

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ**

**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТАРИФІКАЦІЇ В  
РЕГІОНАЛЬНІЙ РОЗУМНІЙ ЕНЕРГОМЕРЕЖІ АПК»**

Виконав: здобувач 6 курсу групи Іт-61

Спеціальності 126 «Інформаційні системи  
та технології»

Мариняк Б. З.

Керівник: Чаплига В.М.

Рецензент:

**ДУБЛЯНИ-2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній ступінь «Магістр» за спеціальністю –  
126 – «Інформаційні системи та технології»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024\_ р.

## **ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу студенту

Мариняка Богдана Зеновійовича

1. Тема роботи: **«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТАРИФІКАЦІЇ В РЕГІОНАЛЬНІЙ РОЗУМНІЙ ЕНЕРГОМЕРЕЖІ АПК».**

Керівник роботи Чаплига Вячеслав Михайлович, д.т.н., професор.

Затверджені наказом по університету від «12» \_\_09\_\_ 2024 р. № 616/кс.

2. Строк подання студентом роботи: 06.12.2024 року.

3. Початкові дані до роботи: Нормативно-правові документи та міжнародні стандарти щодо побудови розумних енергомереж та тарифікації в них, завдання на розробку Автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК.

4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ

Розділ 1 Аналіз особливостей побудови розумних енергомереж в галузях АПК.

Розділ 2 Дослідження методів та технологій моніторингу та тарифікації в розумних мережах галузей АПК

Розділ 3 Розробка Автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК

Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Розділ 5 Розрахунок економічної ефективності Автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК

Висновки та пропозиції

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу – презентація.

6. Консультанти з розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	<i>Чаплига В.М., професор кафедри інформаційних технологій</i>			
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва</i>			

7. Дата видачі завдання «   12   » \_\_\_\_\_   09   \_\_\_\_\_ 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	<i>Написання Вступу, першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	12.09.2024 - 25.09.2024	
2	<i>Виконання другого розділу та формування початкових даних</i>	26.09.2024 - 16.10.2024	
3	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	17.10.2024 - 01.11.2024	
4.	<i>Розроблення та обґрунтування пропозицій щодо реалізації результатів роботи. Розроблення питань з охорони праці. Написання економічної частини (4- 5 розділи роботи).</i>	2.11.2024 – 24.11.2024	
5	<i>Кінцеве оформлення кваліфікаційної роботи та оформлення ілюстративних матеріалів, таблиць, здача роботи на перевірку на плагіат та на рецензування.</i>	25.11.2024 – 01.12.2024	
6	<i>Підготовка до захисту в ЕК (написання доповіді). Пробний захист на кафедрі, виправлення зауважень. Завершення кваліфікаційної роботи в цілому</i>	2.12.2024 – 05.12.2024	
7	<i>Перевірка на плагіат</i>	06.12 2024	

Студент \_\_\_\_\_

Мариняк Б. З.

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Чаплига В. М.

УДК 635.1

## РЕФЕРАТ

Автоматизована система тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК.

Мариняк Б. З. Кафедра ІТ – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Кваліфікаційна робота: 77 с. текст. част., 14 рис., 11 табл., 18 джерел.

Робота присвячена дослідженню технологічних процесів побудови розумних енергомереж та обґрунтуванню інформаційної технології моніторингу та тарифікації енергоспоживання. Об'єкт дослідження: процеси моніторингу та тарифікації в інтегрованих системах електропостачання. Предмет дослідження: моделі та підходи до побудови розумних енергомереж, моніторингу та тарифікації на основі використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій та IoT рішень. Мета дослідження: аналіз побудови розумних енергетичних мереж та розробка втоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК. Досліджено особливості побудови розумних енергомереж в галузях АПК. Наукова новизна роботи полягає в комплексному вивченні та розробці інтегрованої системи моніторингу та тарифікації електроенергії, яка використовує передові технології Інтернету речей та хмарних технологій в розумній енергомережі. Практичне використання результатів можливе у різних галузях АПК.

**Ключові слова:** розумна енергомережа, інфомаціно-комунікаційна технолоґія, інформаційна технолоґія, моніторинг та тарифікація, АПК.

UDC 635.1

### SUMMARY

Automated tariff system in the regional intelligent power grid of agroindustrial complex.

Maryniak B. Z. IT Department - Dublyany, Lviv NUP, 2024.

Qualification work: 77 p. text. part., 14 Fig., 11 tables, 18 sources.

The work is devoted to the study of technological processes for building smart power grids and substantiation of information technology for monitoring and charging energy consumption. Object of research: monitoring and charging processes in integrated power supply systems. Subject of research: models and approaches to building smart power grids, monitoring and charging based on the use of modern information and communication technologies and IoT solutions. Purpose of research: analysis of building smart power grids and development of an automated charging system in the regional smart power grid of the agricultural and industrial complex. The features of building smart power grids in the agricultural and industrial complex sectors are studied. The scientific novelty of the work lies in the comprehensive study and development of an integrated system for monitoring and charging electricity, which uses advanced Internet of Things and cloud technologies in a smart power grid. The practical use of the results is possible in various sectors of the agricultural and industrial complex.

**Keywords:** smart energy network, information-communication and communication, information technology, monitoring and tariffing, AIC.

<b>ЗМІСТ</b>	
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ АПК ТА ТАРИФІКАЦІЇ В НИХ	13
1.1. Аналіз концепції розумних енергомереж в АПК	13
1.2. Аналіз принципів побудови системи обліку та прогнозування споживання електроенергії в регіональній розумній енергомережі АПК	27
1.3. Аналіз процесів вимірювання та моніторингу електроенергії в концепції розумна енергомережа	30
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА РОЗВИТОК РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ ТА ПРОЦЕСІВ ТАРИФІКАЦІЇ	35
2.1. Дослідження впливу інформаційно-комунікаційних технологій на розвиток концепції Smart Grid	35
2.2. Дослідження технології вимірювання та моніторингу в розумних енергомережах	39
2.3. Дослідження методів та засобів контролю споживання електроенергії та тарифікації в розумних енергомережах	45
РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТАРИФІКАЦІЇ В РЕГІОНАЛЬНІЙ РОЗУМНІЙ ЕНЕРГОМЕРЕЖІ АПК	50
3.1. Структурна схема пропонованої системи моніторингу та тарифікації електроенергії	50
3.2. Розробка прототипу розумного лічильника електроенергії на основі IoT рішень	55
3.3. Оцінка системи моніторингу та тарифікації електроенергії для Розумних енергомереж	62

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	67
4.1. Нормативно-правова база з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	67
4.2. Основні фактори, які мають бути враховані при організації охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях для процесів сертифікації медіа контенту	68
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТАРИФІКАЦІЇ В РЕГІОНАЛЬНІЙ РОЗУМНІЙ ЕНЕРГОМЕРЕЖІ АПК	70
5.1. Економічний аналіз Автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК	70
5.2. Розрахунок терміну окупності Автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК	71
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	76



## ВСТУП

**Актуальність.** Після від'єднання від залишків радянської енергосистеми в лютому 2022 року та приєднання до мережі ENTSO-E в березні 2022 року, перехід українських енергетиків на обладнання та протоколи управління, що базуються на міжнародних стандартах, став як ніколи актуальним. Прагнення України під час післявоєнного відновлення модернізувати економіку, декарбонізувати промисловість та збільшити постачання відновлюваної енергії до Європи має на меті прискорити цей процес. Одним з його ключових елементів є розвиток "розумних мереж" (Розумна енергомережа) згідно з Концепцією Кабміну №908-р від 14.10.2022 р.

Під час Конференції з відновлення України в Лондоні компанія ДТЕК, оголосила про плани післявоєнної реконструкції енергетичної інфраструктури в Київській області. Нова мережа буде побудована з використанням сучасних ІКТ технологій, інтегрованих в єдину платформу Розумна енергомережа, здатну протистояти викликам війни та взаємодіяти з відновлюваною генерацією.

В епоху стрімкого технологічного прогресу, енергетичні системи стають ключовим елементом для забезпечення життєдіяльності та розвитку сучасного суспільства. Виклики, пов'язані з ростом населення, індустріалізацією та змінами клімату, вимагають від енергетичних систем не лише надійності та ефективності, але і гнучкості, стійкості до змін та високої ступені інтеграції із сучасними технологіями.

Використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій в енергетичних системах може змінити парадигму їхньої роботи, роблячи їх більш адаптивними до змінних умов та вимог сучасності.

Дослідження спрямоване на аналіз моделей побудови розумних енергомереж в АПК та синтез Автоматизованої системи моніторингу і тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК. Дослідження моделей розумних

енергомереж відкриває можливості для створення енергетичних систем, які відповідають вимогам сталого розвитку, забезпечуючи надійну та доступну електроенергію для всіх.

**Об'єкт дослідження:** процеси моніторингу та тарифікації в інтегрованих системах електропостачання, що використовують сучасні інформаційно-комунікаційні технології для оптимізації управління та функціонування енергетичних мереж АПК.

**Предмет дослідження:** моделі та підходи до побудови розумних енергомереж, моніторингу та тарифікації на основі використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій та IoT рішень.

**Мета дослідження:** дослідження побудови розумних енергетичних мереж та розроблення автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК.

Для досягнення поставленої мети були визначені та вирішені наступні завдання:

- проаналізовані особливості побудови розумних енергомереж в галузях АПК;
- проаналізована модель розумних енергомереж з використанням інформаційно-комунікаційних технологій;
- досліджено методи та сучасні технології моніторингу і тарифікації в розумних мережах галузей АПК;
- здійснено розробку автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК з використанням хмарних технологій та Інтернету речей
- сформульовані заходи з охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях при експлуатації автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК;

- здійснено розрахунок економічної ефективності автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК.

**Методологічною основою кваліфікаційної роботи** є наукові методи: аналізу принципів побудови розумних енергомереж, зокрема, в АПК з використанням інформаційно-комунікаційних технологій; аналізу принципів та моделей моніторингу і тарифікації електроенергії в розумних енергомережах.

**Інформаційною основою** роботи є нормативно-правові документи, вітчизняні та міжнародні стандарти, наукова і спеціальна література та підручники за темою кваліфікаційної роботи.

**Наукова новизна** роботи полягає в комплексному вивченні та розробці інтегрованої системи моніторингу та тарифікації електроенергії, яка використовує передові технології Інтернету речей та хмарних технологій в розумній енергомережі.

**Практичне значення одержаних у кваліфікаційній роботі результатів** полягає у можливості їх використання у розумних електромережах різних галузей АПК. Також результати дослідження можуть бути використані у навчальному процесі та науково-дослідній роботі студентів ЗВО під час вивчення дисциплін і спецкурсів з інформаційних систем.

**Апробація результатів роботи.** Основні теоретичні та практичні результати виконаної магістерської кваліфікаційної роботи доповідались та отримали схвалення на наукових семінарах кафедри ІТ, на міжнародних наукових форумах, зокрема, на Міжнародному студентському науковому форуму, жовтень 2024, Львів.

**Публікації здобувача за темою кваліфікаційної роботи.**

Мариняк Б.З. Автоматизована система тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК. Студентська молодь і науковий прогрес: тези доп. Міжнар. студ. наук. форуму, 02–04 жовт. 2024 р. [Електронний ресурс]. Львів, 2024. С. 358.

**Структура та обсяг кваліфікаційної роботи.** Кваліфікаційна робота містить вступ, п'ять розділів, висновки та пропозиції, список використаної літератури та додатки.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ АПК ТА ТАРИФІКАЦІЇ В НИХ

#### 1.1 Аналіз концепції розумних енергомереж в АПК

Розумні енергомережі розглядаються в світі як концепція інноваційного оновлення електроенергетики, що дозволяє за рахунок використання передових технологій, інструментів і методів значно підвищити ефективність роботи енергетичних систем. За останні роки розвитку системи інтелектуальних мереж та вимірювання енергії приділяється значно більше уваги, оскільки схожі технології допомагають зменшити викиди CO<sub>2</sub>, підвищити ефективність і безпеку енергосистем.

Хоча термін «розумна енергосистема» офіційно використовується з 2003 року, єдиної інтерпретації концепції поки що немає. У всьому світі для визначення інтелектуальної мережі використовуються її ознаки.

Під розумними системами зазвичай розуміють модернізовані енергетичні мережі, які використовують технології для збору інформації про виробництво та споживання енергії. Це, в свою чергу, автоматично покращує ефективність, надійність, економічність та стабільність виробництва та розподілу електроенергії.

Іншими словами, система Розумна енергомережа - це концепція повністю інтегрованої, саморегулюючої та відновлюваної електроенергетичної системи, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільчі мережі та всі типи споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу. (див. рис. 1.1).



Рисунок 1.1 - Структурна схема розумної енергомережі.

Розумна енергетика на сьогодні є напрямком енергетичної політики багатьох країнах. Створення розумних енергетичних систем - це вдосконалення комплексу виробництва та постачання електроенергії з урахуванням покращених засобів управління, оптимізації та захисту елементів енергосистеми в їх взаємозв'язку. Розумні енергомережі забезпечують більшу продуктивність і покращують надійність та ефективність всієї системи за рахунок регулювання споживання, контролю та динамічного управління двонаправленими потоками енергії в режимі реального часу.

Концепція побудови "Розумних енергомереж" (Smart Grids) в агропромисловому комплексі (АПК) базується на інтеграції сучасних цифрових технологій для ефективного управління енергетичними ресурсами, забезпечення стабільного енергопостачання, оптимізації витрат і зменшення впливу на навколишнє середовище. У контексті АПК, розумні енергомережі враховують особливості сільськогосподарських процесів, сезонність споживання енергії та можливості використання відновлюваних джерел енергії.

Основні складові концепції «Розумних енергомереж» (Smart Grid) та сучасні напрями і технології енергомережі України показано на рис. 1.2 – 1.3, а переваги впровадження "Розумних енергомереж" в АПК та наведені в табл. 1.1.

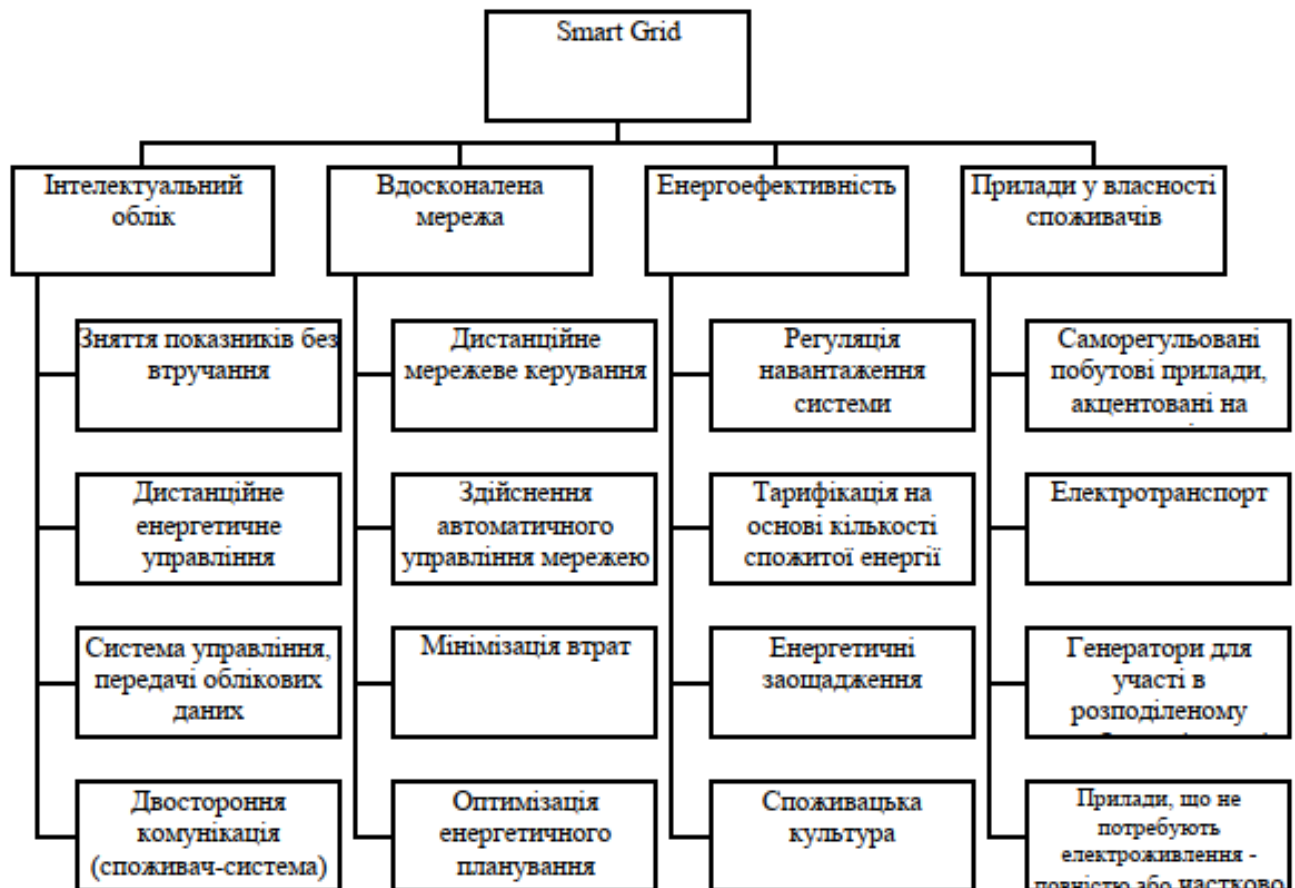


Рисунок 1.2 - Основні складові концепції «Розумних енергомереж» в АПК

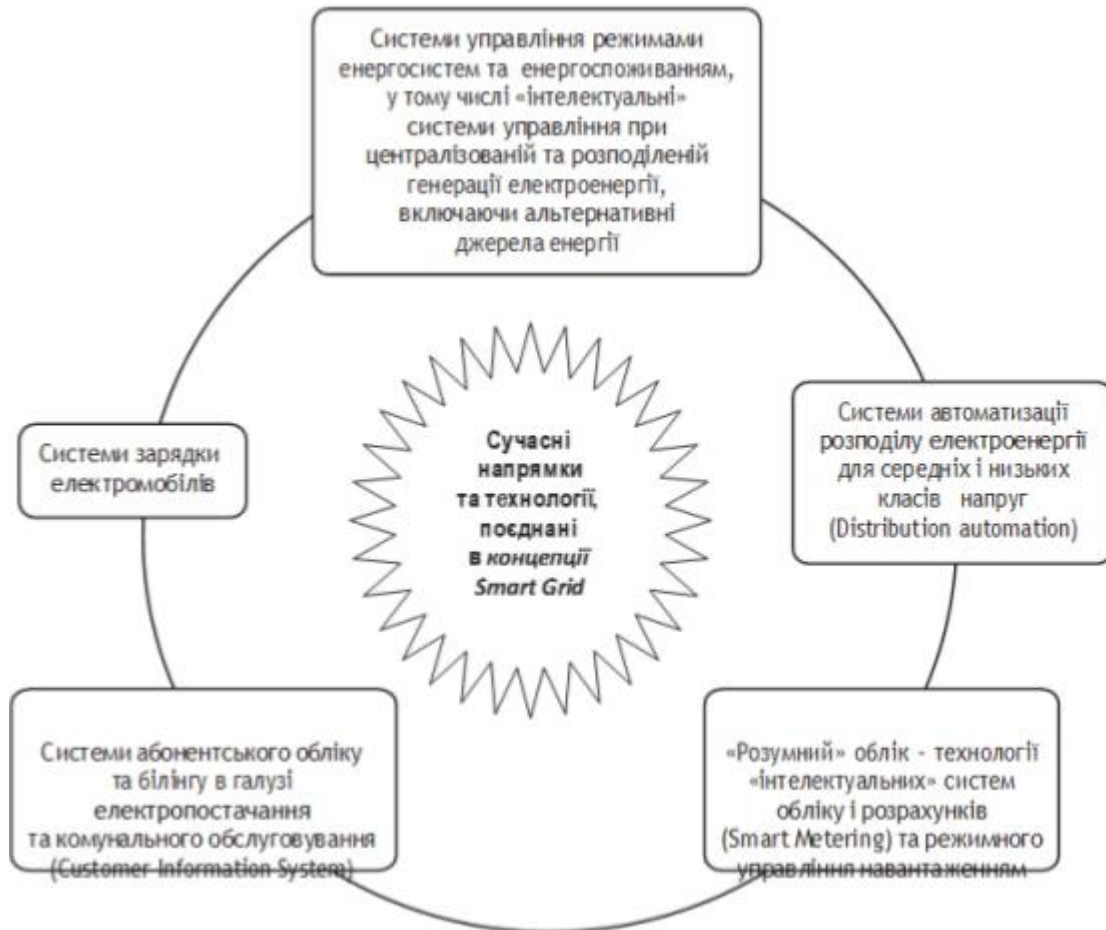


Рисунок 1.3 – Сучасні напрями і технології енергомережі України енергомережі України.



Таблиця 1.1. Складові концепції «Розумних енергомереж» (Smart Grid) та переваги і недоліки впровадження "Розумних енергомереж" в АПК

Складова концепції	Зміст
1	2
Інтеграція в мережі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ)	<p>Використання сонячних фотобатарей, вітрових турбін, біогазових установок та малих гідроелектростанцій.</p> <p>Забезпечення автономності енергопостачання сільськогосподарських об'єктів і зменшення залежності від центральних енергомереж.</p> <p>Повернення надлишків енергії в загальну мережу.</p>
Цифровізація енергетичних процесів	<p>Використання розумних лічильників електроенергії для моніторингу споживання в реальному часі.</p> <p>Автоматизовані системи управління енергопостачанням, які дозволяють оптимізувати використання енергії залежно від навантаження.</p>
Децентралізоване управління	<p>Енергомережа розподіляє енергетичні ресурси між споживачами в залежності від потреб.</p> <p>Використання локальних енергетичних мікромереж для підвищення гнучкості системи.</p>

Продовження таблиці 1.1.	
1	2
Накопичення енергії	<p>Використання батарей або акумуляторів для зберігання надлишкової енергії, виробленої ВДЕ.</p> <p>Забезпечення стабільного енергопостачання навіть у періоди пікових навантажень або недостатнього виробництва енергії.</p>
Використання інтелектуальних систем прогнозування	<p>Прогнозування енергоспоживання та виробництва з урахуванням погодних умов, сезону, типу сільськогосподарських робіт.</p> <p>Використання алгоритмів машинного навчання та аналізу великих даних (Big Data) для точного планування</p>
Автоматизація процесів роботи обладнання	<p>Автоматизовані системи управління обладнанням, такими як насосні станції, системи поливу, опалення та вентиляції.</p> <p>Оптимізація роботи обладнання для зменшення споживання енергії</p>
Екологічність	<p>Зниження викидів вуглекислого газу завдяки ефективнішому використанню енергоресурсів і впровадженню ВДЕ.</p> <p>Сприяння сталому розвитку сільського господарства</p>

Продовження таблиці 1.1.	
1	2
Переваги "Розумних енергомереж" в АПК	Зміст
Енергетична ефективність	Зменшення втрат енергії завдяки децентралізації та інтеграції розумних технологій Раціональне використання енергетичних ресурсів
Зниження витрат	Оптимізація енергоспоживання дозволяє зменшити витрати на енергію. Можливість отримання прибутку від продажу надлишкової енергії
Автономність та надійність	Забезпечення енергетичної автономії сільськогосподарських об'єктів Стабільне енергопостачання навіть у разі перебоїв у центральній енергомережі
Екологічна безпека	Зменшення використання викопного палива та викидів парникових газів Підтримка екологічного балансу
Гнучкість і адаптивність	Можливість адаптації до змінних умов (сезонність, кліматичні зміни, зміни обсягів виробництва). Підтримка різних сценаріїв енергоспоживання та розвитку

Завершення таблиці 1.1.	
1	2
Недоліки "Розумних енергомереж" в АПК	<p>Висока вартість впровадження сучасних технологій.</p> <p>Недостатній рівень підготовки кадрів для управління розумними енергомережами.</p> <p>Потреба в удосконаленні законодавчої бази та стимулів для використання ВДЕ.</p>

«Розумні енергомережі» в АПК є важливим кроком до сталого розвитку агропромислового комплексу. Вони забезпечують ефективне використання ресурсів, екологічну безпеку та стабільність енергопостачання, що сприяє підвищенню продуктивності і якості сільськогосподарської діяльності. Інтеграція таких систем допоможе зробити АПК більш конкурентоспроможним і готовим до викликів майбутнього.

Завдяки інформації, що дозволяє енергосистемам та органам, які встановлюють ціни, широко вводити диференційовані тарифи на споживання залежно від часу доби та часу року. Вони дозволяють здійснювати моніторинг та управління споживанням енергії за допомогою встановлення стимулюючих тарифів, забезпечуючи раціональне використання енергетичних ресурсів.

Розумні енергомережі також є основною тенденцією, що впливає на розвиток інформаційних технологій в енергетичному секторі. Ми називаємо такі мережі «розумними», оскільки вони передають не лише електроенергію, а й інформацію, яка складає активну частину системи електропостачання. Впровадження інтелектуальних мереж також забезпечує більш ефективне управління та вимагає більшої уваги до інтеграції відновлюваних джерел енергії.

Загалом, розумні мережі поєднують елементи традиційної електроенергетики та новітні електроенергетичні технології.

Інформаційна безпека відіграє вирішальну роль у впровадженні розумних енергосистем. Вони повинні протистояти негативним впливам без повних відключень або великих витрат на ремонтні роботи. Однак, існує обґрунтована стурбованість інформаційною надійністю таких систем. Простіше кажучи, будь-яку систему, що використовує Інтернет, можна зламати і нанести непоправну шкоду.

Розумна мережа може успішно захищатися та самостійно відновлюватися після великих збоїв, стихійних лих та зовнішніх загроз. У контексті загальної економіки, розумна мережа сприяє появі нових ринків та послуг.

Система Розумна енергомережа - це концепція повністю інтегрованої, саморегулюючої та відновлюваної електроенергетичної системи, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільчі мережі та всі типи споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу. Завдяки впровадженню "інтелектуальних" мереж до 2025 року лише в країнах ЄС планується підвищення ефективності споживання енергетичних ресурсів на 20% шляхом скорочення питомого споживання енергії на одиницю ВВП, та також передбачено зниження шкідливих викидів у атмосферу.

Сучасна Україна проявляє інтерес до розвитку новітніх технологій у сфері управління енергетикою. Впровадження концепції Розумна енергомережа є напрямом інтелектуалізації енергосистеми України. Система Розумна енергомережа дозволяє енергетичним компаніям керувати всією мережею енергопостачання як єдиною системою. Впровадження Розумна енергомережа спрямоване на вирішення поточних завдань через інтелектуальну мережу, що дозволяє збільшити рентабельність, надійність і безвідмовність роботи, зменшити технічні та комерційні втрати, підвищити керованість і ефективність експлуатації

мереж. У межах концепції та методології впровадження Розумна енегомережа необхідно враховувати вимоги всіх зацікавлених сторін, таких як держави, генеруючі, мережеві і енергозбутові компанії, споживачі та виробники обладнання, що є напрямком подальших досліджень.

Компанія ДТЕК в серпні 2023 року на прикладі Київської області представив концепцію модернізації енергомереж. На основі представленої концепції може бути напрацьовано загальнодержавний технічний стандарт для оновлення розподільчих мереж по всій території України.

У компанії "ДТЕК Мережі" назвали такі головні переваги інфраструктури Розумних мереж:

- стійкість мережі, яка продовжує працювати навіть у разі пошкодження або руйнування одного сегмента,
- готовність до розвитку ВДЕ, розподіленої генерації, систем накопичення енергії та здійснення зеленого енергопереходу,
- якісно інший рівень послуг електропостачання для клієнтів.

Серед іншого, планується заміна всіх повітряних ліній на кабельні, більш стійкі до погодних умов та інших катаклізмів.

Мешканці Київської області отримають нову енергетичну інфраструктуру - ефективну та сучасну, з безперебійним електропостачанням, значно нижчою аварійністю та вищою стійкістю до загроз. Наприклад, після реалізації концепції розвитку мереж для клієнтів Київської області середній час відключень електроенергії знизиться з 1500 до 100 хвилин на рік. 100% клієнтів будуть забезпечені розумними лічильниками.

Десятирічний план "ДТЕК Мережі" передбачає повне оновлення електричної інфраструктури Київської області з інвестиціями в EUR 2,4 млрд і трирічний пілотний проєкт в енерговузлі Ірпінь-Буча-Бородянка вартістю EUR 145 млн.

На першому етапі проєкту "ДТЕК Мережі" розроблять цифрову модель, яка

буде діджитальним близнюком реальної розподільчої мережі. «Такий підхід допоможе чітко прогнозувати ефекти всіх технічних рішень та інвестицій», - пояснили в компанії.

Зауважимо, що впровадження четвертої промислової революції базується на двох основних напрямках, які кардинально можуть розвинути енергетичну галузь:

- Інтернет речей» (Internet of Things, IoT), що передбачає перетворення всіх компонентів виробничої системи в активних користувачів Інтернету;
- Кіберфізичні системи (CyberPhysical Systems, CPS).

Таким чином, четверта промислова революція означає створення «розумної» промисловості. Цей процес є еволюцією від застосування вбудованих інформаційно-комунікаційних систем управління до кіберфізичних систем. Вбудовані системи та глобальна мережа Інтернет становлять основу кіберфізичних систем, які об'єднують віртуальний і реальний світи для створення мережевого простору. Основною ідеєю створення таких кіберфізичних систем є інтелектуалізація, тобто «розумні» взаємовідносини у процесі досягнення конкретних цілей. Впровадження розумних мереж і технологій управління визначається обширними трансформаціями, які відбулися в енергетиці за останні десятиліття - перехід від традиційної генерації на викопних видів палива до відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Для енергетичних систем, орієнтованих на інтелектуальний розвиток, створюється сприятливе середовище, де відбувається "розумна взаємодія". Це передбачає взаєморозуміння між компонентами системи та їх оточенням через інформаційне "спілкування" за конкретним протоколом. Взаємодія може включати не лише взаємодію в межах самої системи, але і обмін інформацією з логістичними системами споживачів і постачальників. У випадку зміни вимог, машини можуть автоматично приймати "розумні" рішення щодо перебудови відповідного технологічного процесу. Виробничі системи, які мають можливість самодіагностики та самостійного ремонту, розвиваються, що в кінцевому

підсумку призводить до підвищення гнучкості та індивідуалізації виробництва.

Розумна енегомережа об'єднує комплексні інструменти маркетингу та контролю, а також використовує передові інформаційні технології та засоби комунікації. За їхньою допомогою можна автоматично виявляти найбільш вразливі, аварійні та небезпечні ділянки електромережі. Після виявлення таких ділянок, мережа змінює свої характеристики та схеми для мінімізації втрат і ризику аварій. Це гарантує високий рівень продуктивності та надає якісну електричну енергію населенню. Виробничі системи можуть легко переконфігуруватися в набір автономних кіберфізичних центрів, які працюють на автономних джерелах енергії.

Завдяки сучасним технологіям такі системи можна використовувати як в широких промислових масштабах, так і для звичайних побутових електроприладів. Однак для координації різних галузей промисловості та АПК та повинна бути впроваджена уніфікована система технологічних стандартів. Це також є критичним аспектом для впорядкованого розвитку інтелектуальних мереж, оскільки вони охоплюють численні технічні галузі.

Впровадження Smart Grid є напрямом інтелектуалізації енергосистеми України. Система Smart Grid дозволяє енергетичним компаніям керувати всією мережею енергопостачання як єдиною системою. Впровадження Smart Grid спрямоване на вирішення поточних завдань через інтелектуальну мережу, що дозволяє збільшити рентабельність, надійність і безвідмовність роботи, зменшити технічні та комерційні втрати, підвищити керованість і ефективність експлуатації мереж. У межах концепції та методології впровадження Smart Grid необхідно враховувати вимоги всіх зацікавлених сторін, таких як держави, генеруючі, мережеві і енергозбутові компанії, споживачі та виробники обладнання, що є напрямком подальших досліджень.

Відповідно до Угоди між Урядом України та Європейською Комісією проводяться роботи із впровадження автоматичних систем моніторингу та обліку



енергії. Світовий досвід використання інтелектуальних мереж є перспективним та економічно виправданим. Однак стабільний прогрес у технологіях відновлюваної енергії та економічна ефективність сонячної та вітрової енергії вимагають розумнішого підходу до управління електроенергетичними мережами.

Ось чому технології інтелектуальних мереж повинні враховувати більші частки відновлюваної енергії в електроенергетичному секторі. Потрібно якомога швидше розробити подальші правила регулювання щодо розумних мереж та відновлюваних джерел енергії.

Можемо зробити висновок, що розумним мережам ще потрібно пройти довгий шлях, до повної реалізації. Державна політика, інвестиції, а також технічна зрілість, економічна ефективність та мережева інфраструктура матимуть значний вплив на їх розвиток. Можливим рішенням є розділення процесу на кілька етапів з різними акцентами, щоб впровадження інтелектуальних мереж рухалось безперешкодно.

Поетапність впровадження в Україні інтелектуальних енергомереж представлена на рис. 1.4 [3].

	Крок 1. Інтеграція розподіленої генерації до існуючої енергосистеми	Крок 2. Впровадження децентралізованих енергосистем	Крок 3. Впровадження дисперсної енергомережі	Зацікавлені сторони
Енергоєфективна політика та регуляція	Розповсюдження систем інтелектуального вимірювання			В, Е
	Оновлення бази нормативів розвитку структури електрифікації			В
	Розробка та введення системи стимулювання використання транспорту, опалення на електричній основі			В
	Розробка стандартів та структури взаємоз'язку агрегаторів з постачальниками енергії			В, Е
	Розвиток енергетичного ринку з участю споживачів у розподіленій енергогенерації			В, Е
	Технічна стандартизація, регулювання протоколів комунікації			В, Ц, Е
	Забезпечення повної конфіденційності, захисту власності та безпеки клієнтської інформації			В, Е
	Забезпечення цифрової безпеки за рахунок стандартизації, регулювання та бенчмаркінгу			В, Е
Інфраструктура	Постійні інвестиції в розумні енергетичні мережі			В, Е
	Оновлення енергетичної інфраструктури на основі РЕ	Збільшення частки РЕ до 50%	Перевищення 50% частки РЕ у структурі	Е
	Реалізація проєктів, що стосуються альтернативної енергогенерації			В, Ц, Е
	Введення проєктів з альтернативної енергетики та розподіленої генерації в РЕ			В, Е
	Становлення на ринку «віртуальних електростанцій» та подальше стимулювання розподіленої енергогенерації			В, Е
	Інвестиції в системи спостереження та контролю розподільної мережі			В, Е
	Інвестування в енергетичну генерацію з відновлювальних джерел			В, Ц, Е
	Дослідження та покращення загальносистемних механізмів стабілізації РЕ			В, Е
Технології, інноваційність та дослідження	Дослідження технологій для РЕ	Участь у міжнародних проєктах з дослідження РЕ		В, Ц, Е
	Навчання працівників у галузі РЕ (особливо науковців)			В, Е
	Інтелектуальне онлайн-вимірювання викидів CO <sub>2</sub>			Е
	Забезпечення гнучких тарифів використання енергії			В, Ц, Е
	Пробні дослідження управління попитом та автоматизованого контролю			В, Ц, Е
	Реалізація дослідницьких проєктів: інформаційно-комунікаційні технології, спостереження. Міжнародне партнерство			В, Ц, Е
	Демонстраційні проєкти для визначення витрат, параметрів безпеки та стійкості			В, Ц, Е
	Апробація проєктів з акумулювання енергії			В, Е
Залучення споживачів та відкритість	Дослідження потенціалу водневої енергії			В, Ц, Е
	Навчання та залучення клієнтів до управління енергомережею			В, Ц, Е
	Розробка та демонстрація технологій для кінцевого їх споживача			В, Ц, Е
	Розробка інструментів енергоспоживання та бізнес-моделі, стимулювання реагування споживачів на зміни енергоринку			В, Ц, Е
	Стандартизація, субсидювання, стимулювання використання розумних приладів			В, Е
Кодифікування найкращих практик енергоефективності та автоматизованого реагування на попит			В, Е	
Стимулювання широкомасштабного розгортання пілотних проєктів енергоефективності та автоматизованих програм реагування на попит			В, Е	
В – уряд, органи державної та місцевої влади	Ц – фінансово-кредитні установи, домогосподарства, промислового значення, науково-дослідницькі організації	Установи, споживачі, проєктні,	Е – компанії, що займаються генерацією та розподіленням енергії, постачальники, орган регуляції енергетичного ринку України	

Рисунок 1.4 - Етапи провадження розумних енергомереж в Україні

Таким чином, інтелектуалізація визначає стратегію розвитку енергетики, сприяючи нерозривності та узгодженості за ключовими напрямками: енергозабезпечення, енергодоступність та енергоприйнятність. Ці напрямки становлять основу для впровадження сучасних та перспективних "інтелектуальних" технологій і сприяють інтеграції поновлюваних джерел енергії в електромережу.

## **1.2. Аналіз принципів побудови системи обліку та прогнозування споживання електроенергії в регіональній розумній енергомережі АПК**

Останнім часом дослідження вчених і практиків зосереджені на розробці систем моніторингу та прогнозування споживання електроенергії в розумних мережах. Ці системи використовують різні методи машинного навчання, включаючи штучні нейронні мережі [1], машини екстремального навчання та дерева регресії ансамблю. Дослідження показали, що моделі рекурентних нейронних мереж (RNN) і довгострокової короткочасної пам'яті (LSTM) особливо добре працюють для прогнозування енергії, особливо з більшими наборами даних і правильно налаштованими гіперпараметрами [2]. Гібридні методи, такі як CNN-LSTM, також виявилися ефективними для обробки довгих послідовностей енергетичних даних. Крім того, ймовірнісні підходи глибокого навчання, такі як байєсівський двонаправлений LSTM, продемонстрували високу точність з точки зору оцінки пінболу та середньоквадратичної помилки [3]. Ці вдосконалені методи прогнозування є вирішальними для різноманітних додатків інтелектуальної мережі, включаючи керування попитом, розподіл навантаження та оптимальну диспетчеризацію, оскільки вони допомагають керувати невизначеністю та деталізацією даних інтелектуальної мережі [4].

Автоматизована система обліку та прогнозування споживання електроенергії (АСОПСЄЄ) в регіональній розумній енергомережі АПК будується

на основі сучасних інформаційних технологій, автоматизації процесів збору даних і аналітики для оптимізації енергоспоживання та підвищення ефективності управління енергоресурсами (див. рис. 1.5 -1.6).

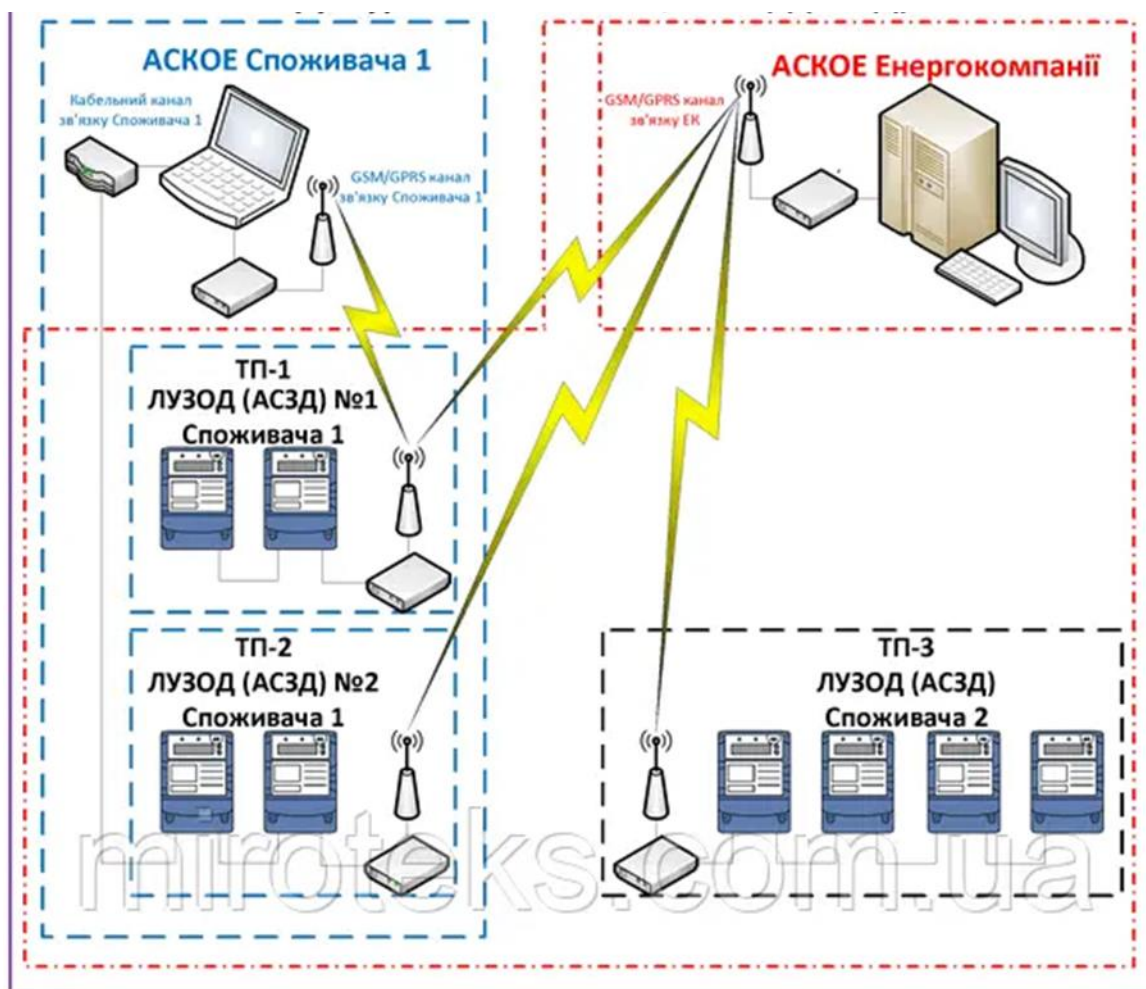


Рисунок 1.5 - Структурна схема АСОПСЕЕ.

Принципи проєктування та реалізації АСОПСЕЕ сформульовані і систематизовані нами в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Принципи побудови АСОПСЕЕ в розумній енергомережі АПК

<b>Принцип побудови</b>	<b>Функції АСОПСЕЕ</b>
Інтегрованість і централізоване управління	Інтеграція всіх елементів територіальної енергомережі на єдиній платформі для моніторингу, аналізу і управління енергоспоживанням на різних рівнях
Автоматизація збору даних та дистанційний контроль	Збір даних в реальному часі від смарт-лічильників електроенергії та передавання їх до центру керування для подальшого аналізу
Точний облік, прогнозування і планування споживання електроенергії на основі використання AI та ML	Можливості детального обліку та архівування історичних даних енергоспоживання на різних рівнях, прогнозування споживання електроенергії з урахуванням сезонності, погодних умов, виробничих циклів тощо
Енергоефективність та оптимізація	Здатність інтегрувати енергію з відновлюваних джерел та оптимізувати її використання.
Захист даних і надійність	Кібербезпека, можливість резервного копіювання та відновлення даних у разі збою
Гнучкість і масштабованість	Модульна структура, можливість масштабування і адаптації системи під змінювані зовнішні умови
Інтеграція з ERP-системами	Інтеграція з управлінськими системами для оптимізації та забезпечення екологічної стійкості

Архітектура хмарної АСОПСЕЕ представлена на рисунку 1.4.

АСОПСЕЕ сприяє ефективному використанню енергоресурсів, зменшенню витрат на електроенергію та оптимізації роботи регіональної енергомережі. Вона базується на принципах інтеграції, автоматизації, безпеки, прогнозування і

масштабованості для забезпечення ефективного управління енергетичними ресурсами в регіональній розумній енергомережі АПК.

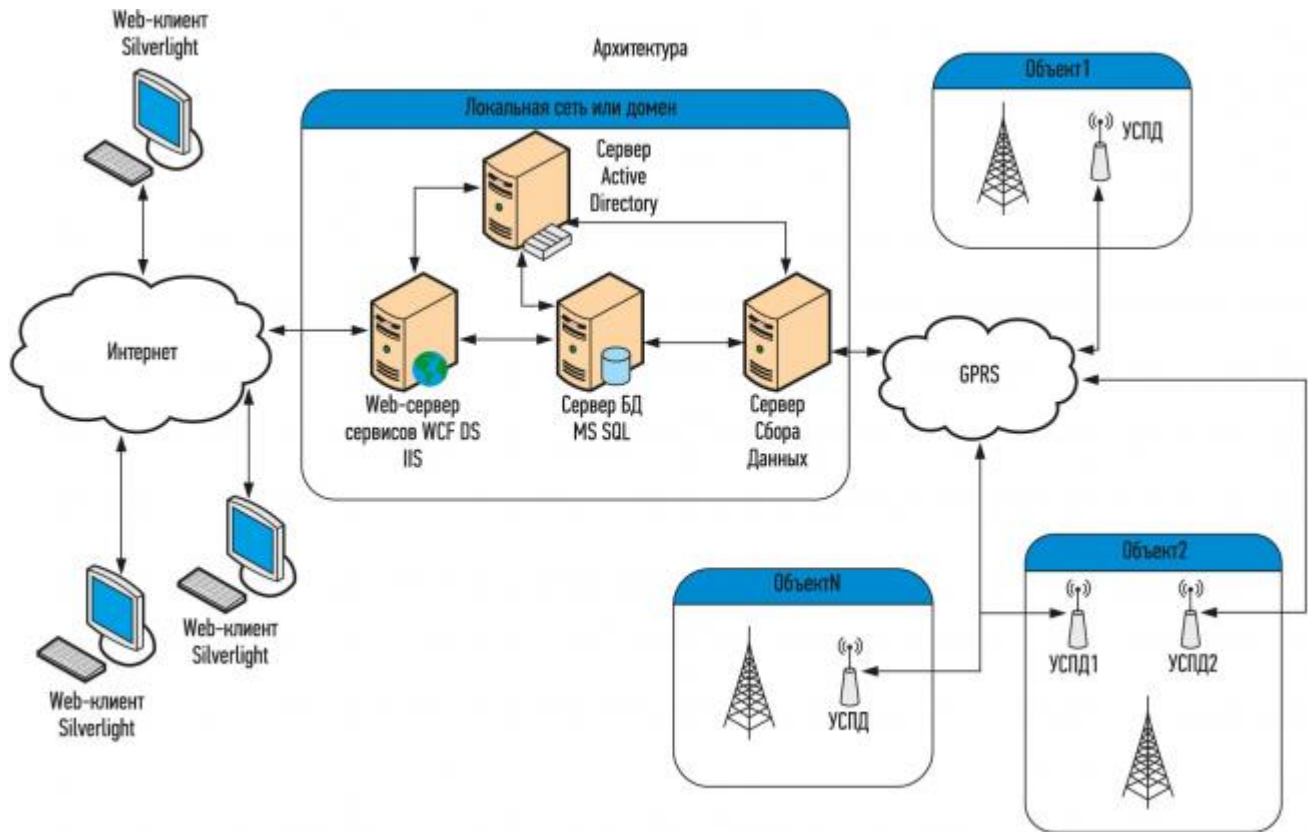


Рисунок 1.4 - Архітектура хмарної АСОПСЄЄ в розумній енергомережі АПК.

### 1.3. Аналіз процесів вимірювання та моніторингу електроенергії в концепції розумна енергомережа

Обладнання та пристрої для вимірювання в розумній мережі включають інтелектуальне вимірювальне обладнання, PMU (Phasor Measurement Unit) різні датчики тощо. Вони складають рівень сприйняття та відіграють вирішальну роль у зборі даних. PMU це пристрій, який вимірює фазові параметри напруги та струму в електричних мережах у реальному часі. Використовуючи GPS (Global Positioning System) або інші джерела синхронізації, PMU забезпечує точний вимір фазових кутів і амплітуд сигналів. Ці дані дозволяють отримувати інформацію про

стан електроенергетичної системи з високою частотою оновлення, що робить їх корисними для виявлення відхилень, аналізу стабільності, та управління енергосистемою в режимі реального часу. PMU грає важливу роль в системах моніторингу та управління електроенергетичними мережами. Пристрої вимірювання розгорнуті по всій зоні енергомережі для реалізації оцифрування та візуалізації через повсюдну інформаційну мережу. За допомогою інтелектуальних лічильників, PMU та різних сенсорних пристроїв фізична мережа інтенсивно сприймається в часі та просторі та може бути легко відображена в цифрову логічну мережу.

Інтелектуальний лічильник - це своєрідне обладнання, яке принципово змінює роботу електромережі та сприяє її інтелектуалізації (див. рис. 1.5).



Рис.1.5 - Розумний лічильник електроенергії для розумної мережі АПК.

Розумні лічильники забезпечують двосторонній потік інформації та потік енергії між клієнтом і постачальником. На додаток до виконання функції вимірювання, інтелектуальні лічильники можуть діяти як інтелектуальні чутливі пристрої та приводи в розподільчій мережі, беручи участь у розподілі та управлінні енергією.

Розширена інфраструктура вимірювання (AMI, Advanced Metering Infrastructure), заснована на розумних лічильниках, є основною інфраструктурою розумної мережі.

AMI це комплекс систем та технологій, які використовуються для вимірювання, збору та обробки інформації щодо використання електроенергії. AMI є сучасними системами вимірювання, які використовують цифрові лічильники та зв'язок для забезпечення розширених можливостей збору даних та керування мережею.

Розширена інфраструктура вимірювання (AMI) містить наступні елементи.

1. Цифрові лічильники для точного вимірювання споживаної електроенергії. Вони можуть надсилати дані в реальному часі та виконувати інші функції, такі як виявлення втрат енергії чи визначення часу використання.

2. Технології для передачі даних між лічильниками та центральною системою збору та обробки даних. Це може бути провідний (наприклад, через кабель) або безпроводний (наприклад, за допомогою мережі Zigbee, Wi-Fi або GSM).

3. Централізована інфраструктура, яка приймає, зберігає та оброблює дані від лічильників, для чого може використовувати аналітичні інструменти для оптимізації управління енергопостачанням.

4. Механізми управління мережею використовуючи систему взаємодії з лічильниками та електромережею, що дозволяє виробникам електроенергії ефективніше впоратися зі споживанням, виявляти проблеми та проводити обслуговування.



Таким чином, розширена інфраструктура вимірювання складається з трьох ключових компонентів:

- розумних лічильників,
- двосторонніх каналів зв'язку ,
- центру обробки даних для агрегації, аналізу та обробки даних.

При цьому процес вимірювання та моніторингу містить наступні операції (див. табл. 1.3).

Таблиця 1.3 - Операції процесу вимірювання та моніторингу електроенергії в розумній енергомережі

Назва операції процесу	Зміст
1	2
Вимірювання параметрів енергії	<p>Визначення обсягів енергії, спожитої в певний момент часу</p> <p>Вимірювання напруги, частоти та гармонік для забезпечення відповідності стандартам</p> <p>Моніторинг відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі чи вітрові турбіни тощо</p>
Передача даних	<p>Використання дротових (Ethernet, оптоволокно) та бездротових (Wi-Fi, ZigBee, LoRaWAN) каналів зв'язку</p> <p>Забезпечення швидкої та безпечної передачі даних до централізованих серверів</p>
Аналіз даних	<p>Використання алгоритмів машинного навчання та великих даних для виявлення трендів і прогнозування споживання</p> <p>Розрахунок ефективності мережі та пошук шляхів її оптимізації</p>

Продовження таблиці 1.3.	
1	2
Візуалізація даних	Відображення даних у вигляді графіків, діаграм і звітів для зручності аналізу операторами Забезпечення доступу до інформації через веб-інтерфейси або мобільні додатки
Реакція на події	Автоматичне надсилання системою попередження операторам у разі виявлення відхилень чи аварій та автоматичне відключення

Отже, розумні лічильники збирають дані про електроенергію та передають їх до системи керування даними. Після аналізу даних система приймає такі рішення, як виставлення рахунків, прогнозування навантаження, керування навантаженням і реагування на попит. Коли клієнти розгортають систему розподіленої енергії, АМІ дозволяє клієнтам продавати надлишок електроенергії в мережу через ринок. Таким чином, АМІ може покращити якість електропостачання та рівень обслуговування шляхом побудови двостороннього взаємозв'язку потоку енергії та потоку інформації між комунальними службами та домогосподарствами [5].

Системи вимірювання та моніторингу в розумних енергомережах забезпечують контроль за всіма аспектами електроенергетичних процесів. Вони є основою для підвищення енергоефективності, надійності та стабільності сучасних мереж, а також дозволяють ефективно інтегрувати відновлювані джерела енергії та оптимізувати витрати на електроенергію.

## РОЗДІЛ 2

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА РОЗВИТОК РОЗУМНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ ТА ПРОЦЕСІВ ТАРИФІКАЦІЇ

### 2.1. Дослідження впливу інформаційно-комунікаційних технологій на розвиток концепції Smart Grid

Завдяки інтеграції найсучасніших інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) із застарілими об'єктами міської інфраструктури очікується, що міста майбутнього еволюціонуватимуть у величезні кіберфізичні системи та, нарешті, у цифрово-фізичний світ-близнюк. З цією метою розумна електромережа є першорядною та найважливішою [1].

Згідно з визначенням, зробленим Американським інститутом дослідження електроенергії в 2011 році, розумна мережа - це електрична мережа, яка забезпечує двосторонній потік електроенергії та інформації [2]. На відміну від традиційних електромереж з одностороннім потоком електроенергії, розумна мережа забезпечує двосторонній потік електроенергії між електромережами та споживачами електроенергії. Що ще важливіше, інтеграція ІКТ в електромережі створює новий двосторонній потік інформації та дозволяє мережам мати здатність до самовідновлення, а споживачам електроенергії стати активними учасниками.

На рисунку 2.1 показано концептуальну модель інтелектуальної мережі, запропоновану Національним інститутом стандартів і технологій [3].

Вона складається з семи доменів і енергетичних/інформаційних потоків між ними. Чотири нижні домени відповідають фізичним об'єктам у традиційних електромережах і представляють виробництво, передачу, розподіл електроенергії та споживачів. Серед них існує застарілий потік енергії, що позначено суцільними червоними лініями. Три верхні домени в основному пов'язані з інформаційно-

комунікаційною інфраструктурою та послугами електроенергії, включаючи ринки електроенергії, операції та постачальників послуг. Інформаційний потік, позначений пунктирними синіми лініями між усіма сімома доменами, забезпечує їх взаємодію, оснащуючи енергосистему інтелектом.

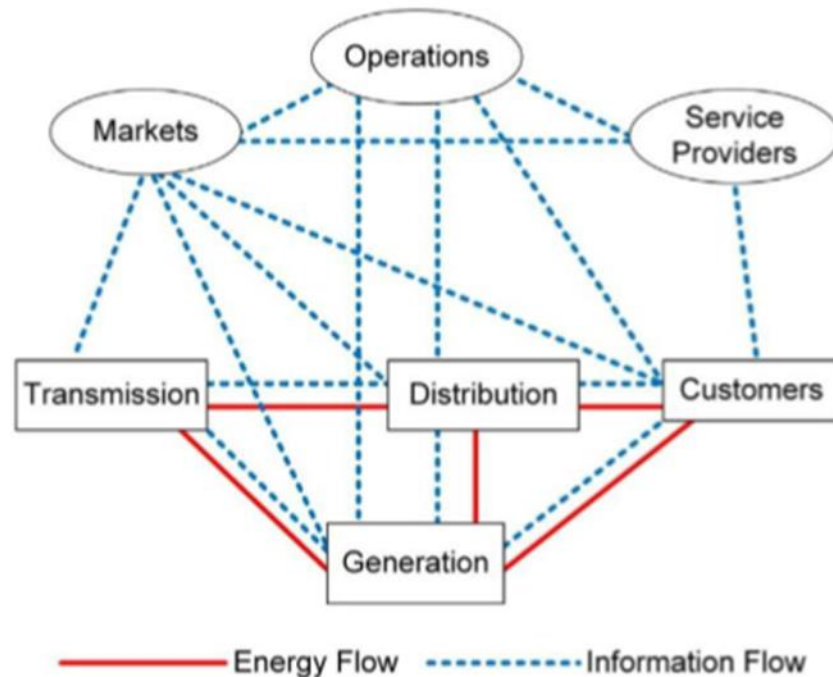


Рисунок 2.1 – Схема моделі інтеграції ІКТ та енергетичних систем.

Інтеграція потоку енергії та потоку інформації дозволяє додатковий забезпечити додатковий функціонал інтелектуальної мережі. З одного боку, електромережа є носієм електроенергії. Повні фізичні засоби та архітектура мережі забезпечують потік енергії та забезпечують потужну та надійну передачу та постачання електроенергії для забезпечення оптимального розподілу електроенергії на широкій території. З іншого боку, інформаційна мережа є основою розумної мережі для взаємодії із споживачами. Інтелектуальна мережа, що характеризується інформатизацією, автоматизацією та взаємодією, покращує якість електропостачання та надає клієнтам різноманітні послуги безпечно та ефективно. На відміну від традиційної електромережі, в розумній мережі

інформаційна мережа відіграє більш важливу роль. Спираючись на передові ІКТ, розумна мережа має високонадійну та гнучку комунікаційну інфраструктуру для реалізації інформаційної взаємодії в режимі реального часу, а також для забезпечення більш надійного нагляду за активами, керування навантаженням, однорангової торгівлі електроенергією та інших інноваційних послуг електроенергії.

Як типове застосування технології 5G для комунікацій машинного типу, в останні роки Інтернет речей (IoT) був широко інтегрований в електромережі, створивши так званий Power Інтернет речей (PIoT). В принципі, IoT забезпечує взаємозв'язок для будь-кого та будь-чого, який більше не обмежується пристроями чи об'єктами, але також додатками та поведінкою людей, серед іншого.

У PIoT різні електричні приміщення та енергетичні об'єкти з'єднуються між собою, щоб забезпечити ефективні та безпечні послуги електроенергії. Після PIoT об'єднує фізичні об'єкти та змушує традиційні електромережі розвиватися в розумні мережі, кіберфізична система (CPS) може підвищити рівень інтелекту розумної мережі, взаємодіючи між фізичними об'єктами та кіберсвітом і контролюючи фізичні процеси за допомогою оброблені дані та інформація. Іншими словами, PIoT реалізує взаємозв'язок пристроїв глобальної мережі та виконує збір, зберігання та агрегацію даних, тоді як CPS виконує інтелектуальний аналіз даних та пошук інформації та забезпечує ефективне, надійне, точне та керування фізичним процесом у реальному часі. в розумній мережі. З точки зору CPS, PIoT — це мережева інфраструктура, яка забезпечує відображення фізичного світу в кіберсвіт [4]. У даній роботі наведено вичерпний огляд PIoT щодо архітектури, базових технологій, питань безпеки та конфіденційності.

Інтеграція PIoT із CPS дає змогу створити кіберфізичну систему енергетики (CPPS), що робить поточну розумну мережу розумнішою. Зокрема, на додаток до потоків енергії та інформації, створюється новий потік цінностей, а робота розумної електромережі наступного покоління залежить від вартості. Отже, CPPS

забезпечує цілісне сприйняття та повсюдне з'єднання розподілених енергетичних ресурсів та електричних об'єктів для створення розумнішої електромережі з глобальною інформаційною взаємодією, інтелектуальним прийняттям рішень та гнучким керуванням у режимі реального часу. Для інтелектуального розвитку енергомережі, крім побудови надійної енергетичної фізичної інфраструктури, також необхідно реалізувати цифровізацію, інформатизацію, автоматизацію та взаємодію в енергомережі. Як показано на рисунку 2.2, енергомережа з використанням Інтернету речей (РІоТ) складається з рівня сприйняття, рівня мережі, рівня платформи та рівня додатків, які, відповідно, зосереджуються на зборі даних, передачі, управлінні та створенні цінності.

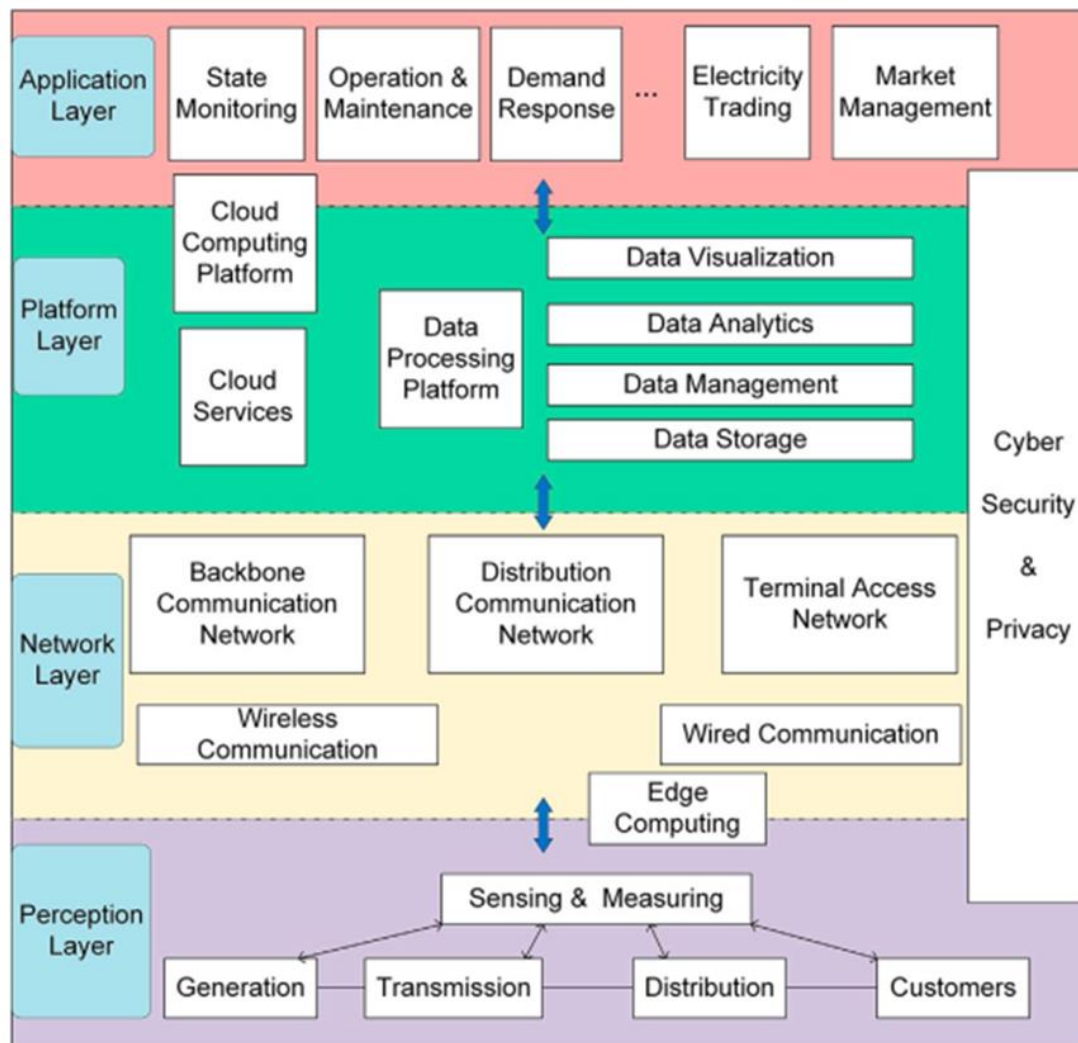


Рисунок 2.2 – Рівнева модель розумної енергомережі РІоТ

На рівні сприйняття все взаємопов'язано, і стан електромережі повністю візуалізується; на мережевому рівні магістральна мережа, мережа розподілу та мережа термінального доступу забезпечують повсюдну та постійну комунікаційну здатність; на рівні платформи цифрове управління робить енергомережу доступною та керованою; а на прикладному рівні енергомережа надає всі види послуг для створення більших можливостей для всіх сфер життя. Кібербезпека та конфіденційність є важливим питанням на всіх рівнях РІоТ на основі даних. Щоб повністю розкрити потенціал ІоТ у розумній мережі, необхідно повністю розглянути характеристики рівнів і вибрати відповідні засоби, пристрої та комунікаційні технології для різних програм.

## **2.2. Дослідження технології вимірювання та моніторингу в розумних енергомережах**

Зі збільшенням розгортання розширеної інфраструктури вимірювання (Advanced Metering Infrastructure - АМІ) кількість даних про електроенергію різко зростає, тому централізована архітектура для АМІ буде нежиттєздатною. Навпаки, розподілена архітектура з передовою обчислювальною технологією, такою як периферійні та туманні обчислення, забезпечить більш потужну продуктивність. В епоху 5G та ІоТ передова розподілена архітектура, ІКТ та механізм безпеки є ключовими для інтелектуальної функціональності АМІ.

Пристрої вимірювання комплексної амплітуди (Phasor Measurement Unit - РМУ) відіграють більш важливу роль у системах глобальних вимірювань та оцінці стану в мережі передачі. РМУ підтримують синхронний збір і обчислення даних. Вони з'єднуються з декількома підстанціями та завантажують дані в реальному часі, які використовуються для динамічного моніторингу та управління, прогнозування системи та захисту інтелектуальної мережі.

Система глобального вимірювання має чотири ключові компоненти: PMU, концентратор векторних даних (PDC), програми та інформаційну мережу між PMU та PDC. PMU отримує синхронне вимірювання та передає дані до PDC через інформаційну мережу. Центр прийняття рішень і управління вживає відповідних прогнозних заходів корекції та захисту на основі цих даних і посилає сигнал зворотнього зв'язку для самоконтролю (див. рис. 2.3).

Порівняно з ситуаційною обізнаністю про диспетчерське керування та збір даних (SCADA), вдосконалений PMU має вищу частоту оновлення, що може адаптуватися до високодинамічних операцій розумної мережі. Використання PMU для оцінки розподіленого стану забезпечує нижчу вартість передачі даних, достатню надмірність і стабільність, а також вищу точність і ефективність. Однак розподілена мережа PMU вразлива для хакерів. А зловмисне маніпулювання даними PMU спричиняє пошкодження передачі та розподілу електроенергії, незалежно від потенційної нестабільності напруги чи збій у фазі. Таким чином, необхідно повністю розглянути інформаційну безпеку PMU та оцінити вплив розподіленої оцінки стану на енергосистему.

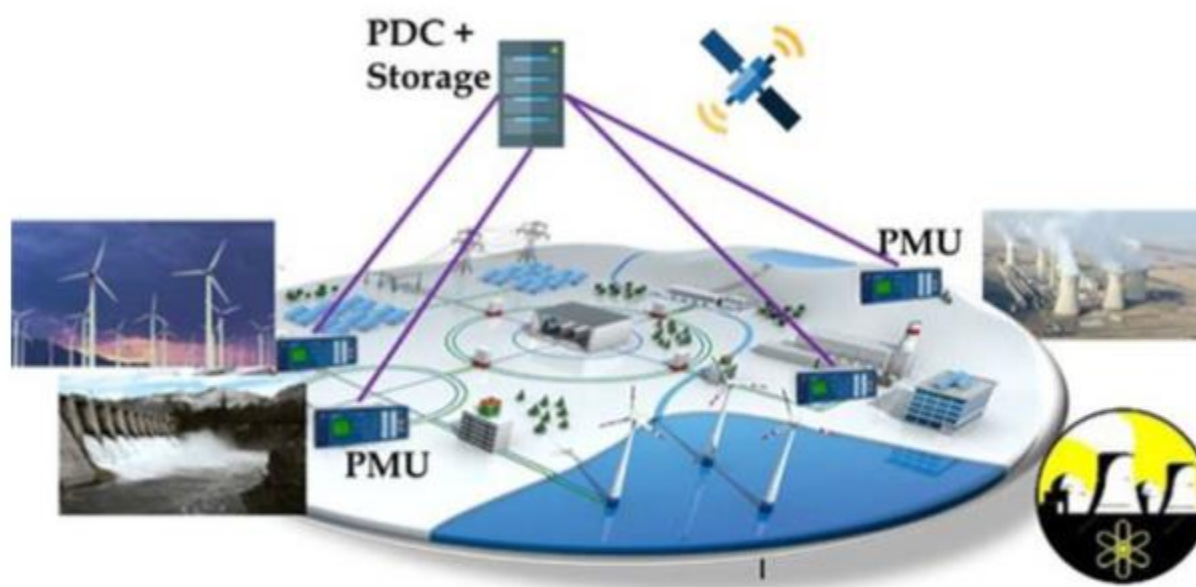


Рисунок 1.5 - Вимірювач фази для моніторингу енергосистем



Бездротові сенсорні мережі стають важливою складовою інтелектуальних електромереж, особливо з урахуванням зростання обсягів даних та вимог до реального часу. Недоліки провідних мереж, такі як низька масштабованість, обмежена гнучкість і високі витрати на розгортання, стимулюють застосування безпроводних сенсорних мереж. У таких мережах сенсорні вузли відповідають за вимірювання, обробку, зберігання та передачу даних до вузлів-приймачів через кілька стрибків. Вузли приймачі обладнані потужними обчислювальними та комунікаційними можливостями, підключаються до Центру керування, який приймає рішення на основі інформації від сенсорних мереж.

Бездротові сенсорні мережі володіють властивостями самоорганізації, самовідновлення, адаптації та багаторазових перестрибувань. Це підвищує надійність інформаційної мережі електромережі, дозволяючи краще контролювати компоненти системи, реалізовувати скоординований захист та уникати та зменшувати збої в електромережі.

Хоча бездротові сенсорні мережі відіграють ключову роль у таких сферах, як автоматичне зчитування лічильників та віддалений моніторинг систем та діагностика несправностей обладнання, вони мають обмеження в терміні служби батареї, обробці та обсягу кеш-пам'яті. З цього приводу важливо забезпечити продуктивність сенсорних вузлів та продовжити термін служби мережі в умовах обмежених ресурсів.

Для полегшення взаємозв'язку та взаємозв'язку компонентів електромережі необхідно прийняти відкриту архітектуру комунікаційної мережі «plug-and-play». Також необхідно використовувати універсальні стандарти та протоколи для безперебійного зв'язку між різними пристроями. Мережевий рівень РІоТ має повсюдну цілодобову комунікаційну здатність і реалізує голографічне сприйняття електромережі. Щоб вибрати найбільш прийнятну комунікаційну технологію та інфраструктуру для інтелектуальної мережі, на практиці слід враховувати чотири

ключові фактори: тривалість розгортання, витрати на експлуатацію та управління, продуктивність зв'язку та фактори навколишнього середовища.

Нижче наведено плюси та мінуси шести типових комунікаційних технологій, які широко застосовуються в інтелектуальній мережі, включаючи чотири бездротові технології та дві дротові технології.

На рисунку 2.4 представлено "куб використання", в якому різними кольорами позначено різні комбінації технологій, що використовуються у сфері інтелектуальних лічильників в концепції розумних енергомереж [7].

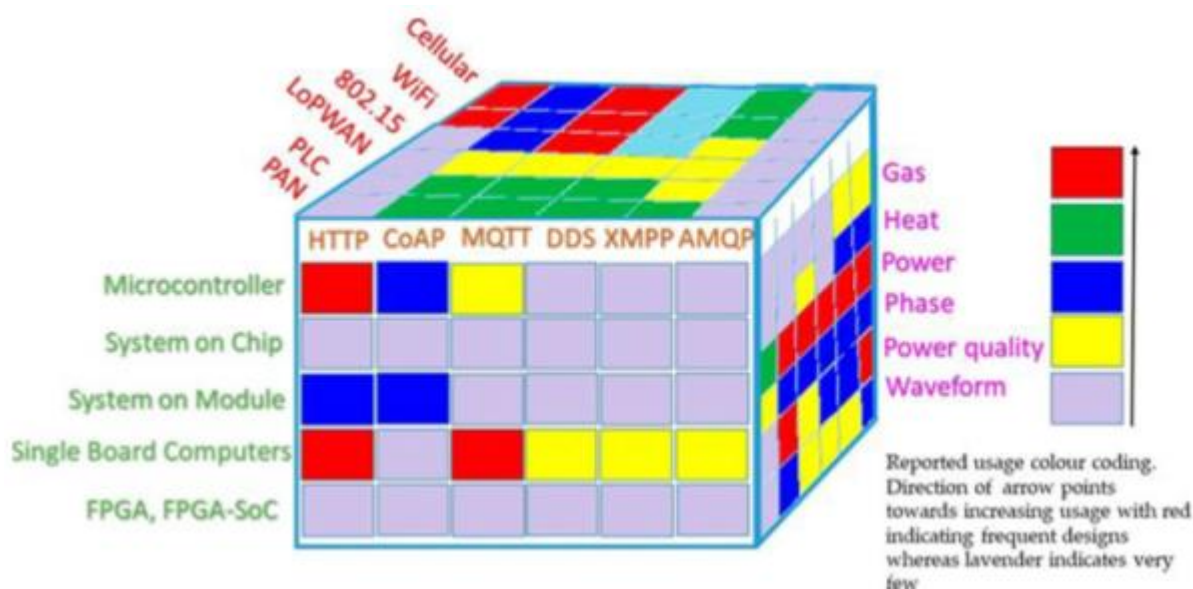


Рисунок 2.4 – Куб використання технологій IoT та телекомунікацій для розумних лічильників в концепції розумних енергомереж.

Телекомунікаційні технології забезпечують двосторонню передачу даних, інтеграцію децентралізованих джерел енергії, дистанційний контроль і управління мережею.

Телекомунікаційні технології, що використовуються в розумних енергомережах представлені нами в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Телекомунікаційні технології, що використовуються для моніторингу і тарифікації в розумних енергомережах (Smart Grid)

Технологія	Характеристика і застосування в Smart Grid
1	2
4G/LTE та 5G	<p>Забезпечують високу швидкість передачі даних і низьку затримку</p> <p>Ідеально підходять для забезпечення зв'язку між сенсорами, лічильниками й центральними системами управління</p> <p>5G пропонує значно більшу пропускну здатність, що дозволяє підключати тисячі пристроїв у реальному часі</p>
LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) мережі низької потужності	Передавання даних на великі відстані при низькому енергоспоживанні - для віддалених об'єктів (сонячні електростанції, системи моніторингу в сільській місцевості)
NB-IoT (Narrowband IoT)	<p>Оптимізована для Інтернету речей</p> <p>Забезпечує енергоефективну передачу даних у віддалених районах</p>
Wi-Fi	Забезпечує високі швидкості передачі даних, але має обмежену зону покриття
ZigBee	Створення локальних мереж, що використовуються для підключення сенсорів і лічильників в будинках
Оптоволоконні мережі	<p>Високошвидкісна передача великих обсягів даних</p> <p>Надзвичайна надійність і мінімальні затримки для магістральних з'єднань між великими об'єктами (електростанції, підстанції або центри управління)</p>

Продовження таблиці 2.1.	
1	2
Супутниковий зв'язок	Моніторинг та управління віддаленими або ізольованими об'єктами, де відсутня інфраструктура наземних мереж
PLC (Power Line Communication)	Передача даних через існуючі електричні лінії, де прокладка додаткових кабелів недоцільна
SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition)	Забезпечують збір і аналіз даних з розподілених об'єктів з використання дротові та бездротові канали зв'язку.

Для забезпечення ефективної роботи Smart Grid зазвичай використовується комбінація декількох технологій.

Так, в процесі моніторингу споживання електроенергії в реальному часі

- інтелектуальні лічильники передають дані про споживання через NB-IoT до центрального сервера
- сонячні панелі з'єднуються через LoRaWAN з центром управління для передачі даних про генерацію енергії
- SCADA-системи через оптоволоконний зв'язок керують обладнанням на підстанціях
- локальна мережа ZigBee в розумних будинках забезпечує зв'язок між сенсорами, лічильниками та центральним контролером
- централізована система аналізує дані та виявляє аномалії.

Таким чином, телекомунікаційні технології є критично важливим елементом розумних енергомереж, забезпечуючи обмін даними, координацію роботи всіх компонентів і інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Вибір

конкретної технології залежить від потреб, масштабу і специфіки регіону, де впроваджується Smart Grid.

### 2.3. Дослідження методів та засобів контролю споживання електроенергії та тарифікації в розумних енергомережах.

Розумні енергомережі забезпечують вдосконалений контроль споживання електроенергії та гнучкі механізми тарифікації завдяки інтеграції сучасних технологій вимірювання, аналізу та зв'язку. Це дозволяє оптимізувати використання енергоресурсів, зменшувати втрати і стимулювати споживачів до раціонального споживання. Глобальний контроль за виробництвом та споживанням електроенергії на протязі кожної доби в Україні показано на рис. 2.5 у вигляді графіку за 24.02.2021.

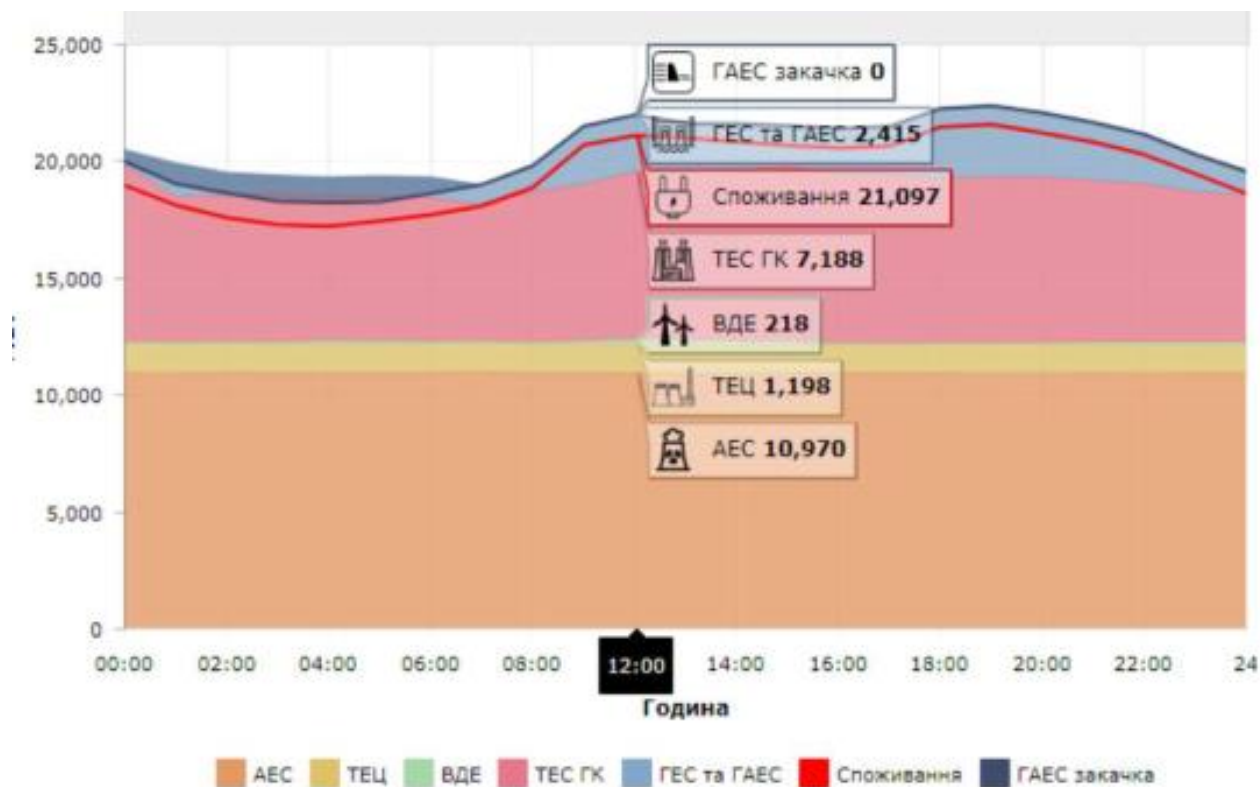


Рисунок 2.5 - Добовий графік споживання та генерації електроенергії в енергомережі України 24.02.2021 р.

Методи контролю споживання електроенергії формалізують поетапний процес контролю, який забезпечується наступними засобами.

1. Інтелектуальні лічильники (Smart Meters) ведуть точний облік споживання електроенергії в реальному часі та передають дані до енергопостачальника через телекомунікаційні мережі, що дозволяє контролювати споживання енергії на рівні кожного користувача.

2. Інтегровані програмні системи енергоменеджменту (Energy Management Systems, EMS) аналізують дані про споживання енергії, оптимізують її використання та дозволяють автоматично регулювати споживання відповідно до заданих параметрів.

3. Контроль пікових навантажень (Demand Response) використовує програми, які стимулюють споживачів знижувати споживання в періоди пікових навантажень за рахунок тарифікації або автоматичного обмеження потужності.

4. Системи моніторингу та аналізу даних виявляють аномалії у споживанні енергії, такі як перевитрати або втрати в мережі, а програми прогнозування допомагають планувати енергоспоживання.

5. Автоматизовані системи управління споживанням (Automatic Load Control) призначені для автоматичного відключення або регулювання енергоспоживаючих пристроїв у пікові періоди на рівні промислових об'єктів, комерційних будівель і домогосподарств.

Методи тарифікації електроенергії згруповані нами і представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Методи тарифікації електроенергії в розумних енергомережах

Метод тарифікації	Характеристики
Фіксована тарифікація (Flat Rate)	Єдина ціна за одиницю енергії протягом усього часу Проста, але не стимулює до енергоефективності
Тарифікація за часом використання (Time-of-Use Tariff, TOU)	Різні тарифи залежно від часу доби: Денні години: вищі тарифи через високий попит. Нічні години: нижчі тарифи через менший попит. Стимулює споживачів переносити використання енергії на години з нижчими тарифами
Динамічна тарифікація (Real-Time Pricing, RTP)	Тарифи змінюються в реальному часі залежно від ринкових умов або навантаження Споживачі отримують дані про зміну тарифів через інтелектуальні лічильники або мобільні додатки
Тарифікація за споживанням (Tiered Pricing)	Розділення споживання на рівні: Базовий рівень: низький тариф. Вищий рівень: підвищений тариф для споживання, яке перевищує певний ліміт. Стимулює економію енергії
Зелена тарифікація (Green Tariff)	Окремі тарифи для споживачів, які використовують енергію з відновлюваних джерел. Підтримує екологічно чисту генерацію
Тарифікація за попит (Demand-Based Pricing) та Стимулююча тарифікація (Incentive-Based Tariff)	Вартість енергії залежить від максимального попиту споживача за певний період. Забезпечує знижки для споживачів, які знижують енергоспоживання в пікові години

Для реалізації процесів контролю та тарифікації використовуються наступні інструменти.

- Мобільні додатки для споживачів типу «Енергетика Онлайн», «Мережі Онлайн» та інші для надання інформації про поточне споживання та тарифи, що дає можливість планувати енергоспоживання з метою зменшення витрат.

- Платформи управління енергією, наприклад, SCADA/DMS SYNDIS RV польської фірми Mikronika, EcoStruxure Power SCADA Operation компанії

Schneider Electric, які дозволяють енергокомпаніям віддалено регулювати потужність і змінювати тарифи в реальному часі.

- Інтелектуальні пристрої, наприклад, «Розумні» термостати, освітлення, побутова техніка, які автоматично оптимізують споживання енергії.
- Алгоритми прогнозування та спеціалізоване програмне забезпечення, яке використовує історичні дані для визначення пікових навантажень і адаптації тарифів.

Перелічені вище методи і засоби контролю та тарифікації забезпечують економію ресурсів за рахунок оптимізації споживання енергії та зменшення втрат; екологічність при інтеграції відновлюваних джерел енергії; економію фінансів з можливістю для споживачів зменшувати витрати на електроенергію; гнучкість для енергокомпаній з можливістю ефективного управління навантаженнями та мінімізацією ризиків перевантаження мережі; розширення клієнтської бази через надання інформації про тарифи та споживання, що сприяє свідомому використанню енергії.

Методи контролю споживання електроенергії та тарифікації в розумних енергомережах спрямовані на створення ефективної, стабільної та екологічної енергосистеми. Інтеграція інноваційних рішень дозволяє як споживачам, так і енергокомпаніям досягати фінансових вигод, оптимізувати використання ресурсів і зменшувати вплив на навколишнє середовище.

Серед засобів контролю та тарифікації виділяється своїми характеристиками вимірювальний комплекс (див. рис. 2.6).





Рисунок 2. 6 - Вимірювальний комплекс моніторингу та контролю генерації та споживання електроенергії в розумній енергомережі.

## РОЗДІЛ 3

### АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТАРИФІКАЦІЇ В РЕГІОНАЛЬНІЙ РОЗУМНІЙ ЕНЕРГОМЕРЕЖІ АПК

#### 3.1. Структурна схема пропонованої системи моніторингу та тарифікації електроенергії

Збільшення кількості енергоспоживаючих пристроїв, таких як побутова електроніка, та розширення виробничих потужностей у всьому світі спричиняють зростання попиту на електроенергію та цін на неї. Державні служби мають труднощі з підтриманням енергетичного балансу. Ці проблеми можна вирішити шляхом швидкої трансформації традиційної електромережі в інфраструктуру "розумних мереж" (smart grid, SG). Розумні лічильники (SM) є важливим компонентом SG і виконують життєво важливі завдання. У цьому розділі розроблено SM на основі Інтернету речей (IoT), який може досягати високої швидкості передачі даних 38 400 біт/с, використовуючи SQL Server для зберігання даних і двонаправленої передачі даних. Таким чином, споживачі можуть відстежувати своє енергоспоживання щогодини, щодня та щомісяця, дізнаватися, скільки вони витратили на споживання, та отримувати попередження про відключення електроенергії. Для всіх цих цілей у структуру SM інтегровано нечітку систему та програмне забезпечення для мобільних додатків. Вважається, що розроблений пристрій значно сприятиме поширенню серед користувачів завдяки всім цим функціям.

Розумна мережа (PM) - це нова ера традиційних електромереж, яка використовує багато пристроїв, таких як комп'ютери, датчики, різні форми комунікаційних технологій і методи аналізу даних для з'єднання споживачів і постачальників за допомогою двостороннього зв'язку, одночасно підвищуючи ефективність, надійність, безпеку, гнучкість і захищеність системи. Однак

встановлення SG коштуватиме мільярди доларів. За даними Інституту досліджень електроенергетики, повністю функціональний SG у США коштуватиме від 338 до 476 мільярдів доларів. На додаток до технічної точки зору, швидка модернізація світу в останні роки призвела до збільшення споживання електроенергії та попиту на SG. Збільшення викидів та зміна клімату, безпека енергопостачання та зростання цін на паливо також вимагають від SG покращення енергоменеджменту в глобальному масштабі.

Розумні лічильники (Smart meters (SMs)) - це вимірювальні пристрої, які виконують багато критично важливих завдань, таких як запис даних, двосторонній потік даних, управління з іншими вихідними пристроями. Лічильники мають багато застосувань і рішень у таких галузях, як нафта, вода, опалення, а також електроенергетика. Управління виробництвом електроенергії та синхрофазорами електропідстанцій, побутові інтелектуальні системи обліку, включаючи воду та природний газ, можна вважати одними з основних сфер застосування МС. Вони ефективно використовують комунікаційні, електричні, електронні та комп'ютерні технології для успішного виконання багатьох операцій, таких як запис, обробка та надсилання даних.

Розумні лічильники (SM) є одним з найважливіших компонентів інфраструктури розумних енергомереж і впливає на динамічне ціноутворення на електроенергію. Для розгортання "розумних" лічильників комунальні підприємства мають певні вимоги до функціональності "розумних" лічильників. Ці мінімальні функціональні можливості, такі як динамічне ціноутворення, двосторонній зв'язок, дистанційне обслуговування, відключення, встановлюються місцевими регуляторними органами. SG характеризується двостороннім потоком інформації та електроенергії, і оскільки ця технологія продовжує розвиватися і стає все більш поширеною в повсякденній діяльності, вона набуває все більшого поширення. Основою ретрансляції пакетів SG є двостороння інфраструктура зв'язку, провідна або безпроводна.

Інтелектуальний облік є критично важливим компонентом SG, який інтелектуально з'єднує операторів комунальних послуг зі споживачами та розподільчими мережами. За допомогою SM споживачі можуть мати інформацію про дані споживання, базові пікові ціни, звіти про відключення, енергоефективні архітектури та дистанційне керування лічильниками. SM також дозволяє комунальним підприємствам відслідковувати події, пов'язані з експлуатацією та безпекою, а також збирати дані про якість електроенергії та профіль навантаження протягом певного періоду часу. Використання SM допоможе застосувати різні підходи та алгоритми для зниження рахунків за електроенергію, що відповідають тарифам за час користування, встановленим енергопостачальною компанією, та іншим обмеженням. Коли тарифи за час користування поєднуються з прийняттям відповідних алгоритмів управління, довіра споживачів до споживання енергії зростає, споживання енергії та витрати зменшуються, покращуючи таким чином технічні показники. Структурна схема запропонованої системи моніторингу показано на рисунку 3.1. та її особливості функціонування на рисунку 3.2.

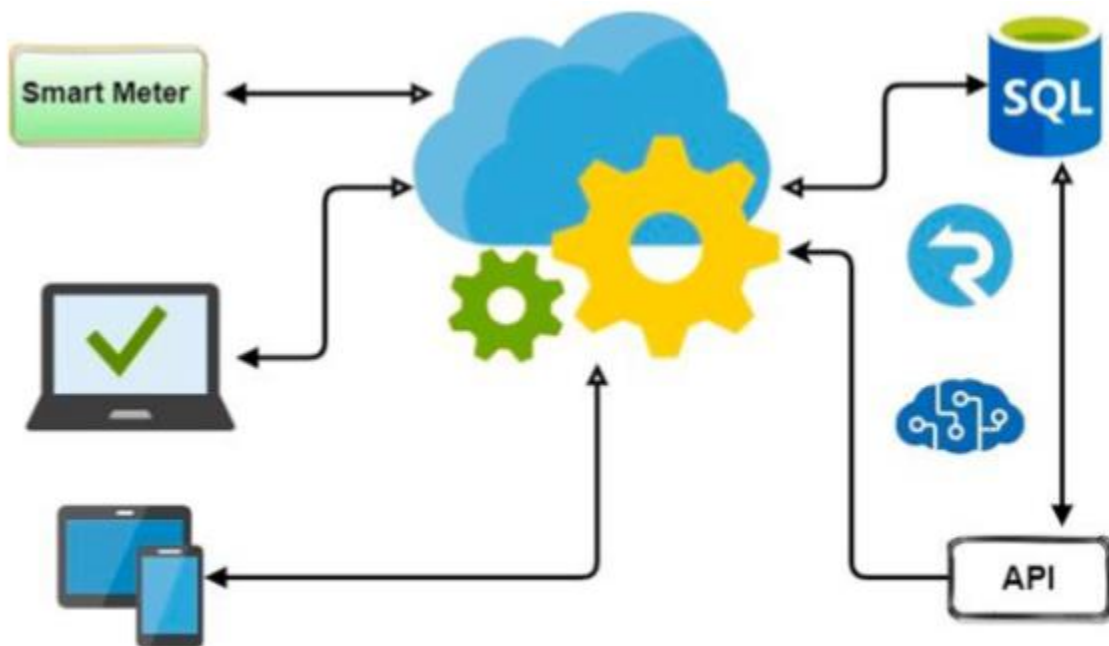


Рисунок 3.1 - Структурна схема запропонованої системи моніторингу



Рисунок 3.2 - Особливості запропонованого SM щодо раціоналізації енергоспоживання

Відповідно до алгоритму, представлено на рис. 3.3 (а), дані з SM передаються до бази даних через API, розраховується вартість споживання та збережені дані. За цим розрахованим значенням споживання користувач інформується про те, що відбудеться відключення або фіксується перевищення встановленого ліміту. Для цих повідомлень використовуються як мобільні та веб-додатки, так і SMS-повідомлення.

На рис. 3.3 (б) представлено потоки енергії та інформації в енергосистемі та кінцеві пристрої для моніторингу.

В даній роботі представлено розробку та реалізацію нового інтелектуального лічильника електроенергії на основі IoT. Розроблений в роботі SM забезпечує інтерактивну систему обліку енергії, яка допомагає вимірювати споживання електроенергії споживачем та надсилає його до бази даних на зовнішньому сервері. Фінансова вартість споживання розраховується відповідно до тарифів за час використання, визначених енергопостачальною компанією. Дані про споживання та витрати зберігаються для користувача на погодинній, щоденній та щомісячній основі.



а)



б)

Рисунок 3.3 - Алгоритм та схема роботи моніторингової системи (а), потік енергії та інформації в системі (б)

Система також має веб-сайт та мобільний додаток, які надають миттєві дані про енергоспоживання та витрати з використанням технології SignalR. За допомогою хмарного додатку Twilio в системі користувачеві надсилається попередження про переривання послуги в мобільному додатку та телефоні за допомогою SMS-повідомлення.

### **3.2. Розробка прототипу розумного лічильника електроенергії на основі IoT рішень**

Архітектура системи, всі програмні та апаратні компоненти розробленої системи наведені на рис. 3.1. Система допомагає споживачам регулювати свою поведінку споживання, надаючи їм можливість визначати вартість запропонованого рахунку за поточний місяць та розраховувати відсоток своїх витрат на електроенергію. Це досягається шляхом включення кількості витрат на споживання в суму грошей, визначену для споживання користувачем протягом місяця, і шляхом включення відсотка часу споживання, включаючи кількість днів споживання, в дні місяця. Якщо відсоток витрат зростає швидше, ніж нормальний час споживання, користувачеві надсилається повідомлення про дисбаланс, що попереджає клієнтів про необхідність регулювати своє споживання.

Запропонована система використовує штучний інтелект і машинне навчання (ML) для прогнозування споживання на основі даних про споживання, що відображають щоденну, щотижневу та щомісячну поведінку користувача, використовуючи бібліотеку Microsoft ml.net і часові ряди в процесі прогнозування. У дослідженні робиться спроба знайти рішення для раціоналізації енергоспоживання шляхом побудови розумного лічильника SM.

Структурну схему та прототип розробленого SM показано на рисунках 3.4. – 3.5.

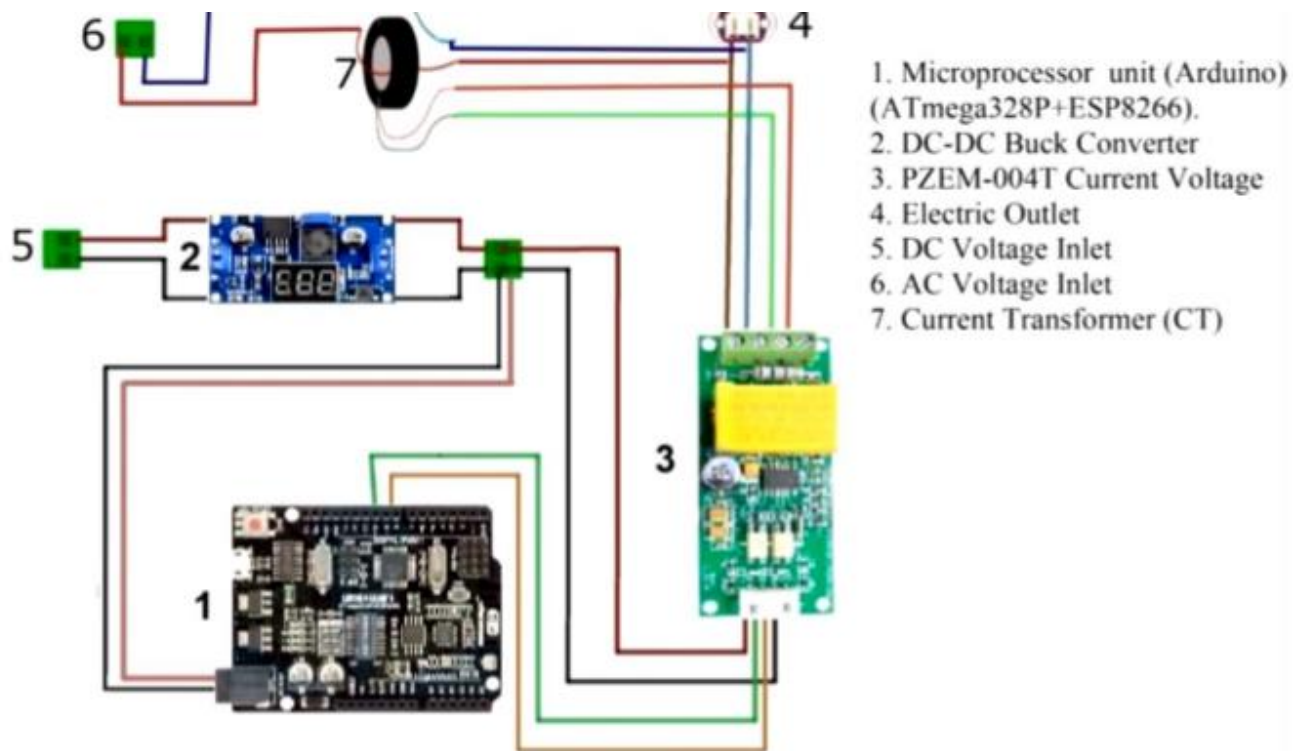


Рисунок 3.4 – Приципова схема розробленого розумного лічильника електроенергії SM.



Рисунок 3.5. Прототип розробленої системи моніторингу та тарифікації електроенергії в режимі реального часу



На відміну від аналогічних конструкцій, для вимірювання струму, напруги та кількості спожитої енергії в SM використовується один модуль PZEM-004T (див. рис. 3.6).

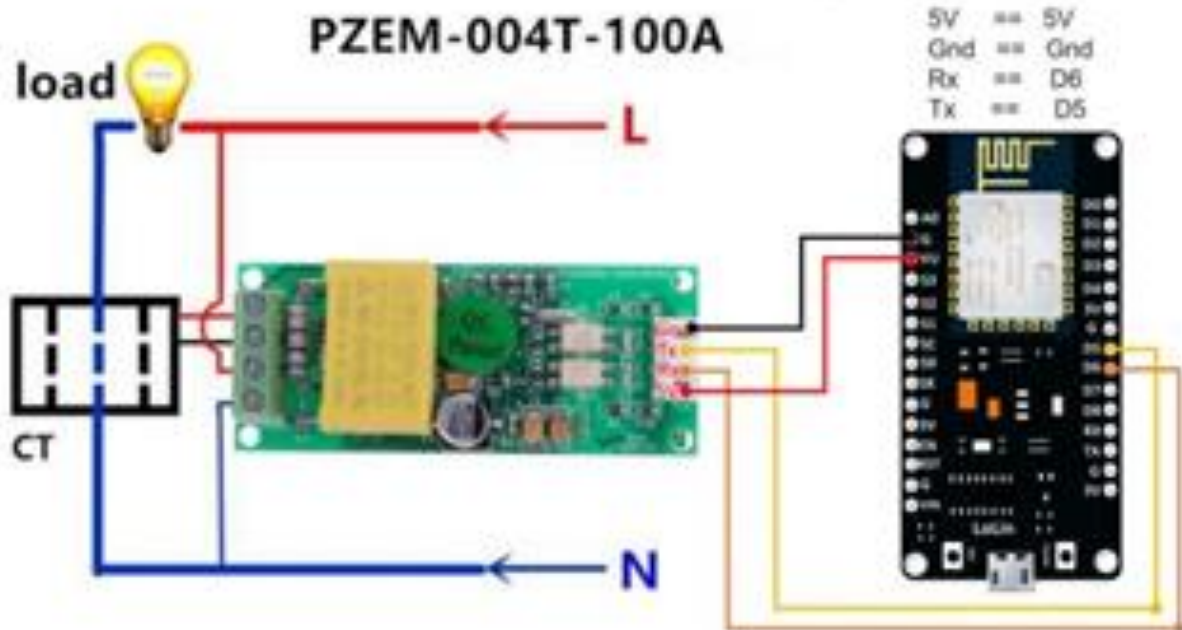


Рисунок 3.6 - Модуль PZEM-004T для вимірювання струму, напруги та кількості спожитої енергії в SM.

Цей модуль використовується як електричний датчик для вимірювання споживаної потужності. Модуль видає результати вимірювань в цифрових кодах з трізначною роздільною здатністю через універсальний асинхронний інтерфейс приймача/передавача (UART). Результатами вимірювань є значення напруги, струму, потужності та енергії, що мають одиниці виміру у вольтах, амперах, ватах та кіловат-годинах відповідно. Arduino отримує миттєві дані і накопичує їх протягом певного періоду, перш ніж відправити їх на сервер (SQL Server) за допомогою API-сервісу через Інтернет та Wi-Fi модуль ESP8266.

Wi-Fi модуль ESP8266 - це автономний мікроконтролер з інтегрованим стеком протоколів TCP/IP, який може надати будь-якому мікроконтролеру доступ

до нашої Wi-Fi мережі. ESP8266 може розміщувати додаток або отримувати всі функції мережі Wi-Fi від іншого процесора додатків. Модуль ESP8266 поставляється з попередньо запрограмованою прошивкою з набором інструкцій AT, що означає, що ми можемо підключити його до платформи Arduino і отримати стільки ж можливостей Wi-Fi, скільки пропонує Wi-Fi Shield. Підключивши цей модуль до мережі Wi-Fi, ми створили TCP/IP-з'єднання з командами в стилі Hayes. Таким чином, ми забезпечуємо передачу даних, можливу через мережу Wi-Fi в тому середовищі, де знаходиться SM.

З накопиченням, розмір отриманих даних в SQL Server буде зменшуватися. DC buck перетворювач знижує напругу постійного струму до 5 В. Це значення також необхідне для роботи Arduino та PZEM-004T. Трансформатор струму (ТС) використовується з PZEM, коли струм навантаження перевищує 10 А. Діапазон вимірювання струму PZEM без ТС становить 0-10 А, з використанням ТС- 0-100А.

Інтерфейс прикладного програмування (API). IoT підключається до інтернету, безперервно отримуючи та надсилаючи дані. Датчики забезпечують взаємодію цифрового та фізичного світів, збираючи інформацію, яку потрібно зберігати та обробляти. Дані обробляються на віддаленому сервері або в хмарі. API - це набір правил, розпоряджень і протоколів, які містять стандарти, що розглядаються як посередник між двома взаємопов'язаними операційними системами та обмін інформацією між клієнтом і сервером. Основний API asp.net від Microsoft використовується для передачі даних до бази даних, щоб захистити їх, оскільки IoT підключається до API, не знаючи бази даних або її типу. API відповідає за передачу даних до бази даних, що дозволяє змінювати тип бази даних або хмарних сховищ, не впливаючи на IoT. Дані, що надходять до API через Інтернет, включають в себе спожиту енергію та номер пристрою, а також дані надсилаються до бази даних SQL Server для обробки. API надає можливість миттєвого перегляду даних за допомогою бібліотеки SignalR від Microsoft. Ця

технологія дозволяє веб- та мобільним додаткам отримувати дані миттєво, без необхідності запитувати дані з сервера.

Оскільки електропостачальна компанія визначає пріоритети споживання та пікові періоди, дані зберігаються, обробляються та аналізуються на зовнішньому сервері. Крім того, дані, що зберігаються на зовнішньому сервері, аналізуються, а результати надсилаються компанії та користувачеві, і між компанією та користувачем встановлюється зв'язок. Обидві сторони отримують вигоду від даних і можливості доступу до них та надсилання повідомлень з будь-якого місця через Інтернет. Ці операції не можуть бути виконані, якщо дані зберігаються тільки в мікроконтролері.

API надає можливість миттєво відобразити дані за допомогою Microsoft SignalR, бібліотеки з відкритим вихідним кодом. Ця технологія дозволяє веб- та мобільним додаткам отримувати дані в реальному часі негайно і без запиту даних з сервера, дозволяючи користувачеві переглядати поточні дані про споживання безпосередньо. Концептуальна архітектура та прототип системи реального часу наведено на рисунку 3.5 та рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Концептуальна архітектура системи моніторингу споживання електроенергії та системи сповіщення в розумній енергомережі.

Приципова схема розробленої системи моніторингу та контролю енергоспоживання показана на рисунку 3.8.

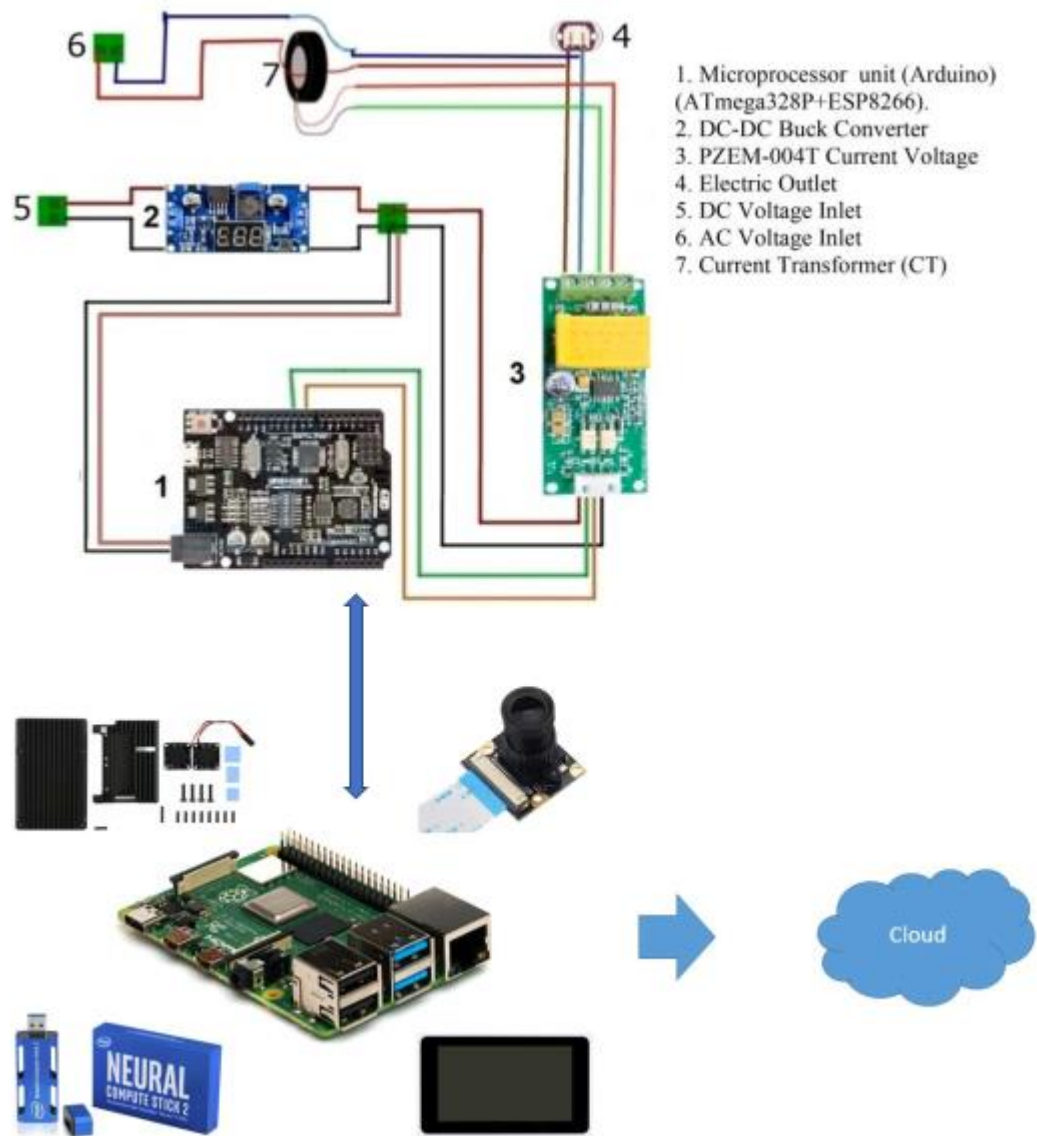


Рисунок 3.8. Приципова схема розробленої системи моніторингу та контролю енергоспоживання.

Оренда хмарного сервісу використовується для зберігання та обробки великого обсягу даних про енергоспоживання в режимі реального часу. Це дозволяє користувачам моніторити та управляти своїм енергоспоживанням

віддалено через інтернет, отримуючи зручний доступ до аналітичних звітів та рекомендацій для оптимізації використання електроенергії.

Розроблена блок-схема бази даних та алгоритм роботи запропонованої системи представлена на рисунок. 3.9.

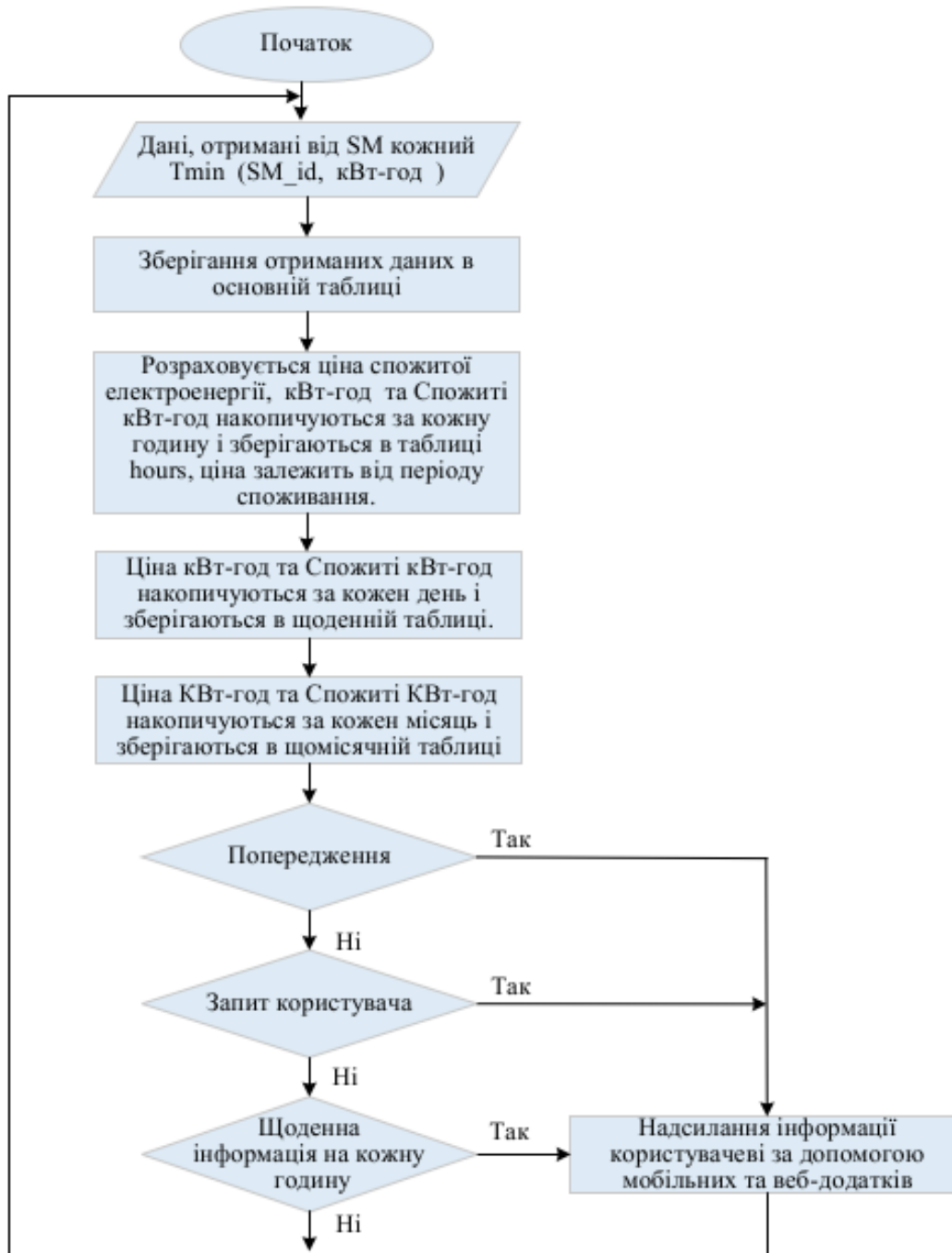


Рисунок 3.9. Блок-схема бази даних та алгоритм роботи запропонованої системи моніторингу і сповіщення в розумній енергомережі

Програмне забезпечення, а саме використання інтерфейсу прикладного програмування (API) використовується для передачі даних до бази даних, що забезпечує гнучкість та можливість зміни типу бази даних чи хмарних сховищ без впливу на IoT. Використання технології SignalR дозволяє миттєво отримувати дані в реальному часі, що є ключовим для інформування користувачів та електропостачальних компаній про поточний стан системи

### **3.3. Оцінка системи моніторингу та тарифікації електроенергії для Розумних енергомереж**

Дані, що надходять з розумного лічильника SM наведені в таблицях 3.1 - 3.6. Частина отриманих даних та збережених за допомогою API в базі даних SQL Server, наведена в табл. 3.1.

Дані містять ідентифікатор пристрою, кількість спожитої енергії та час запису в базу даних та отримуються від SM кожні 5 хвилин. Ідентифікатор пристрою - це унікальний номер кожного пристрою, який не повторюється в базі даних з метою зберігання даних кожного пристрою. Кожен будинок має свій власний номер пристрою, і споживання розраховується для будинку, а не для кожного електроприладу. Кожне споживання можна відстежити, пов'язавши ім'я та дані споживача з ідентифікатором пристрою. Нарешті, номер пристрою прив'язується до імені та адреси користувача. Спочатку використовували два пристрої, а потім зосередилися на одному пристрої для всього будинку. Після отримання даних з декількох пристроїв одночасно, отримано багато даних про споживання, і ці дані розрізняються за номером пристрою.

Таблиця 3.1. Основні дані про споживання між ідентифікаторами 15 та 25

Id	ID пристрою	КВт-год	Дата_Час
15	10	0.014000002	2022-06-01 14:32:00
16	10	0.013000002	2022-06-01 14:37:00
17	10	0.009000001	2022-06-01 14:42:00
18	10	0.006000001	2022-06-01 14:47:00
19	10	0.008000001	2022-06-01 14:57:00
20	10	0.014000002	2022-06-01 15:02:00
21	10	0.014000002	2022-06-01 15:07:00
22	10	0.013000002	2022-06-01 15:16:00
23	10	0.014000002	2022-06-01 15:21:00
24	10	0.014000002	2022-06-01 15:26:00
25	10	0.013000002	2022-06-01 15:31:00

Таблиця 3.2. Таблиця цін відповідно до кожного періоду доби

Id	Період від	Період до	Ціна (грн.)
1	06:00:00	16:59:59	2.7
1004	17:00:00	21:59:59	4.32
1005	22:00:00	23:59:59	2.16
1006	00:00:00	05:59:59	2.16

Таблиця 3.3. Погодинне споживання та ціна між Id 1 та Id 10

Id	ID пристрою	Всього (КВт-год)	Дата	Ціна (грн.)
1	11	15	1.06.2022 13:00	25.500
2	10	0.086	1.06.2022 13:00	0.147
3	10	0.094	1.06.2022 14:00	0.159
4	10	0.108	1.06.2022 15:00	0.183
5	10	0.109	1.06.2022 16:00	0.187
6	10	0.102	1.06.2022 17:00	0.253
7	10	0.029	1.06.2022 18:00	0.072
8	10	0.022	1.06.2022 22:00	0.024
9	10	0.116	1.06.2022 23:00	0.122
10	10	0.086	1.06.2022 13:00	0.147

Таблиця 3.4. Щомісячні дані споживання та ціна пристроїв Id 11 та Id 10.

Id	ID пристрою	Всього (КВт-год)	Дата	Рік місяць	Ціна
1	11	60.330	1.06.2022	2022_06	74.004
2	10	18.082	1.06.2022	2022_06	29.827

За допомогою тригера SQL Server обчислює вартість споживання на основі екрану цін, який визначає ціну кожного періоду з певної ціни, як показано в таблиці 3.2. Тригер реєструє дані за кожну годину, день і місяць на екранах години, дня і місяця. Таким чином, дані про споживання можна використовувати разом з фінансовими витратами на початкове споживання на погодинній, денній та місячній основі, як показано в табл. 3.3-3.4 відповідно. Знімки екранів в базі даних також показано на рисунку 3.10 та рисунку 3.11.



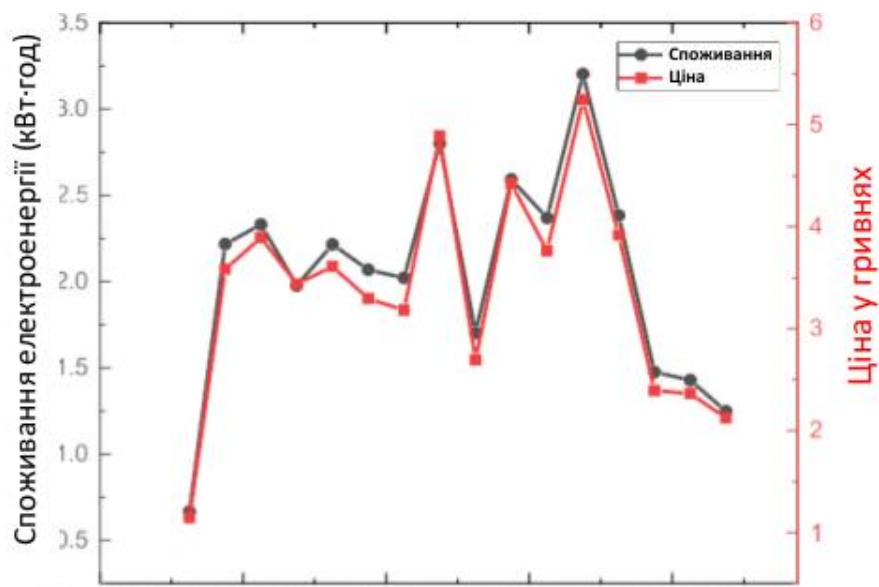


Рис. 3.10. Графік подовгової залежності ціни від спожитої енергії

Для безпеки користувачів та реєстрації в системі було розроблено SM-інтерфейс. Після входу в систему користувач може отримати доступ до підсумкових даних за цей місяць і суми споживання в грошовому еквіваленті, а також до відсотка від суми, витраченої користувачем за цей місяць.

Система SMS включає в себе функцію надсилання SMS-повідомлень для попередження у разі настання певної події. Перше SMS-повідомлення надсилається користувачеві у разі відключення електроенергії. Друге SMS-повідомлення стосується лімітів споживання. Воно надходить раз на день і попереджає користувача про перевищення встановленого ліміту споживання на цей місяць, щоб користувач міг раціоналізувати споживання енергії та заощадити кошти.

Користувачі можуть скористатися перевагами мобільних технологій та веб-додатків у розробленому SM. Інтерфейс мобільного додатку дозволяє користувачеві стежити за споживанням електричної енергії та сумами понесених витрат. Вхід здійснюється через ім'я користувача та пароль.



Рисунок 3.11. Графік добового споживання та вартості електроенергії

Зауважимо, що однією з проблем, з якою стикаються електророзподільні компанії, є несправність приладів обліку електроенергії. У такому випадку необхідна інформація про час виходу з ладу, місцезнаходження вимірювального приладу, а також про те, чи був прилад переміщений чи ні. Розроблена інтелектуальна система вимірювання забезпечує вирішення цих проблем засобами геолокації.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1. Нормативно-правова база з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

Національна система нормативно-правових актів України з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях включає в себе закони, постанови, накази та інші акти, які регулюють права та обов'язки працівників і роботодавців щодо забезпечення безпечних умов праці і захисту від надзвичайних ситуацій. Ось декілька основних нормативно-правових актів у цій галузі:

Закон України "Про охорону праці" (від 14 грудня 1992 року № 2694-ХІІ) - цей закон встановлює загальні принципи та вимоги щодо охорони праці в Україні.

Закон України "Про надзвичайні ситуації та станом надзвичайної ситуації" (від 21 грудня 1992 року № 2693-ХІІ) - цей закон регулює організацію та управління діяльністю в галузі захисту населення та територій від надзвичайних ситуацій.

Закон України "Про цивільний захист" (від 5 лютого 1993 року № 3206-ХІІ) - цей закон визначає порядок організації цивільного захисту та заходи щодо захисту населення від надзвичайних ситуацій.

Закон України "Про працю" (від 10 грудня 1971 року № 322-VІІІ) - цей закон встановлює основні права та обов'язки працівників і роботодавців, включаючи вимоги до охорони праці та безпеки на робочому місці.

Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Порядку розслідування нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань" (від 23 жовтня 1996 року № 1248) - ця постанова визначає процедуру розслідування нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань.

Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Положення про організацію та проведення заходів з охорони праці" (від 10 грудня 2003 року № 1913) - ця постанова встановлює загальні вимоги до організації та проведення заходів з охорони праці в підприємствах та організаціях.

Накази Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) та інших відповідних органів, які регулюють конкретні аспекти безпеки та охорони праці в різних сферах діяльності.

Це лише загальні приклади нормативно-правових актів, які стосуються охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в Україні. При вирішенні конкретних питань, пов'язаних з цими питаннями, важливо враховувати чинне законодавство та консультуватися з фахівцями з охорони праці та безпеки.

#### **4.2. Основні фактори, які мають бути враховані при організації охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях для Автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК**

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях важливі в контексті сертифікації медіа-ресурсів, оскільки забезпечення безпеки робочого середовища та готовності до можливих надзвичайних ситуацій є основними аспектами в управлінні ризиками. Основними факторами, які мають бути враховані при організації охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях для процесів сертифікації медіа контенту є наступними:

- визначення та розробка процедур охорони праці для працівників, що працюють у сфері сертифікації медіа-ресурсів
- навчання персоналу щодо правил та процедур безпеки
- оцінка та управління ризиками для ідентифікації потенційних небезпек та розробка стратегій їх управлінням
- визначення заходів безпеки та проактивна реакція на ризики

- розробка та впровадження планів надзвичайних ситуацій для випадків, таких як пожежі, аварії, природні катастрофи та інші небезпечні події
- тренування персоналу щодо ефективного реагування на надзвичайні ситуації
- регулярна перевірка та технічне обслуговування обладнання, яке використовується в процесі сертифікації
- забезпечення безпеки робочого середовища, включаючи вентиляцію, освітлення та інші параметри
- впровадження заходів забезпечення безпеки персональних даних, оскільки у процесі сертифікації може використовуватися чутлива інформація
- регулярне навчання персоналу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях
- створення системи навчання та тестувань для перевірки реакції персоналу на різні сценарії розвитку подій ризику
- визначення та впровадження процедур, що забезпечують безпеку під час сертифікації медіа-ресурсів, зокрема при використанні спеціалізованого обладнання
- установлення контактів та механізмів співпраці з екстреними службами та організаціями надзвичайного реагування
- розробка планів відновлення діяльності та відновлення робочого процесу після надзвичайних ситуацій
- впровадження та дотримання стандартів безпеки та регуляцій, які стосуються галузі медіа-ресурсів.

Запропоновані заходи сприяють створенню безпечного та здорового робочого середовища для тих, хто займається сертифікацією медіа-ресурсів, та допомагають зменшити ризики в надзвичайних ситуаціях.

**РОЗДІЛ 5**  
**РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ**  
**АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТАРИФІКАЦІЇ В РЕГІОНАЛЬНІЙ**  
**РОЗУМНІЙ ЕНЕРГОМЕРЕЖІ АПК**

**5.1. Економічний аналіз Автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК**

Експлуатаційні витрати за один рік враховуючи, що потрібна лише оренда хмарної інфраструктури складатиме:

$$C = 6000 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1. Експлуатаційні витрати

Витрати на експлуатацію приміщення для розміщення апаратного комплексу:	Вартість за місяць, грн (з врахуванням ПДВ)
Витрати на оренду приміщення	<i>* Знаходиться у власності підприємства</i>
Витрати на користування послугами глобальних обчислювальних мереж	<i>* Підключення до мережі підприємства</i>
Оренда хмарної інфраструктури	
За 1 місяць:	500 грн
За 1 рік:	6 000 грн

Оскільки розглянутий проект - довгостроковий, виконаємо розрахунки на кілька років вперед і впишемо у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2. Розрахунки на 5 років

Розрахунок по роках	2024	2025	2026	2027	2028	Загальна сума витрат:
Розрахунок експлуатацій-них витрат, грн (з врахуванням	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	30 000

Використання методів на основі штучного інтелекту для реалізації систем моніторингу енергоспоживання може бути ефективним рішенням, яке може принести значні користі у енергетичні галузі, що підтвердили розрахунки, адже незважаючи на капітальні та експлуатаційні витрати, оскільки використання штучного інтелекту забезпечує високу точність прогнозування, що може позитивно вплинути на продуктивність та ефективність діяльності підприємства. Проведений економічний аналіз показав, що реалізація макету системи моніторингу доцільна, адже термін окупності становитиме 2 місяці.

Щоб спростити розрахунки не було враховано варіанти оренди системи та придбання оброблених та зібраних даних для додаткової аналітики, а також можливість окремої реалізації програмного забезпечення, що впливало б на термін окупності позитивно

## **5.2. Розрахунок терміну окупності Автоматизованої системи тарифікації в регіональній розумній енергомережі АПК**

Припустимо, що даний макет підсистеми моніторингу енергоспоживання продається у кількості 10 штук у місяць з прибутком у 5%. Для спрощення розрахунків, не беремо до уваги можливість оренди системи, а також купівлю зібраних та проаналізованих даних. Відповідно, дохід від впровадження системи

буде становити:

$$D_{\text{міс}} = 800 \text{ грн.} \cdot 10 \text{ шт.} = 8\,000 \text{ грн.} \quad (5.1)$$

$$D_{\text{міс}} = D_{\text{міс}} \cdot 12 = 9\,6000 \quad (5.2)$$

Таким чином, термін окупності становитиме:

$$T_{\text{ок}} = \frac{16\,5}{D_{\text{міс}}} = 2 \text{ місяці} \quad (5.3)$$

Відповідно, можна зробити висновок, що реалізація даного макету доцільна.



## ВИСНОВКИ

Розроблено систему, яка може контролювати енергію, спожиту споживачами, відправляти інформацію про споживання в базу даних, миттєво відображати її користувачеві через веб та мобільні додатки, давати можливість користувачеві визначати грошовий еквівалент місячного споживання та відслідковувати витрачену суму. Пристрій також попереджає користувача, якщо загальна сума споживання перевищує рекомендовану грошову суму. Різноманітні графіки дозволяють користувачеві переглядати обсяги споживання за місяцями, днями та годинами доби, а також прогнозувати майбутнє споживання. Розроблений SM рекомендується як вимірювальна інфраструктура в Smart Grid з унікальними розширеними можливостями.

У роботі проведено аналіз щодо інтеграції інформаційно-комунікаційних технологій та Smart Grid. Визначено актуальність впровадження передових інформаційних технологій для оптимізації функціонування електромереж. Особлива увага приділена впливу систем інтелектуального вимірювання електроенергії та безпроводних сенсорних мереж, які не лише забезпечують збір і обробку даних в режимі реального часу, але й здійснюють автоматизоване управління енергетичними системами. Висвітлено роль цифрових платформ, таких як енергетичний РІоТ, у створенні інтегрованих електромереж, що використовують великі дані та штучний інтелект для глибокого аналізу та інтелектуального управління. Підкреслено, що ця інтеграція призводить до підвищення надійності та ефективності електромереж, роблячи їх гнучкими та стійкими до змін. Таким чином, досліджено та обґрунтовано інноваційні підходи в енергетичному секторі, спрямовані на створення більш стійких, ефективних та інтелектуальних систем електропостачання, що відповідають вимогам сучасного розвитку сталої та стійкої енергетики.

Досліджено впровадження Інтернету речей (IoT) в «розумних» електромережах, розглядаючи його різні аспекти. Перший аспект, присвячений впливу IoT на рівень генерації, розкриває необхідність новаторських підходів, особливо у контексті використання вітрової та сонячної енергії. Встановлено, що IoT відіграє ключову роль у підвищенні керованості та моніторингу системи, забезпечуючи більш гнучкий графік генерації та сприяючи взаємодії відновлюваних джерел з енергетичними сховищами в режимі реального часу. Другий аспект стосується рівня передачі, де впровадження IoT покращує спостережливість за лініями, забезпечуючи кращий моніторинг мережі електропередач та підвищуючи безпеку операцій. Це важливо для ефективного управління ситуаціями надзвичайних ситуацій за допомогою автоматичних контролерів, обладнаних технологією IoT. Третій аспект розглядає вплив IoT на рівень розподілу в активних розподільчих мережах, мікромережах, "розумних" містах та будівлях, а також в контексті промислової цифровізації (IIoT).

Досліджено процес управління навантаженням для оптимального використання сонячної енергії. Зазначено, що однією з ключових стратегій оптимізації навантаження є розуміння профілю споживання, яке можна отримати за допомогою програм моніторингу сонячної системи. Використання таймерів для зміщення робочого часу навантаження на період високої сонячної генерації є ефективним способом максимізації використання сонячної енергії та мінімізації імпорту з електромережі. Після докладного аналізу графіків споживання та виробництва енергії системи, продемонстровано оптимізований сценарій, де навантаження ефективно живиться від сонячної енергії та акумуляторів, забезпечуючи стійку та витратоекономну роботу системи. Все це спрямовано на максимізацію рентабельності інвестицій та зменшення витрат на комунальні послуги.

Розроблено систему для моніторингу та управління енергоспоживанням, яка автоматично фіксує дані про споживання енергії користувачами, передає цю

інформацію до бази даних та надає користувачам можливість відслідковувати та аналізувати свої витрати через веб-інтерфейс та мобільні додатки. Система також надає можливість користувачам визначати грошовий еквівалент свого місячного споживання енергії та отримувати сповіщення, якщо загальні витрати перевищують рекомендовані значення. Крім того, розроблений пристрій генерує різноманітні графіки, які дозволяють користувачам аналізувати обсяги споживання енергії за різними періодами часу, а також прогнозувати майбутні витрати. Рекомендується використовувати цю систему як важливий елемент вимірювальної інфраструктури в Smart Grid, зокрема за умови її унікальних та розширених можливостей.

Для подальших досліджень, оскільки кількість даних з часом збільшується, час відгуку обладнання та затримки в передачі даних можуть змінюватися, і це слід оцінити за допомогою довгострокових даних

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ahmed, S., Lee, Y., Hyun, S.-H., and Koo, I. (2019). Unsupervised Machine Learning-Based Detection of covert Data Integrity Assault in Smart Grid Networks Utilizing Isolation forest. *IEEE Trans. Inform. Forensic Secur.* 14, Pp. 2765-2777. doi:10.1109/TIFS.2019.2902822
2. Akerele, M., Al-Anbagi, I., and Erol-Kantarci, M. (2019). A Fiber-Wireless Sensor Networks QoS Mechanism for Smart Grid Applications. *IEEE Access* 7, 37601-37610. doi:10.1109/ACCESS.2019.2906751
3. Alahakoon, D., and Yu, X. (2016). Smart Electricity Meter Data Intelligence for Future Energy Systems: A Survey. *IEEE Trans. Ind. Inf.* 12, 425-436. doi:10.1109/TII.2015.2414355
4. Ambrosin, M., Hosseini, H., Mandal, K., Conti, M., and Poovendran, R. (2016). “Despicable Me(ter): Anonymous and fine-grained Metering Data Reporting with Dishonest Meters,” in 2016 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS), 163–171. doi:10.1109/CNS.2016.7860482
5. Ancillotti, E., Bruno, R., and Conti, M. (2013). The Role of Communication Systems in Smart Grids: Architectures, Technical Solutions and Research Challenges. *Comp. Commun.* 36, 1665-1697. doi:10.1016/j.comcom.2013.09.004
6. Campbell, R. J. (2021). Power Outages in Texas. CRS Report No. IN11608. URL: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IN/IN11608>
7. Chaudhry, S. A., Alhakami, H., Baz, A., and Al-Turjman, F. (2020). Securing Demand Response Management: A Certificate-Based Access Control in Smart Grid Edge Computing Infrastructure. *IEEE Access* 8, 101235-101243. doi:10.1109/ACCESS.2020.2996093

8. Chhaya, L., Sharma, P., Bhagwatikar, G., and Kumar, A. (2017). Wireless Sensor Network Based Smart Grid Communications: Cyber Attacks, Intrusion Detection System and Topology Control. *Electronics* 6, 5. doi:10.3390/electronics6010005
9. Cosovic, M., Tsitsimelis, A., Vukobratovic, D., Matamoros, J., and Anton-Haro, C. (2017). 5G mobile Cellular Networks: Enabling Distributed State Estimation for Smart Grids. *IEEE Commun. Mag.* 55, 62-69. doi:10.1109/mcom.2017.1700155
10. Demir, K., and Suri, N. (2017). "Serecp: A Secure and Reliable Communication Platform for the Smart Grid," in *Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing (PRDC) (IEEE)*, 175-184.
11. M. V. (2018). Hybrid PLC/wireless Communication for Smart Grids and Internet of Things Applications Ding, W., Jing, X., Yan, Z., and Yang, L. T. (2019). A Survey on Data Fusion in Internet of Things: Towards Secure and Privacy-Preserving Fusion. *Inf. Fusion* 51, 129-144. doi:10.1016/j.inffus.2018.12.001
12. Eissa, M. M. (2018). New protection Principle for Smart Grid with Renewable Energy Sources Integration Using Wimax Centralized Scheduling Technology. *Int. J. Electr. Power Energ. Syst.* 97, 372-384. doi:10.1016/j.ijepes.2017.11.014 EPRI (2011).
13. Gavriluta, C., Boudinet, C., Kupzog, F., Gomez-Exposito, A., and Caire, R. (2020). Cyber-physical Framework for Emulating Distributed Control Systems in Smart Grids. *Int. J. Electr. Power Energ. Syst.* 114, 105375. doi:10.1016/j.ijepes.2019.06.033
14. Gharaibeh, A., Salahuddin, M. A., Hussini, S. J., Khreishah, A., Khalil, I., Guizani, M., et al. (2017). Smart Cities: A Survey on Data Management, Security, and Enabling Technologies. *IEEE Commun. Surv. Tutorials* 19, 2456-2501. doi:10.1109/COMST.2017.2736886
15. Gope, P., and Sikdar, B. (2018). An Efficient Data Aggregation Scheme for Privacy-Friendly Dynamic Pricing-Based Billing and Demand-Response Management in Smart Grids. *IEEE Internet Things J.* 5, 3126-3135. doi:10.1109/JIOT.2018.2833863

16. Gore, R. N., and Valsan, S. P. (2018). “Wireless Communication Technologies for Smart Grid (WAMS) Deployment,” in IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 1326-1331. doi:10.1109/ICIT.2018.8352370
17. Guan, Z., Li, J., Wu, L., Zhang, Y., Wu, J., and Du, X. (2017). Achieving Efficient and Secure Data Acquisition for Cloud-Supported Internet of Things in Smart Grid. IEEE Internet Things J. 4, 1934-1944. doi:10.1109/JIOT.2017.2690522
18. Haddad, R. J., Guha, B., Kalaani, Y., and El-Shahat, A. (2018). Smart Distributed Generation Systems Using Artificial Neural Network-Based Event Classification. IEEE Power Energ. Technol. Syst. J. 5, 18-26. doi:10.1109/JPETS.2018.2805894