет труб») здійснюють моніторинг циркуляції води і таким чином формують моделі раціонального водопостачання, тобто зменшення дефіциту водних ресурсів.

Наведені окремі приклади інноваційної спрямованості четвертої промислової революції свідчать про її зв'язок із цілями, інноваційними моделями сталого розвитку на період до 2030 р. Спільне поширення застосування інноваційних моделей технологічного синергізму та моделей, стратегій екологізації виробництва буде сприяти пришвидшенню досягнення стратегічних цілей сталого розвитку до 2030 р [150].

### ***6.6 Зміна моделей технологічних укладів сталого розвитку***

Зміна моделей технологічних укладів характеризує нарощення інтелектуального та інноваційного потенціалів сталого розвитку суспільства, промисловості, темпів та масштабів його екологізації; перетворення «сировинної» економіки в «зелену» економіку, екологічно «брудніше» в безпечне. Не випадково Клаус Шваб ототожнює поняття «четверта промислова революція» і «четверта технологічна революція», яка за своїм впливом на розвиток суспільства,

його сфери життєдіяльності значно масштабніша за промислову і визначає такий вплив, як інноваційний.

Українські науковці розробили сценарії розвитку економіки України з передбаченням головних складників 6-го технологічного укладу, структура моделі якого визначається на основі експертних оцінок різних міжнародних та науково-освітніх центрів. У різних експертних груп різне стратегічне бачення моделі 6-го технологічного укладу.

Технологічний уклад – це синергетична сукупність технологій та виробництв одного інноваційного рівня, який, у свою чергу, формується інтелектуальним ресурсом. Клаус Шваб розглядає технологічний уклад четвертої промислової революції у тривимірному, синергетично цілісному ракурсі технологічного блокчейну: фізичний, цифровий та біологічний блоки впливу на сфери життєдіяльності суспільства [160].

В офіційному документі ЮНЕСКО, підготовленому французьким філософом Едгаром Мореном щодо основних напрямів реформування освіти, під назвою «Освіта у майбутньому: сім невідкладних занять», на перше місце поставлено проблему ноогенезу. Академік А. Гальчин ський розглядає сучасну тенденцію пришвидшення системних нооперетворень у взаємозв'язку із синергетичними механізмами формування креативного суспільства в епоху «революційних» потрясінь: інформаційних, технологічних, етичних. Саме таким тенденціям відповідає екологізована синергетична модель технологічного укладу четвертої промислової революції в ноосферну епоху сталого розвитку XXI ст. з екологічним блоком та відповідними технологічними драйверами або екологічними інноваціями, склад яких може постійно змінюватися, оновлюватися у процесі неперервних технологічних нооперетворень.

Кожен наступний технологічний уклад є своєрідним вираженням зв'язків між способами, засобами виробництва та природи. Саме завдяки змінам технологічних укладів природний ресурс заміщується інтелектуальним. Відбувається нарощення інтелектуалізації виробництва і, як наслідок, його екологічної чистоти, ефективності, безпечності та конкурентоспроможності.

Однією з головних структурних проблем галузевої економіки України є технологічна багатокладність виробництва: поруч із 3-м і 4-м технологічними укладами набуває поширення 5-й технологічний уклад із формуванням галузевих цифрових платформ. Подолати технологічну відсталість можливо лише за умов розроблення, реалізації національної та галузевих інноваційних політик, відповідних

інноваційних систем на базі провідних дослідницьких технічних університетів [160].

### ***6.7 Базовий технологічний блокчейн екологізації виробництва – життєвий цикл продукції***

Передумовою переходу на вищі інноваційні рівні технологічних укладів сталого розвитку, екологізації виробництва, галузей економіки є екологізація ЖЦП. У другому розділі розглянуто нормативну методологію досліджування та оцінювання екологічності ЖЦП як цілісного технологічного ланцюга процесів виробництва та споживання продукції, кожен з яких являє собою певну ланку, технологічний блок екодеструктивного впливу на навколишнє середовище, якість життя населення.

Екологічний вплив відбувається по всьому технологічному ланцюгу виробництва і споживання продукції [160]:

– видобування вхідних ресурсів – вилучення природних ресурсів, забруднення атмосфери, води, ґрунтів; порушення ландшафтів тощо;

– виробництво продукції – шкідливі викиди та скиди забруднювальних речовин, нагромадження відходів;

– споживання, використання та утилізація продукції (транспортне забруднення, утилізація відходів, продукції), що втратила свої споживчі якості.

Завдання екологічної інженерії полягає у визначенні інженерноконструктивних, інформаційних та технологічних напрямів екологічного удосконалення кожної стадії ЖЦП з можливим застосуванням реінжинірингу (перепроєктування та екологічної модернізації як окремих стадій ЖЦП, так і виробництва в цілому). Ключова роль екологічної інженерії полягає у створенні технологічної системи даних виробничого екологічного моніторингу.

Така цифрова технологічна платформа надає можливості своєчасно здійснити екологічну модернізацію із застосуванням робототехнічних засобів, 3D-технологій (очисних, утилізаційних тощо); створити екологотехнологічний базовий інтерфейс масштабною екологізації виробництва із системним еколого-інноваційним менеджментом. Інтерфейс розглядається як професійний зв'язок між виробничою і природною системами на синергетичних законах гармонійної життєдіяльності, екологічно безпечного співіснування.



### Контрольні питання до розділу 6

1. Охарактеризуйте сучасну екологію, як науку.
2. Що таке екологічна шкода?
3. Що таке екологічна аварія?
4. Що таке екологічна небезпека?
5. Що таке екологічне обмеження?
6. Як ви розумієте інноваційну сутність інженерної екологізації як системної складової інноваційного процесу сталого розвитку.
7. Назвіть базові знання в галузі проектування інноваційних процесів; володіння методами інженерного проектування процесів (структурними, аналітичними, комп'ютерними тощо).
8. Охарактеризуйте здатність до генерації інноваційних ідей на основі міждисциплінарної інтеграції екологічних знань та інженерних навичок проектування процесів екологізації різних об'єктів.
9. Охарактеризуйте здатність застосовувати знання й уміння в галузі комп'ютерних технологій для вирішення завдань інженерної екологізації.
10. Охарактеризуйте готовність здійснювати пошук та втілювати інженерно-інноваційні рішення й адаптувати їх до умов конкретної проектної ситуації.
11. Охарактеризуйте методологію концептуального моделювання інженерної екологізації виробничих систем.
12. Назвіть основи екологічної інженерії четвертої промислової революції.

## РОЗДІЛ 7

### ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЯК ІННОВАЦІЙНИЙ ПРОЦЕС СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

#### *7.1 Синергетична модель екологічно чистого підприємства*

Результатом системної інженерної екологізації виробництва має стати екологічно чисте підприємство (ЕЧП) з високим рівнем конкурентоспроможності та стратегією передбачуваності системних перетворень (технологічних, організаційних, інноваційних тощо) із синергетичним ефектом сталості інноваційного розвитку та екологічної чистоти продукції [160].

До переходу українських підприємств на ЕЧВ як фундаментальну інноваційну основу «зеленої» економіки зобов'язує Угода про асоціацію між Україною та ЄС, «зелений», екологізований європейський ринок продукції та вимоги Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» щодо «підготовки державних цільових програм з екологізації галузей національної економіки».

Базовими складовими синергетичної моделі ЕЧП є системний еколого-інноваційний менеджмент та екологічна інженерія виробництва, які формують інноваційну політику, стратегію ЕЧП.

Підготовчий етап складається з проведення комплексного аудиту підприємства, під час якого виконується технологічний аналіз процесів продукційної системи (технологічний екоаудит). Упровадження систематичного комплексного екологічного аудиту на підприємстві здатне значно підвищити еколого-економічну ефективність інженерно-технічної і виробничої діяльності, вивести підприємство на інноваційний рівень розвитку з високим рівнем конкурентоспроможності. Екологічний аудит на підприємстві – це комплексний процес дослідження всіх аспектів виробничої діяльності для визначення не тільки характеристик прямого і побічного впливів на стан навколишнього природного середовища (екологічні аспекти), але і для оптимізації використання природних ресурсів, зниження і упорядкування енергоспоживання, зменшення відходів (економічні аспекти), а також запобігання аварійним скидам, викидам і техногенним катастрофам (аспекти техногенної безпеки) [160].

Комплексний екологічний аудит підприємства складається з таких видів аудиту: аудиту процесів (технологічний), аудиту мінімізації відходів, фінансового екологічного аудиту, аудиту на відповідність і аудиту місцевості (виробничої ділянки і прилеглої території).

Головна мета технологічного аудиту полягає у виявленні всіх технологічних джерел утворення відходів і забруднення та оцінювання масштабів і рівнів їх впливу на навколишнє природне середовище, розробленні рекомендацій щодо запобігання забрудненню і мінімізації обсягів відходів, ранжуванні їх за пріоритетами.

Головна мета екоаудиту на відповідність полягає в оцінюванні відповідності всіх аспектів виробничої діяльності підприємства, його системи екологічного менеджменту, внутрішніх функціональних регламентів і стандартів вимогам національного екологічного законодавства і державним стандартам, міжнародним зобов'язанням, а також надання рекомендацій щодо запобігання виникненню екологічної відповідальності у разі виникнення невідповідностей.

Фінансовий екологічний аудит підприємства здійснюється з метою вдосконалення системи екологічного обліку і звітності, підвищення еколого-економічної ефективності діяльності шляхом аудиту документів і розрахунків плати за використання природних ресурсів, забруднення навколишнього природного середовища, розміщення відходів, фінансової природоохоронної звітності.

Екологічний аудит місцевості підприємства проводиться з метою оцінювання стану санітарної зони, підприємства, внутрішніх виробничих і господарських каналізаційних мереж, санітарного стану промислової ділянки та стану безпеки виробничих ємкостей, складів, сховищ.

Екоаудит може бути проведений як у складі комплексу заходів щодо посилення конкурентоспроможності підприємства, так і самостійно. Проте в будь-якому випадку його висновки й рекомендації мають конфіденційний характер, що вже само по собі свідчить про захист інтересів товаровиробника [150].

*Вигоди від екологічного аудиту.* Не всі керівники підприємств розуміють вигоди від систематичного проведення екоаудиту. Це створює психологічні бар'єри на шляху запровадження екоаудиту. Для керівників підприємств здійснення або входження в систему екоменеджменту й екоаудиту, запровадження стандартів екоменеджменту та екоаудиту є вигідним вкладенням капіталу, оскільки це сприяє [160]:

- зменшенню витрат на видалення відходів через зменшення обсягу їх утворення;
- зменшенню витрат на сировину та енергію більш ефективним її використанням;

- зменшенню витрат на виробництво завдяки використанню кращих технологій та підвищенню ефективності технологічного процесу;
- поліпшенню інформації, на якій ґрунтуються рішення про вибір технології, що дасть змогу вигідніше витратити гроші;
- зменшенню витрат на воду та енергію завдяки більш економному та раціональному їх використанню;
- підвищенню рівня культури виробництва, оскільки робітники краще працюють там, де відчувають відповідальність керівництва і турботу про благо людей та природи;
- розширенню ринків збуту товарів серед «екологічно свідомих» покупців;
- поліпшенню репутації підприємства, особливо коли воно має «зелену позначку».

### ***7.2 Практичні рекомендації щодо створення інтегрованої системи екологічного менеджменту та екологічної інженерії на прикладі підприємств переробного виробництва***

Інноваційну проєкtnу пропозицію підготовлено на підставі рекомендацій комплексного екологічного аудиту та технологічного аналізу продукційної системи підприємства. Результати, які мають бути отримані у процесі виконання інноваційного проєкту, дозволять створити на підприємстві ефективну систему екологічного менеджменту чистого переробного виробництва, яка відповідатиме вимогам державних стандартів серії ДСТУ ISO 14000 і Європейському регламенту з екологічного управління і аудиту 1836/93 та поширити її на галузевих переробних підприємствах [160].

**Головна мета:** створити системні умови щодо підвищення екологічної чистоти, еколого-економічної ефективності та конкурентоспроможності переробного виробництва шляхом створення інтегрованої системи екологічного менеджменту та екологічної інженерії чистого підприємства і впровадження інженерно-технологічних заходів на підставі рекомендацій комплексного екологічного аудиту та технологічного аналізу ЖЦП.

#### ***Очікувані результати***

Створення ефективної СЕМП дозволить підприємству отримати такі вигоди [160]:

- підвищення конкурентоспроможності через надання споживачам гарантій щодо екологічної чистоти виробництва, продукції,

які забезпечуються функціонуванням системи екологічного управління та інженерії відповідно до стандартів ISO 14000 та ДСТУ ISO 14000-97;

- підтримання надійних державних, корпоративних, громадських зв'язків, які забезпечуються відповідністю і узгодженістю екологічних політик держави, корпорації, громадськості та підприємства;

- задоволення критеріїв інвестора і розширення доступу до капіталів завдяки прозорості екологічних ризиків, екологічної чистоти виробництва, продукції;

- укладання страхових договорів на підставі розумної ціни, аргументованої висновками екологічного аудиту;

- покращення репутації, підвищення

конкурентноспроможності продукції, послуг і розширення ринку збуту та споживання;

- додержання сертифікаційних критеріїв постачальників;

- покращення контролю за витратами;

- сприяння екологічному оздоровленню прилеглої території;

- скорочення випадків, що призводять до виникнення відповідальності за екологічні інциденти;

- демонстрація розумної обережності;

- збереження та ефективне використання матеріалів і енергії,

запобігання марнотратству;

- сприяння отриманню дозволів і повноважень.

Проект інноваційної екологічної політики – це зведені системні зобов'язання підприємства щодо інноваційної моделі охорони і відтворення навколишнього середовища, забезпечення екологічної безпеки споживачів продукції і населення, для виконання яких екологічна політика передбачає:

- призначення підприємства, його екосоціальні цінності та інноваційна місія;

- ставлення керівника до охорони навколишнього середовища, ресурсозбереження та екологічної безпеки;

- загальні інноваційні та екологічні цілі підприємства;

- упровадження вимог зацікавлених сторін (наприклад, громадських місцевих) і встановлення з ними зв'язків;

- прихильність керівництва до принципів запобігання забрудненню природного середовища, сталого розвитку;

- мінімізація шкідливих екологічних впливів продукції, послуг і процесів виробництва (підвищення екологічної чистоти);

- інноваційна прихильність до постійних удосконалень;

- зобов'язання щодо додержання екологічних стандартів, законів, регламентів;
- зобов'язання щодо проведення екологічних аудитів і оцінювання ЖЦП;
- зобов'язання щодо оцінювання ефективності інженерно-екологічної діяльності;
- зобов'язання щодо взаємодії з місцевою і регіональною владою, урахування місцевих умов;
- зобов'язання щодо забезпечення безпечних для здоров'я робітників умов праці;
- зобов'язання щодо систематичного навчання персоналу і партнерів;
- програмні зобов'язання у галузі енергозбереження, утилізації відходів, землекористування, економії водних ресурсів тощо;
- заохочення сталого розвитку та участі у рішеннях, що стосуються охорони навколишнього середовища;
- підтримання високого рівня екологічної компетентності, свідомості персоналу,
- послаблення жорстких заходів екологічного та санітарно-епідеміологічного, громадського контролю, включаючи економію витрат на штрафні санкції.

### ***7.3 Базові інноваційні стратегії сталого розвитку екологічно чистого підприємства***

Стратегії ЕЧП ґрунтуються на принципах та базових стратегіях сталого розвитку бізнесу. До них можуть належати стратегії обмеженості, ресурсозбереження еко-інноваційності, стратегії переходу до чистого виробництва, каскадної циркулярності, кластерного кооперування і ряд інших.

Базисні стратегії, що впливають із принципів сталого розвитку [160]:

- стратегія обмеженості – добровільне обмеження споживання невідновлювальних ресурсів і відповідна зміна сировинної парадигми на інтелектуальну та інноваційну (стратегія «зеленої» економіки);
- стратегія чистого виробництва, що забезпечує мінімізацію негативного впливу на навколишнє природне середовище окремого підприємства шляхом інноваційної зміни технології (чисте виробництво), номенклатури продукції, що випускається, застосовуваної сировини і т. ін.;

– стратегія екоінноваційності – істотне збільшення використання відновлювальних ресурсів і екоінноваційності всіх технологічних процесів;

– каскадна стратегія циркулярності – мінімізація відходів і скорочення навантаження на природу за допомогою формування між підприємствами своєрідних індустріальних постачальницьких ланцюгів, що реалізують кругообіг потоків сировини і відходів у відповідності з асимілювальним потенціалом екосистем;

– кластерна стратегія кооперування – спільне скорочення негативного впливу на стан територіального природного середовища галузевої групи підприємств, що кооперуються між собою щодо спільного вирішення екологічних проблем відповідно до принципу ЖЦП.

Концептуально їх поєднує європейська стратегія екоінновацій сталого розвитку. Саме інновації сталого розвитку (як і стратегії, що відповідають їм) створюють ефект, потенціал збурювального фактора для вирішення екологічних проблем.

Серед інноваційних стратегій сталого розвитку особливої уваги заслуговують кластерні моделі, що відповідають стратегіям циркулярності і кооперування. Вони дозволяють для вирішення екологічних проблем вийти за межі можливостей і ресурсів окремих підприємств, використовуючи переваги кооперації, включаючи регіональну і міжгалузеву. Стратегії циркулярності і кооперування орієнтовані на узгоджене і гнучке рішення екологічних проблем галузевою групою підприємств (ланцюг об'єднаних на регіональній основі) підприємств. Цим демонструється можливість розроблення і реалізації узгодженої екологічної стратегії для декількох відособлених економічно й організаційно компаній з формуванням на їх базі екологічно орієнтованої індустріальної кластерної мережі. Зрозуміло, що таким інноваційним організаційним рішенням повинні відповідати і виробничо-технологічні інновації.

Спосіб реалізації цих стратегій пов'язаний, у свою чергу, з орієнтацією виробничих стратегій підприємств на принципи [150]:

– ресурсозбереження – значне скорочення споживання вхідних ресурсів на основі впровадження циркулярності у виробничих процесах;

– енергозбереження – скорочення енергоємності виробництва і продукції та застосування екологічно чистих видів енергетичних ресурсів і палива;

– регіоналізації – використання місцевих ресурсів, місцевих потенціалів регіонів, створення регіональних синергетичних систем

виробництва, споживання й оброблення відходів, їх вторинного використання;

– адаптації – узгодження темпів економічного розвитку з темпами і ритмами еволюції екологічних систем;

– обережності – запобігання забрудненню природного середовища;

– мінімізації відходів.

Під час розроблення виробничої екологічної стратегії вихідною для встановлення її пріоритетів є спрямованість зусиль підприємства в чотирьох напрямках – продукт, виробництво, персонал і комунікація. У центрі виробничого аналізу скорочення навантаження на навколишнє середовище через зменшення емісій шкідливих речовин, економії ресурсів тощо. Увага концентрується на зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище безпосередньо продукту протягом усього його життєвого циклу. Поводження і мотивація персоналу як носіїв інноваційно-екологічних дій є предметом стратегії комунікацій, за допомогою яких можливі встановлення зворотного зв'язку й організація конструктивних діалогів із проблем і дій у сфері навколишнього середовища як усередині підприємства, так і поза ним.

Екологічні стратегії також поділяють на стратегії Pull і Push. Екологічний Pull виникає унаслідок вимог, що підсилюються, з боку споживчого попиту і ринку (покупці, конкуренти, партнери). Екологічний Push ініціюється законодавством і вимогами інтерналізації екологічних витрат фірми, для чого необхідні екологічні і технічні інновації [160].

Здатність фірми вчасно реєструвати й аналізувати впливи цих факторів у своїй екологічній стратегії визначає її середньо- і довгострокову конкурентоспроможність на ринку.

### **Контрольні питання до розділу 7**

1. Назвіть основи когерентності «зеленої» економіки, енергетики та екологічно чистого виробництва та екологічно чистого підприємства.
2. Назвіть системні складові синергетичної моделі екологічно чистого підприємства для формування синергетичної моделі екологічно чистого підприємства як самоорганізаційного процесу взаємодії системних складових.
3. Охарактеризуйте методологію комплексного виробничого аудиту для здійснення технічної експертизи у складі екоаудиторської групи.



4. Охарактеризуйте інноваційну роль та функції екологічної інженерії в інтегрованій системі екологічного менеджменту чистого підприємства.
5. Назвіть послідовності створення інтегрованої системи екологічного менеджменту в сукупності з екологічним інжинірингом.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ  
ДЛЯ КОРИСТУВАННЯ ЛІТЕРАТУРИ**

1. European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities: «European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future», European Communities, 2006.
2. «Grids 2030». A National Vision for Electricity's Second 100 years. Office of Electric Transmission and Distribution of USA Department of Energy, 2003.
3. The National Energy Technology Laboratory: «A vision for the Modern Grid», March 2007.
4. Smart Power Grids – Talking about a Revolution. IEEE Emerging Technology Portal, 2009.
5. Electric Power Research Institute, website: <http://epri.com>.
6. West Virginia Smart Grid Implementation Plan. – 20 august 2009, website: [http:// netl.doe.gov](http://netl.doe.gov).
7. Gabriel M. A. Visions for a sustainable energy future. – Lilburn, GA: Fairmont Press, 2008. P. 211.
8. Electric Power Research Institute, Electricity Sector Framework for the Future Volume I: Achieving the 21st Century Transformation/ Washington, DC: Electric Power Research Institute, 2003.
9. Galvin Electricity Initiative. Fact Sheet: The Electric Power System is Unreliable. 2008, website: <http://galvinpower.org>.
10. National Renewable Energy Laboratory, Projected Benefits of Federal Energy Efficiency and Renewable Energy Programs – FY 2008 Budget Request, 2007.
11. Jim Detmers. CAISO Operational Needs from Demand Response Resources/California Independent System Operator, November 2006, website: <http://caiso.com>.
12. Xcel Energy Smart Grid: A White Paper/Minneapolis, MN: Xcel Energy, 2008, website: <http://birdcam.xcelenergy.com>.
13. Update of the Profiting and Mapping of Intelligent Grid R&D Programs/Electric power research institute, technical report. June 2008.
14. European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities, website: <http://europa.eu.int>.
15. Ralph Masiello, Hugo van Nispen, Robert Wilhite, Will McNamara. The utility of the future/EnergyBiz. – September-October 2008, website: <http://energycentral.com>.
16. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Smart Grid за рубежом как концепция

- инновационного развития электроэнергетики // Энергоэксперт. 2010. № 2. С. 24-30.
17. European Technology Platform SmartGrids. Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future. April, 2010.
  18. Ioanna X. An Intelligent Algorithm for Smart Grid Protection Applications. pp. 47
  19. The Smart Grid: an Introduction. Prepared for the US Department of Energy by Litos Strategic Communication under Contract No DE-Ac26-04NT41817, 2010., pp. 58.
  20. Abdulmalik H., Jingqiang L., Fengjun L., Bo L.. Cyber-Physical Systems Security – A Survey. IEEE Internet of Things Journal Volume: 4, 2017, pp 1802 – 1831.
  21. Lee, Michael, et al. «Assessment of demand response and advanced metering.» Federal Energy Regulatory Commission, Tech. Rep, 2013.
  22. Васильева Т. В. «Интернет вещей» – стратегическое направление инновационных преобразований в экономике, журнал «Вопросы современной науки и практики». Университет им. В.И. Вернадского, номер: 2 (46) 2013 – 187-193 с.
  23. Smart Grid Market – Global Industry Analysis and Forecast (2017-2026) // [электронный ресурс] <https://www.maximizemarketresearch.com/>
  24. Liebreich, Michael. «Bloomberg new energy finance summit.» London: Bloomberg New Energy Finance (2013).
  25. Bustamante, Fabián, et al. «A methodological proposal concerning to the management of information security in Industrial Control Systems.» 2016 IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM). IEEE, 2016.
  26. USA Today: за последние 4 года на Минэнерго США было совершено 159 успешных кибератак. [электронный ресурс] SecurityLab.ru by Positive Technologies, 14 Сентября 2015г.
  27. Analysis of the Cyber Attack on the Ukrainian Power Grid: March 2016, SANS (ICS) & E-ISAC., pages 11–19
  28. Bill M., Dale R. A survey scada of and critical infrastructure incidents. In Proceedings of the 1st Annual conference on Research in information technology, pages 51–56. ACM, 2012.
  29. Ruben S. Here be backdoors: A journey into the secrets of industrial firmware. [Электронный ресурс] URL: [https://media.blackhat.com/bh-us-12/Briefings/Santamarta/BH\\_US\\_12\\_Santamarta\\_Backdoors\\_WP.pdf](https://media.blackhat.com/bh-us-12/Briefings/Santamarta/BH_US_12_Santamarta_Backdoors_WP.pdf)
  30. Костров Д.В. Журнал Information Security/Информационная безопасность №3, 2014 45-47с.
  31. Мелких А.А., Микова С.Ю., Оладько В.С. Исследование проблемы информационной безопасности АСКУЭ. Журнал Universum:

- технические науки, номер 6(27) 457 с.
32. Siaterlis, C., & Maglaris, B. (2004, March). Towards multisensor data fusion for DoS detection. In Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing (pp. 439-446). ACM.
  33. Kurt, Mehmet Necip, Yasin Yilmaz, and Xiaodong Wang. «Real-time detection of hybrid and stealthy cyber-attacks in smart grid.» IEEE Transactions on Information Forensics and Security 14.2 (2018): 498-513.
  34. Anwar, Adnan, Abdun Naser Mahmood, and Mark Pickering. «Modeling and performance evaluation of stealthy false data injection attacks on smart grid in the presence of corrupted measurements.» Journal of Computer and System Sciences 83.1 (2017): 58-72.
  35. Yao L., Reiter M. K., and Ning P. False data injection attacks against state estimation in electric power grids. In CCS'09: Proceedings of the 16th ACM conference on Computer and communications security. New York, NY, USA: ACM, 2009, pp. 21–32.
  36. Chen P., Yang S., McCann J.A., Lin J., Yang X. Detection of false data injection attacks in smart-grid systems. IEEE Communications Magazine, 53, 2015, 206-213.
  37. Ting L., Yanan S., Yang L., Yuhong G., Yucheng Z., Dai W. and Chao S. Abnormal traffic-indexed state estimation: A Cyber-physical fusion approach for Smart Grid attack detection. Future Generation Computer Systems, 2015, 94 – 103.
  38. Sridhar, Siddharth, Adam Hahn, and Manimaran Govindarasu. «Cyber-physical system security for the electric power grid.» Proceedings of the IEEE 100.1 (2011): 210-224.
  39. Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. ACM computing surveys (CSUR), 41(3), 15.
  40. Rawat, Danda B., and Chandra Bajracharya. «Detection of false data injection attacks in smart grid communication systems.» IEEE Signal Processing Letters 22.10 (2015): 1652-1656.
  41. Нестеренко О.В., Ковтунець О.В., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи і технології. Ввідний курс: Навч. посібник. – К.: Національна академія управління, 2017. – 90 с. ISBN 978-617-7386-13-0
  42. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 02.12.2020. № 1556-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text>
  43. Artificial Intelligence for Europe. EC. Brussels, 25.4.2018 COM/2018/237 final / EUR-Lex : An official website of the European Union URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal>

- content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A237%3AFIN
44. Recommendation of the Council on Artificial Intelligence. OECD/LEGAL/0449. Adopted on: 22/05/2019 / OECD. URL: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>
  45. OECD Framework for the Classification of AI Systems. OECD Digital Economy Papers. February 2022. № 323. P. 80;
  46. Freire Ana, Porcaro Lorenzo, Gómez Emilia. Measuring Diversity of Artificial Intelligence Conferences. Proceedings of 2nd Workshop on Diversity in Artificial Intelligence (AIDBEI), PMLR 142:39-50, 2021. URL: <https://proceedings.mlr.press/v142/freire21a.html>; The Seven Patterns of AI. Cognilytica. 2019. URL: <https://www.cognilytica.com/2019/04/04/the-seven-patterns-of-ai/>
  47. Endsley, M. R. (1987). Endsley M. R. The Application of Human Factors to the Development of Expert Systems for Advanced Cockpits. Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting, 31(12), 1388–1392. 1987. URL: <https://doi.org/10.1177/154193128703101219>
  48. Ю.І.Якименко, В.В. Прокопенко, С.П. Денисюк, О.М.Закладний Smart системи як одна із основних складових сталого розвитку енергетики / Енергетика: економіка, технології, екологія №1 с. 4-13
  49. Innovation landscape for a renewable-powered future: solutions to integrate variable renewables. IRENA. 2019. p. 164. URL: [https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA\\_Innovation\\_Landscape\\_2019\\_report.pdf](https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Landscape_2019_report.pdf)
  50. С.П. Денисюк, Р. Стшелецькі Формування складових інтелектуальної платформи керування енергетичними системами та мережами//Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019. № 3 с.7-22.
  - (1. Bazjuk T., Blinov I., Butkevich O., Denysiuk S. et al. Intelligent Power Networks: Elements and Modes / By ed. acad. NAS of Ukraine O. Kyrylenko. K.: IED of NAS of Ukraine, 2016. 400 p.
  51. Denysiuk S. Energy transition – requirements for quality changes in energy sector development // Power engineering: economics, technique, ecology. 2019. № 1. p. 7-28.
  52. Denysiuk S. Technological guidelines for the implementation of the Smart Grid concept in power systems // Power engineering: economics, technique, ecology. 2014. № 1(35). p. 7-21.
  53. Denysiuk S., Sokolovskyi P. Analysis of the variable generation function on the step of transition to intellectual networks Smart Grid // Electrification of transport. – 2018. – № 15. p. 31-42.
  54. Denysiuk S., Tarhonskyi V., Artemiev M. Local electrical energy systems with active consumer: methods of construction and algorithm of their

- functioning // Power engineering: economics, technique, ecology. 2018. № 3. p. 7-22.
55. Intelligent electric power systems: elements and modes // Kyrylenko O., Blinov I., Denysiuk S. et al. / Ed. A. Kyrylenko. K.: IED NAS of Ukraine, 2014. 408 p.
  56. Kyrylenko O., Denysiuk S. Current tendencies of construction and control of modes of electric power networks // Energy saving. Energy. Energy audit. 2014 No. 9 (Volume 2).p. 82-94.
  57. Martynova A. Electricity 4.0: switch to digital // [phttp://atomicexpert.com/electricenergy4.0](http://atomicexpert.com/electricenergy4.0).
  58. Oliynyk D. International experience in financing sustainable community development (for example, network infrastructure development): an analyst. report / Oliynyk D. K.: NISD, 2017. 48 p.
  59. Orn M., Sen A. Approximation of control systems. Integration of backbone and distribution network management systems and shutdown processing systems // ABB Review 4/2005. p. 30-32.
  60. ABB solution for distribution circuits. ABB catalog, 2012. 108 p.
  61. SE ADMS is a Schneider Electric solution for managing distribution networks. System Technical Description (Obzor-reshenia-ADMS-ot-shneider-electric-final DMS).
  62. Stogniy B., Kyrylenko O., Denysiuk S. Development of Intelligent Electric Networks of Ukraine Based on the Provisions of the Smart Grid Concept // Coll. «Proceedings of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine. Spec. output". 2013, IED of NASU. p. 5-12.
  63. Tips B., Taft J. Cisco Smart Grid Concept: Substation Automation Solutions for Dispatch Services. Cisco Corporation, 2010. 9 p. ([https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/citizenship/environment/docs/sGrid\\_qa\\_c67\\_532319.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/citizenship/environment/docs/sGrid_qa_c67_532319.pdf))
  64. The digital transition in the electric power industry of Russia // Under the general editorship of V. Knyaginina and D. Chalkin; Moscow, September 2017. 47 c.
  65. ADMS Advanced Distribution Management System Grid Modernization Redefined. Integrated Distribution Planning, eSCADA, DMS & OMS Solution 2017 ETAP / Operation Technology, Inc. B12-ETAPADMS-JAN2017 info@etap.com
  66. Benysek G., Kazmierkowski M.P., Popczyk J., Strzelecki R. Power electronic systems as a crucial part of Smart Grid infrastructure – a survey // Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, Vol. 59, No. 4, 2011. p. 455-473.
  67. Denysiuk S., Strzelecki R., Opryshko V. The smart grid concept implementation by expanding the use of demand side management and

- modern power electronic installations // Энергетика: економіка, технології, екологія. 2016. №4(46). p.7–17.
68. Power Electronics in Smart Electrical Energy Networks // Strzelecki R. und Benysek G. Springer, 2010. 414 p.
69. Siemens Energy Sector. Energy Reference // Edition 7.0 Electricity Management 7.2 Products and Solutions in the Field of Electricity Management (<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:ab5c1a35b3afe58903c604058a2aacb9cce464e6/version:1519821054/peg-part07-ru.pdf>)
70. Flexibility and integration of renewable energy sources [Electronic resource] .- Mode of access to the resource: [https://biz.censor.net.ua/columns/3131737/gnuchkst\\_ta\\_ntegratsya\\_vdno\\_vlyuvanih\\_djerel\\_energ](https://biz.censor.net.ua/columns/3131737/gnuchkst_ta_ntegratsya_vdno_vlyuvanih_djerel_energ)
71. [Electronic resource] .- Mode of access to the resource: [https://docs.oracle.com/cd/E76909\\_03/PDF/NMS\\_V2\\_3\\_0\\_2\\_Configuration\\_Guide.pdf](https://docs.oracle.com/cd/E76909_03/PDF/NMS_V2_3_0_2_Configuration_Guide.pdf)
72. Transmission & Distribution World – New Article by Chuck Newton. Grid Modernization from an Energy Policy Perspective in 2019[Electronic resource] .- Mode of access to the resource: <https://newton-evans.com>
73. Flexibility and integration of renewable energy sources [Electronic resource] .- Mode of access to the resource: <https://lawmsb.com.ua/hnuchkist-ta-intehratsiia-vidnovliuvanykh-dzherel-enerhii>
74. Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні: монографія / І. А. Вакуленко, С. І. Колосок, О. В. Кубатко та ін.; за ред. С. І. Колосок. Суми : Сумський державний університет, 2019. 109 с.
75. (13. EcoGrid EU – a prototype for European smart grids. Deliverable D6.7. Overall evaluation and conclusion. 2016. URL: [http://www.eu-ecogrid.net/images/Documents/D6.7\\_160121\\_Final.pdf](http://www.eu-ecogrid.net/images/Documents/D6.7_160121_Final.pdf) (дата звернення 28.02.2019).
76. Egerer J., Lorenz C., Gerbaulet C. European electricity grid infrastructure expansion in a 2050 context. 2013 10th International Conference on the European Energy Market (EEM). Stockholm, 2013. P. 1-7. DOI:10.1109/EEM.2013.6607408.
77. Electricity generation. OECD data. 2019. URL: <https://data.oecd.org/energy/electricity-generation.htm> (дата звернення 28.02.2019).
78. Energy consumption in 2016 / Eurostat. 2018. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/8643581/8-05022018->

- BP-EN.pdf/1338cf55-5c91-4179-абса-808675e40bbd (дата звернення 28.02.2019).
79. Energy consumption in 2017 / Eurostat. 2019. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9549144/8-07022019-AP-EN.pdf/4a5fe0b1-c20f-46f0-8184-e82b694ad492> (дата звернення 28.02.2019).
80. Energy efficiency in Europe. The levers to deliver the potential. 2016. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/energy-efficiency-in-europe.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
81. Energy infrastructure. Priorities for 2020 and beyond – a blueprint for an integrated European energy network / Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2011. P. 41. URL: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/MJ3010705ENC.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
82. Energy smart miami – A possible model for smart grid and DG. 2009. URL: <https://ilsr.org/energy-smart-miami-possible-model-smart-grid-and-dg/> (дата звернення 28.02.2019).
83. Energy transition toolkit. User guide. 2018. URL: <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World-Energy-Council-Energy-Transition-Toolkit-User-Guide.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
84. ETP Smart grids. ETP documents SmartGrids. 2015. URL: <http://www.smartgrids.eu/> (дата звернення 28.02.2019).
85. European electricity grid initiative. URL: <https://www.edsoforsmartgrids.eu/policy/eu-steering-initiatives/eegi/> (дата звернення 28.02.2019).
86. Биконя О. Шляхи впровадження Smart Grid в країнах світу // Економічний вісник Донбасу. 2012. № 1 (27). С. 217 – 222.
87. EcoGrid EU – a prototype for European smart grids. Deliverable D6.7. Overall evaluation and conclusion. 2016. URL: [http://www.eu-ecogrid.net/images/Documents/D6.7\\_160121\\_Final.pdf](http://www.eu-ecogrid.net/images/Documents/D6.7_160121_Final.pdf) (дата звернення 28.02.2019).
88. Egerer J., Lorenz C., Gerbaulet C. European electricity grid infrastructure expansion in a 2050 context. 2013 10th International Conference on the European Energy Market (EEM). Stockholm, 2013. P. 1-7. DOI:10.1109/EEM.2013.6607408.
89. Electricity generation. OECD data. 2019. URL: <https://data.oecd.org/energy/electricity-generation.htm> (дата звернення 28.02.2019).



90. Energy consumption in 2016 / Eurostat. 2018. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/8643581/8-05022018-BP-EN.pdf/1338cf55-5c91-4179-a6ca-808675e40bbd> (дата звернення 28.02.2019).
91. Energy consumption in 2017 / Eurostat. 2019. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9549144/8-07022019-AP-EN.pdf/4a5fe0b1-c20f-46f0-8184-e82b694ad492> (дата звернення 28.02.2019).
92. Energy efficiency in Europe. The levers to deliver the potential. 2016. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/energy-efficiency-in-europe.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
93. Energy infrastructure. Priorities for 2020 and beyond – a blueprint for an integrated European energy network / Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2011. P. 41. URL: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/MJ3010705ENC.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
94. Energy smart miami – A possible model for smart grid and DG. 2009. URL: <https://ilsr.org/energy-smart-miami-possible-model-smart-grid-and-dg/> (дата звернення 28.02.2019).
95. Energy transition toolkit. User guide. 2018. URL: <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World-Energy-Council-Energy-Transition-Toolkit-User-Guide.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
96. ETP Smart grids. ETP documents SmartGrids. 2015. URL: <http://www.smartgrids.eu/> (дата звернення 28.02.2019).
97. European electricity grid initiative. URL: <https://www.edsoforsmartgrids.eu/policy/eu-steering-initiatives/eegi/> (дата звернення 28.02.2019).
98. Биконя О. Шляхи впровадження Smart Grid в країнах світу // Економічний вісник Донбасу. 2012. № 1 (27). С. 217-222.
99. Бурячок Т. О. та ін. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі. 2013. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5> (дата звернення 28.02.2019).
100. Прудка Н. Євроінтеграційний реванш: енергосистема України інтегрується в загальноєвропейську ENTSO-E? 2017. URL: <https://glavcom.ua/publications/jevrintegracijniy-revansh-energositema-ukrajini-integrujetsya-v-zagalnojevropeysku-entso-e-424525.html> (дата звернення 28.02.2019).

101. Energy efficiency in Europe. The levers to deliver the potential. 2016. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/energy-efficiency-in-europe.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
102. Energy infrastructure. Priorities for 2020 and beyond – a blueprint for an integrated European energy network / Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2011. P. 41. URL: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/MJ3010705ENC.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
103. Energy smart miami – A possible model for smart grid and DG. 2009. URL: <https://ilsr.org/energy-smart-miami-possible-model-smart-grid-and-dg/> (дата звернення 28.02.2019).
104. Energy transition toolkit. User guide. 2018. URL: <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World-Energy-Council-Energy-Transition-Toolkit-User-Guide.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
105. ETP Smart grids. ETP documents SmartGrids. 2015. URL: <http://www.smartgrids.eu/> (дата звернення 28.02.2019).
106. European electricity grid initiative. URL: <https://www.edsoforsmartgrids.eu/policy/eu-steering-initiatives/eegi/> (дата звернення 28.02.2019).
107. Биконя О. Шляхи впровадження Smart Grid в країнах світу // Економічний вісник Донбасу. 2012. № 1 (27). С. 217-222.
108. Бурячок Т. О. та ін. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі. 2013. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5> (дата звернення 28.02.2019).
109. Прудка Н. Євроінтеграційний реванш: енергосистема України інтегрується в загальноєвропейську ENTSO-E? 2017. URL: <https://glavcom.ua/publications/jevrontegracijnyy-revansh-energositema-ukrajini-integrujetsya-v-zagalnojevropeysku-entso-e-424525.html> (дата звернення 28.02.2019).
110. Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid [Електронний ресурс] – <http://www.rmi.org/Content/Files/EstimatingCostsSmartGRid.pdf>.
111. IEC / TS 62351-1: Power systems management and associated information exchange – Data and communications security – Part 1: Communication network and system security Introduction to security issues.
112. NIST SP 800-115: Technical Guide to Information Security Testing and

- Assessment.
113. В.В. Ткаченко ОЦІНКА КІБЕРБЕЗПЕКИ SMART GRID СИСТЕМ  
<http://doi.org/10.5281/zenodo.3860750>
  114. Гончар С.Ф. Метод оцінювання ризиків кібербезпеки інформаційних систем smart grid. DOI  
<https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-1/15>
  115. Стежко С.М., Фица В.М. Кібербезпека як важливий фактор забезпечення життєдіяльності вітчизняної енергетичної галузі/ІНФОРМАЦІЯ І ПРАВО. № 4(39)/2021. С. 113-120.
  116. Digitalising our energy system for net zero. Strategy and Action Plan 2021.  
 URL:[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/1004011/energy-digitalisation-strategy.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1004011/energy-digitalisation-strategy.pdf)
  117. Демедюк С. Кібербезпека сьогодні – життєво важливий фактор існування енергетичної галузі. URL:  
<https://www.rnbo.gov.ua/ua/Diialnist/5024.html>
  118. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 травня 2021 року
  119. “Про Стратегію кібербезпеки України”: Указ Президента України від 26.08.21 р. № 447/2021. URL:  
<https://www.president.gov.ua/documents/4472021-40013> )
  120. Попадченко С. А., Тоберт М. Ю. аналіз існуючих методів і технічних засобів організації моніторингу електричної мережі/Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка С.29-33
  121. Бабин А. И. Автоматизированные системы мониторинга электропотребления и расчеты режимов электрических систем. Успехи современного естествознания. 2008. № 1. С. 54-57; URL:  
<http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=9224>
  122. Васюченко П. В. Повышение надежности работы электрооборудования путем применения методов диагностики. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ • ЭНЕРГЕТИКА • ЭНЕРГОАУДИТ. 2014. №5 (123) С. 27-34.
  123. Гришин Д. С. Особенности внедрения интеллектуальных энергосетей Smart Grid / Гришин Д. С., Пашенко Д. В., Синев М. П., Трокоз Д. А., Яровая, М. В. Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2017. № 1 (21). С. 109-116.
  124. Кириленко А. В. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы / под общ. ред. акад. НАН Украины

- Кириленко А. В. Киев : Ін-т електродинамики НАН України, 2014. 408 с.
125. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Smart Grid. Концептуальные положения. Энергорынок. 2010. №3. С. 66-72.
126. Кундас С. П., Шенк Ю., Вайцехович Н. Н. Гибридные технологии в использовании возобновляемых источников энергии. Энергоэффективность. 2012. № 2. С. 19-23.
127. Використання технологій smart grid для підвищення ефективності електропостачання споживачів/Мороз О.М., Черемісін М. М., Попадченко С. А., Савченко О. А., Дюбоко С. В. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2017. № 3 (49) С. 45-50.
128. 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 звертання: 17.09.2019).
129. Попадченко С. А. Аналіз світових тенденцій модернізації електричних підстанцій на сучасному етапі розвитку. Енергетика та електрифікація. 2016. № 9. С. 46-49.
130. Ратнер С. В. Управление качеством энергоснабжения в энергосистемах со смешанным типом генерации: организационно-экономические аспекты. Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2016. №19 (301). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-kachestvom-energospabzheniya-v-energospistemah-so-smeshannym-tipom-generatsii-organizatsionno-ekonomicheskie-aspekty> (дата обращения: 16.08.2017).
131. ZANHRAN MOHAMED Smart Grid Technology, Vision, Management and Control <https://pdfs.semanticscholar.org/fdaa/55679374a78b8ff6d94c5d4dfd31edd5bc3c.pdf>
132. Стасюк, О.І. Методи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування тягових мереж залізниць / О.І. Стасюк, Л.Л. Гончарова, В.Ф. Максимчук, Г.М. Голуб // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: наук.-техн. журнал. Харків: УкрДУЗТ, 2013. № 5. С. 29-36.
133. Юдин, А. Анализ и оценка нормативных документов, применяемых для обеспечения информационной безопасности Smart Grid систем / А. Юдин, Г. Пирогов // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системами захисту інформації в Україні. 2013. №1(25). С. 88-95.
134. Жданович Е.А., Ломан М.С. Коммуникации на подстанции по стандарту МЭК 61850/Актуальные проблемы энергетики. СНТК - 7 4, С. 652-653

135. Бойченко О.В., Дячук В.С. Построение информационной модели цифровой подстанции на основестандарта МЭК 61850/ Международный научно-исследовательский журнал №4(46) С. 39-42.
136. Головин А. Структура стандарта МЭК 61850 / А. Головин, А. Аношин / URL: <http://digitalsubstation.ru/blog/2012/10/18/struktura-standarta-me-k-61850/>
137. Літ. 9. С.П. Денисюк, Р. Стшелецькі Формування складових інтелектуальної платформи керування енергетичними системами та мережами//Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019. № 3 с. 7-22.
138. EcoGrid EU – a prototype for European smart grids. Deliverable D6.7. Overall evaluation and conclusion. 2016. URL: [http://www.eu-ecogrid.net/images/Documents/D6.7\\_160121\\_Final.pdf](http://www.eu-ecogrid.net/images/Documents/D6.7_160121_Final.pdf) (дата звернення 28.02.2019).
139. Egerer J., Lorenz C., Gerbaulet C. European electricity grid infrastructure expansion in a 2050 context. 2013 10th International Conference on the European Energy Market (EEM). Stockholm, 2013. P. 1-7. DOI:10.1109/EEM.2013.6607408.
140. Electricity generation. OCED data. 2019. URL: <https://data.oecd.org/energy/electricity-generation.htm> (дата звернення 28.02.2019).
141. Energy consumption in 2016 / Eurostat. 2018. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/8643581/8-05022018-BP-EN.pdf/1338cf55-5c91-4179-абса-808675e40bbd> (дата звернення 28.02.2019).
142. Energy consumption in 2017 / Eurostat. 2019. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9549144/8-07022019-AP-EN.pdf/4a5fe0b1-c20f-46f0-8184-e82b694ad492> (дата звернення 28.02.2019).
143. Energy efficiency in Europe. The levers to deliver the potential. 2016. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/energy-efficiency-in-europe.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
144. Energy infrastructure. Priorities for 2020 and beyond – a blueprint for an integrated European energy network / Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2011. P. 41. URL: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/publication/MJ3010705ENC.pdf> (дата звернення 28.02.2019).

145. Energy smart miami – A possible model for smart grid and DG. 2009. URL: <https://ilsr.org/energy-smart-miami-possible-model-smart-grid-and-dg/> (дата звернення 28.02.2019).
146. Energy transition toolkit. User guide. 2018. URL: <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World-Energy-Council-Energy-Transition-Toolkit-User-Guide.pdf> (дата звернення 28.02.2019).
147. ETP Smart grids. ETP documents SmartGrids. 2015. URL: <http://www.smartgrids.eu/> (дата звернення 28.02.2019).
148. European electricity grid initiative. URL: <https://www.edsoforsmartgrids.eu/policy/eu-steering-initiatives/eegi/> (дата звернення 28.02.2019).
149. Білявський Г.О., Бутченко Л.І., Навроцький В.М. Основи екології: теорія та практикум, Навчальний посібник. К.: Лібра, 2002. 352 с.
150. Екологічна інформація: доступ та застосування: Посібник / В. Підліснюк (Ред.). К.: КМ Академія, 2002. 80 с.
151. Костицький М.В. Екологія перехідного періоду: держава, право, економіка / 2-ге вид. К.: Укр. Інформаційно-правовий центр, 2003. 390 с.
152. Кучерявий В.П. Екологія. Львів: Світ, 2001. 500 с.
153. Лук'янова Л.Б. Основи екології, методика екологізації фахових дисциплін: Навчально-методичний посібник для викладачів. Вид. 2-ге змінене і доповнене. Київ : ТОВ «ДСК – Центр». 210 с.
154. Інженерна екологія: проблеми, моніторинг, управління. [Електронний ресурс] : Монографія / Д. В. Зеркалов, К. Н. Ткачук, К. К. Ткачук – Електрон. дані. К. : Основа, 2011.
155. Величко О.М., Зеркалов Д.В. Контроль забруднення довкілля: Навчальний посібник. К.: Основа, 2002. 256 с.
156. Величко О.М., Зеркалов Д.В. Екологічний моніторинг: Навчальний посібник. К.: Науковий світ, 2001. 205 с.
157. Величко О.М., Зеркалов Д.В. Екологічне управління: Навчальний посібник. К.: Науковий світ, 2001. 193 с.
158. Гугаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мержівська Л.П. Екологія та автомобільний транспорт: Навч. посібник. К.: Арістей, 2006. 292 с.
159. Зеркалов Д.В. Екологізація енергоспоживання: Монографія. К.: ТОВ Міжнар. фін. агенція, 1998. 271 с.
160. Зеркалов Д.В. Види, джерела та наслідки забруднення навколишнього середовища. У книзі “Техногенно-екологічні проблеми безпеки життєдіяльності”. У 4-х кн. Кн.-4 К.: Науковий світ, 1999. С. 55-72.



**Касаткіна Ірина Віталіївна** 1951 р. народження, у 1973 р. закінчила Криворізький орден Трудового Червоного Прапора гірничорудний інститут, 1973 рік, кандидат технічних наук (1992 р.), доцент (1993 р.).

З 2011 – доцент кафедри Автоматизовані електромеханічні системи в промисловості та транспорті ДВНЗ «Криворізький національний університет». Автор майже 100 науково-методичних праць.



**Бойко Сергій Миколайович** 1987 р. народження. У 2011 р. закінчив Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук (2014 р.).

З 2020 по 2021 р. доцент кафедри Автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті Криворізького національного університету.

З 2022 р. доцент кафедри Транспортні технології Національного університету «Запорізька політехніка»

Автор близько 200 наукових та методичних праць, в т.ч. 25 патентів та авторських свідоцтв, 11 навчальних посібників та 11 монографій.



**Жуков Олексій Анатолійович** 1984 р. народження. У 2006 р. закінчив Вінницький національний технічний університет, кандидат технічних наук (2011 р.).

Доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету.

Автор більш ніж 50 наукових робіт.

**Навчальний посібник**

Касаткіна Ірина Віталіївна  
Бойко Сергій Миколайович  
Жуков Олексій Анатолійович

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ  
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

Subscribe to print 05/03/2023. Format 60×90/16.  
Edition of 300 copies.  
Printed by “iScience” Sp. z o. o.  
Warsaw, Poland  
08-444, str. Grzybowska, 87  
info@sciencecentrum.pl, <https://sciencecentrum.pl>





ISBN 978-83-66216-78-5



9 788366 216785

