

МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ОБЛАДНАННЯМ.

MONITORING, DIAGNOSTICS AND CONTROL OF ENERGY PROCESSES AND EQUIPMENT

УДК 621.316

DOI 10.20535/1813-5420.2.2024.303119

I.С. Чернечук¹, аспірант, ORCID 0000-0001-6895-7843

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

НЕІНТРУЗИВНИЙ МОНІТОРИНГ НАВАНТАЖЕННЯ – ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ БУДІВЕЛЬ

Показано, що комунальним підприємствам для пристосування до мінливих моделей енергозабезпечення та підвищення надійності необхідним є інтелектуальний моніторинг електромереж, щоб відстежувати динамічні умови роботи в розподільних мережах. Smart моніторинг може надати комунальним службам детальний опис звичок споживачів і максимізувати обізнаність користувачів про споживання, що призводить до зміни поведінки та згладжування глобального попиту на енергію. Наведено рушійні фактори ринку моніторингу та безпеки розумного будинку. Визначено, що зростання кількості користувачів Інтернету, стрімке поширення смартфонів і розумних гаджетів, а також зростаюче занепокоєння щодо віддаленого моніторингу будинків є ключовими факторами, які сприяють зростанню ринку безпеки розумного будинку. Показано, що методологія Smart моніторингу на прикладі будівлі відображає цілі як власне моніторингу, так і контролю: зменшити енергоспоживання будівель та / або зменшити для мешканців рахунки за електроенергію; запропонувати менеджерам електромережі більше інструментів, щоб краще керувати зростаючими потребами та можливими перебоями виробництва енергії завдяки зростаючій інтеграції ВДЕ в електромережі.

Проаналізовано неінтрузивний моніторинг навантаження (NILM) – метод аналізу даних про загальне електричне навантаження, отриманих шляхом вимірювання сили струму та напруги в одній точці, з наступним поділом загального навантаження на навантаження окремих пристроїв, який може відігравати ключову роль у цифровому переході в електроенергетиці. Ця технологія здатна не лише покращити поточну операційну діяльність компанії електроенергетики, а й лягти в основу формування нових відносин між суб'єктами енергоринків. Технологія NILM досягла значного успіху завдяки прогресу в машинному навчанні, обробці сигналів і розпізнаванні образів. Визначено, що фундаментальними етапами типової структури NILM є збір даних, виділення ознак, декомпозиція сигналу та ідентифікація пристрою.

Ключові слова: *Smart моніторинг, електроенергетична система, інтелектуальний лічильник, електроспоживання будівлі, неінтрузивний моніторинг навантаження, енергоефективність, управління попитом, конфіденційність.*

Вступ

Глобальна енергетична криза та виклики переходу до зеленої енергетики викликали необхідність інтеграції систем виробництва відновлюваної енергії в мережу [1]. Це потребує ефективної та надійної електроенергетичної системи, яка сприяє відчуттю балансу між пропозицією та попитом на енергію, зменшує втрати електроенергії та непередбачені пікові навантаження тощо для стабільної роботи, а головне, побудові з використанням передових технологій [2, 3]. Власне такою перспективною електроенергетичною системою є система, сформована на основі положень концепції Smart Grid – як поєднання передових технологій, що створює більш надійну, ефективну та стійку електроенергетичну систему [1–3]. Моніторинг такої інтелектуальної системи – це процес збору даних з електричної мережі та їх аналізу для виявлення тенденцій і проблем.

Моніторинг є ключовим компонентом інтелектуальних електроенергетичних систем [4]. Він забезпечує безперебійну та ефективну роботу електромережі шляхом моніторингу напруги, частоти, балансу фаз або стабільності перехідних процесів. Лібералізація ринку електроенергії, генерація з розподілених відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та постійне зростання енергоспоживання ставлять

економічний прибуток поряд з технологічними вимогами як визначальний фактор у стратегічних рішеннях розвитку електроенергетичної системи.

Моніторинг інтелектуальної електроенергетичної системи – це процес моніторингу електричної системи для виявлення та усунення будь-яких потенційних проблем. Власне моніторинг інтелектуальної електроенергетичної системи – це процес вимірювання, збору та аналізу даних, щоб зробити систему більш ефективною. Ці дані збираються за допомогою датчиків, які встановлені в мережі. Датчики, які стають все більше інтелектуальними, контролюють якість електроенергії та потік електроенергії, що допомагає виявити будь-які проблеми до їх виникнення.

Чотири тенденції змінюють умови роботи в мережах розподілу електроенергії, а отже, посилюють навантаження на інфраструктуру розподілу [3–5]:

1) переваги у споживанні енергії зміщуються в бік електроенергії, що призвело до темпів зростання споживання електроенергії, які вдвічі перевищують показники інших джерел енергії;

2) застаріле розподільче обладнання тепер у середньому старше рекомендованого виробником терміну експлуатації;

3) збільшення використання електронних навантажень зменшує коефіцієнти потужності навантаження та знижує ефективність використання мережі;

4) розподільні мережі більше не є статичними односторонніми системами доставки електроенергії, а тепер є динамічними двосторонніми зв'язками, які також з'єднують розподілені генеруючі ресурси з навантаженнями.

Отже, щоб пристосуватися до мінливих моделей енергозабезпечення та підвищити надійність, комунальним підприємствам необхідним є інтелектуальний моніторинг електромереж, щоб відстежувати динамічні умови роботи в розподільних мережах.

Моніторинг в системах розподілу електроенергії

Системи електромереж стають все більш складними та взаємопов'язаними, тому будь-які їх прості стають все більш неприйнятними та шкідливими. Це вимагає продовжувати розгортати інтелектуальні технології, які дозволяють здійснювати моніторинг, оцінку та вирішення потенційних проблем на постійній основі [5, 6]. Найбільш помітною зміною, яку можна очікувати, є просто те, що «розумні» технології стануть розумнішими та більш інтегрованими.

Більшість розгортань технологій моніторингу відбулося на об'єктах генерації та передачі, а моніторинг розподільної мережі обмежувався головною станцією на підстанції. Історичні моделі використання дозволили комунальним підприємствам правильно припустити, що вимірювання на підстанціях відображають умови експлуатації всієї розподільчої мережі. Це припущення, однак, насправді є менш обґрунтованим, оскільки фактичне використання мережі на сьогодні стало більш складним.

Розподілена генерація і особливо малі та середні за потужностями ВДЕ змінюють розподільну мережу зі статичної, односторонньої структури постачання електроенергії на більш складну та динамічну двосторонню систему. Зокрема, фотоелектричні та дрібномасштабні вітроенергетичні установки на стороні клієнта повертають електроенергію в розподільну мережу, коли їх виробництво електроенергії перевищує безпосереднє споживання клієнтом і, якщо вона є, локальну сміливість накопичувача.

Встановлюючи інтелектуальний моніторинг, оператори комунальних служб можуть вирішувати проблеми ще до того, як вони виявляться в одному збої або в конкретній точці збою [6]. Це найкращий вид «страхування». Занадто багато комунальних підприємств покладаються на старий спосіб роботи, залучаючи власних польових працівників для фізичного моніторингу та перевірки активів. Замість того, щоб здійснювати моніторинг і технічне обслуговування активів так само, як вони це робили протягом десятиліть, комунальні підприємства повинні почати використовувати інтелектуальні технології моніторингу та інтелектуальні датчики в поєднанні з досвідом своїх польових працівників, щоб пришвидшити оцінку, сортувати проблеми та оптимізувати весь процес.

Якщо енергокомпаніям вдасться використовувати дані моніторингу інтелектуальної електромережі, то важливо переконатися, що традиційні роз'єднані підрозділи та служби вже об'єднані та ними використовується система, яка забезпечує обмін інформацією у всій організації. Комунальні підприємства визнають здатність інтелектуальних технологій покращувати їхні послуги, економити гроші та дозволяти їм краще планувати свої майбутні ресурси.

Наприклад, технології бездротового моніторингу, такі як мережа LoRaWAN великого радіусу дії з низьким споживанням енергії, є популярним варіантом серед комунальних служб, які використовують інтелектуальний моніторинг [6]. Ці технології дозволяють забезпечити надійний і миттєвий зв'язок моніторингу електромережі та надсилати інформацію туди, де це необхідно, щоб якнайшвидше діяти, а також мінімізують потребу в оновленні обладнання та дорогому доступі до мережі 5G.

Розроблено систему моніторингу низьковольтної розподільної мережі [7], для розподілу електроенергії в компанії «Electric Power Industry of Serbia». Оригінальні системні концепції та рішення розширюють можливості моніторингу та керування мережею розподілу електроенергії на рівні низької напруги та підвищення надійності електропостачання. Зроблено суттєвий внесок є уявлення про

впровадження інфраструктури моніторингу та контролю в низьковольтних розподільних мережах. Так, архітектура розгорнутих систем складається з кількох компонентів:

- вимірювальні пристрої (Measuring devices, MD) – це інтелектуальні сенсорні пристрої, що розгортаються на електричних підстанціях середньої / низької напруги або в різних частинах розподільної мережі низького напруги;
- служба агрегації даних (Data Aggregation Service, DAS) відповідає за збір даних датчиків від MD;
- веб-портал як адміністративний і допоміжний інструмент для DAS і інструмент звітності для зібраних даних датчиків (Web portal);
- база даних конфігурацій (Configurations database, CDB) для зберігання конфігураційних даних DAS;
- база даних вимірювань (Measurements Database, MDB) для зберігання зібраних вимірювань від датчиків;
- кеш-пам'ять (In-memory (IM) Cache, IM) для тимчасового зберігання більшості поточних показань, зібраних із датчиків;
- файлове сховище (File Storage, FS) для зберігання зібраних даних датчиків у необробленому форматі;
- сховище даних (Data Warehouse, DW) для постійного зберігання даних датчиків після процесу очищення та перетворення.

Здійснюється технологічна підтримка автоматичному зчитуванню лічильника (Automatic Meter Reading, AMP), системи управління розподілом (Distributed Management System, DMS), системи технічної інформації (Technical Information System, TIS), стандартної шини зв'язку (Electrical Standards Board, ESB), системи «витягу, перетворення та завантаження» (Extract, Transform, Load, ETL).

Таким чином, Smart моніторинг може надати комунальним службам детальний опис звичок споживачів і максимізувати обізнаність користувачів про споживання, що призводить до зміни поведінки та згладжування глобального попиту на енергію.

Ринок інтелектуальних пристроїв моніторингу зараз стрімко розвивається, що дозволяє енергокомпаніям вибирати, які рішення найкраще підходять для них, виходячи з їхніх унікальних потреб. До великих брендів, пов'язаних із цим сектором, можемо віднести Siemens і Hitachi ABB.

Smart Meter та застосування інтелектуальних лічильників при моніторингу

На сьогодні стало повсюдно визнаним, що інтелектуальний лічильник (Smart Meter) – це пристрій, заснований на системі двостороннього зв'язку між споживачами та постачальниками, включаючи систему інтелектуального моніторингу [8–11]. Інтелектуальний лічильник є більш надійним порівняно з цифровим лічильником з точки зору виставлення рахунків та уникнення (усунення) фальсифікації. Представимо етапи розвитку лічильників та датчиків:

- лічильник традиційний → лічильник цифровий → лічильник інтелектуальний;
- датчик аналоговий → датчик цифровий → датчик інтелектуальний.

Інтелектуальний лічильник є одним із компонентів Smart Grid, підходу до керування розподілом та споживанням енергії, який використовує Інтернет-технології для створення двонаправленого зв'язку, координації та контролю.

Загалом, стандартні інтелектуальні лічильники, встановлені на рівні домогосподарств, в основному призначені для вимірювання та реєстрації загального споживання енергії в режимі реального часу або через регулярні проміжки часу.

Smart Metering пропонує споживачам, постачальникам, операторам електромереж, генераторам і регуляторам широкий вибір корисних інструментів і послуг, які, зрештою, сприяють розвитку інтелектуального енергетичного світу. Інфраструктура інтелектуального лічильника дозволяє обмінюватися даними в реальному часі між клієнтом і постачальником послуг. Кінцевою метою є моніторинг споживання енергії та підвищення загальної ефективності в мережі.

Стандарт IEEE 1686–2013 містить базові вимоги безпеки, які повинні виконувати інтелектуальні електронні пристрої, зокрема, інтелектуальні лічильники. Зазначимо, що інтелектуальні лічильники дозволять комунальним підприємствам пропонувати досить різноманітні механізми взаємодії із споживачами:

- відповідь на попит (Demand Response);
- динамічні тарифи (Dynamic Tariffs);
- керування навантаженням (Load Management);
- енергетичні послуги (Energy Services);
- інтервальне виставлення рахунків за дані (Interval Data Billing);
- передоплата (Pre-payment);
- просюмери (Prosumers).

Smart Metering змінює спосіб, яким комунальні підприємства ведуть свій бізнес, і зменшує їх витрати на обслуговування з великими перевагами для них та їхніх клієнтів, зокрема: покращений процес

виставлення рахунків (Improved Billing Process); зміна постачальника (Supplier switching); керування лічильниками (Meter Management); захист від шахрайства / доходів (Fraud / Revenue Protection); керування мережею (Network Management). Все це сприяє кращому керуванню енергетичним бізнесом.

Зворотній зв'язок з клієнтом в рамках Smart Metering підвищує енергоефективність на 5–15%, а в деяких випадках навіть до 20% [12].

У звіті «Smart Home Monitoring and Security Market» [13, 14] пропонується всебічний аналіз поточного стану ринку моніторингу та безпеки розумного будинку з акцентом на таких ключових показниках, як сукупний середньорічний темп зростання, валовий прибуток, дохід, ціна, темпи зростання виробництва, обсяг, вартість, частка ринку та зростання за поточний рік. Цей аналіз проводиться з використанням новітніх первинних і вторинних методологій досліджень, що забезпечує точність і надійність.

Рушійні фактори ринку моніторингу та безпеки розумного будинку [14]:

1. **Технологічний прогрес:** ринок розвивається завдяки постійним технологічним інноваціям, які підвищують енергоефективність і ефективність продуктів та послуг моніторингу та безпеки розумного будинку, що включає в себе досягнення за напрямками матеріали, виробничі процеси і цифрові технології.

2. **Зростання попиту.** Зростання попиту на продукти і послуги моніторингу та безпеки розумного будинку, викликане такими факторами, як зростання населення, урбанізація та зміна споживчих уподобань, є значним рушієм зростання ринку.

3. **Регуляторна підтримка:** сприятлива урядова політика, нормативні акти та стимули, які сприяють використанню моніторингу та безпеки розумного будинку, такі як субсидії для проектів з відновлюваної енергетики та механізми ціноутворення на вуглець, заохочують зростання ринку.

4. **Екологічна обізнаність:** підвищення обізнаності про екологічну стійкість і необхідність скорочення викидів вуглекислого газу спонукає до прийняття рішень для моніторингу та безпеки розумного будинку, особливо тих, які є екологічними та відновлюваними.

5. **Зменшення витрат:** постійне скорочення витрат на виробництво та встановлення рішень для моніторингу і безпеки розумного будинку завдяки економії масштабу, технологічному прогресу та посиленню конкуренції робить ці рішення більш прийнятними та доступнішими.

Стримувальні фактори ринку моніторингу та безпеки розумного будинку [14]:

1. **Високі початкові інвестиції:** високі початкові інвестиції, необхідні для розробки та встановлення рішень для моніторингу та безпеки розумного будинку, особливо для великомасштабних проектів, можуть стати суттєвою перешкодою для зростання ринку.

2. **Переривчастість і надійність.** Переривчастість і надійність деяких рішень для моніторингу та безпеки розумного будинку, таких як сонячна та вітрова енергія, можуть бути проблемою, особливо в регіонах з непостійними погодними умовами.

3. **Обмеження інфраструктури:** потреба у значних інвестиціях в інфраструктуру, таких як модернізація мережі та сховищ, для підтримки інтеграції рішень моніторингу та безпеки розумного будинку в існуючі енергетичні системи може бути обмеженням.

4. **Політична невизначеність:** невизначеність, пов'язана з державною політикою та правилами, як-от зміни субсидій чи податкових пільг, може створити невизначеність для інвесторів і сповільнити зростання ринку.

5. **Конкуруючі технології.** Конкуруючі технології, такі як використання викопного палива та ядерної енергії, можуть стати проблемою для впровадження рішень для моніторингу та безпеки розумного будинку, особливо в регіонах, де ці технології добре запроваджені та субсидуються.

6. **Збої в ланцюжку поставок:** збої в ланцюжку поставок, такі як дефіцит критично важливих матеріалів або компонентів, можуть вплинути на доступність і вартість рішень для моніторингу та безпеки розумного будинку, впливаючи на зростання ринку.

7. **Сприйняття громадськістю:** негативне сприйняття громадськістю або опір рішенням для моніторингу та безпеки розумного будинку, як-от занепокоєння щодо візуального впливу чи шумового забруднення від вітрових турбін, може перешкоджати зростанню ринку.

8. **Недостатня обізнаність:** обмежена обізнаність і розуміння рішень для моніторингу та безпеки розумного будинку серед споживачів, компаній і політиків може уповільнити зростання ринку, оскільки зацікавлені сторони можуть не повністю оцінити переваги та потенціал цих технологій.

Обсяг світового ринку розумних будинків (Smart Home) у 2022 році оцінювався в 80,21 млрд. дол. США, і, за прогнозами, зросте з 94 млрд. дол. у 2023 році до 338,28 млрд. дол. США до 2030 року [15]. Фактори зростання ринку розумних будинків – широке впровадження рішень Інтернету речей (Internet of Things, IoT) для стимулювання розширення ринку. Платформа Інтернету речей (IoT) є одним з найважливіших драйверів ринку. У будівлі обладнання на основі IoT забезпечує функції енергозбереження. За даними Groupe Speciale Mobile Association (GSMA Intelligence, <https://www.gsmainelligence.com/>), очікується, що до 2025 року кількість підключень IoT досягне приблизно 25 млрд. у всьому світі, порівняно з 10,3 млрд. у 2018 році. Цей фактор показує, що протягом

кількох років з'являться величезні кластери датчиків, пристроїв і речей, які спілкуватимуться за допомогою високошвидкісних технологій, таких як 5G. Таке зростання кількості пристроїв Інтернету речей, ймовірно, спрямує ринок у бік вищої траєкторії зростання.

Зростання кількості користувачів Інтернету, стрімке поширення смартфонів і розумних гаджетів, а також зростаюче занепокоєння щодо віддаленого моніторингу будинків є ключовими факторами, які сприяють зростанню ринку безпеки розумного будинку. Впровадження IoT та сприятливих політик створили міцну основу для ринку безпеки розумного будинку. До 2025 року GSMA прогнозує, що на Китай, ймовірно, припадатиме близько 4,1 млрд. IoT-з'єднань або приблизно одна третина всіх IoT-з'єднань у всьому світі. Власне інтелектуальний датчик, крім функцій первинного вимірювального перетворення, мають додаткові можливості вимірювання декількох фізичних величин та використання вбудованих аналого-цифрових перетворювачів з мікроконтролерами, що суттєво розширює функціональний діапазон давачів, а саме: попередня обробка сигналів (лінеаризація, фільтрування, корекція похибок); само-діагностування; дистанційне конфігурування (діапазону вимірювань, одиниць вимірювань, узгодження частотних характеристик); окремі елементи керування; передавання інформації з використанням промислових мереж (наприклад, Profibus, Ineternetbus, Profinet).

Ключові компанії зосереджують свої зусилля на розробці платформ Інтернету речей і пов'язаних технологій (машинне навчання, штучний інтелект тощо), які можна використовувати в розумних пристроях. Прогнозується, що цей фактор розширить світовий ринок у майбутньому.

Глобальний ринок мережевого моніторингу оцінювався в 3,34 млрд. дол. США в 2023 році та, за прогнозами, зросте з 3,71 млрд. дол. США в 2024 році та досягне 8,30 млрд. дол. США до 2032 року, демонструючи CAGR 10,6% протягом прогнозованого періоду [16]. Згідно «Звіту про ринок безпеки розумного будинку» (The Smart Home Security Market Report, 2024 – 2029) розмір ринку безпеки розумного будинку оцінюється в 32,46 млрд. дол. США в 2024 році, і очікується, що він досягне 61,97 млрд. дол. США до 2029 року, з сукупним середньорічним темпом зростання протягом прогнозованого періоду (2024–2029) на рівні 13,81 % [17]. Цей звіт сегментований за компонентами (обладнання, програмне забезпечення, послуги), типами пристроїв (розумні сигналізації, розумні замки, розумні датчики та детектори, розумні камери та системи моніторингу), комунікаційний модуль (професійний моніторинг, самоконтроль). Найшвидше зростаючий ринок – Азіатсько-Тихоокеанський регіон. Найбільший ринок – Північна Америка

Основні компанії на ринку моніторингу та безпеки розумного будинку [18]: Adt Corporation, Vivint Smart Home Security, Simplisafe, Honeywell International, Hangzhou Hikvision Digital Technology, Frontpoint Security Solutions, Protect America, Ring And Samsung, Ooma, Bosch Security And Safety Systems, Tyco International, Control4, Google, Visonic, Lorex Technology, Ibm, Ge, Schneider Electric, Nortek Security & Control, Apple, Samsung, Siemens.

Неінтрузивний моніторинг навантаження електроенергетичної системи

Методологія Smart моніторингу на прикладі будівлі відображає цілі як власне моніторингу, так і контролю [19, 20]:

- зменшити енергоспоживання будівель та / або зменшити для мешканців рахунки за електроенергію;
- запропонувати менеджерам електромережі більше інструментів, щоб краще керувати зростаючими потребами та можливими перебоями виробництво енергії завдяки зростаючій інтеграції ВДЕ в електромережі.

Моніторинг і контроль споживання приладів має дві різні мети, чії бізнес-моделі все ще розробляються. По-перше, з точки зору користувача або мешканця, наявність інформації про рівень використання приладів може призвести до зниження витрат через зменшення споживання енергії або можливих допоміжних послуг (запити на дисбаланс, регулювання навантаження або коливання цін на електроенергію тощо). По-друге, з точки зору інтелектуальної мережі або менеджера мережі керуваність більшою кількістю навантажень надає більше можливостей дій для підтримки стабільності мережі, тобто більшій гнучкості та надійності (зменшення пікового попиту шляхом усунення використання електроенергії, або шляхом перенесення його на непіковий час тощо) шляхом ідентифікації навантаження та прогнозування споживання енергії навантаженням.

Інтелектуальні лічильники та системи енергоменеджменту будинку (Home Energy Management Systems, HEMS) можна використовувати для надання споживачам зворотного зв'язку щодо споживання енергії в режимі реального часу безперервно або через регулярні проміжки часу.

Для досягнення поставленої мети пропонується реалізувати IT-платформу в рамках розвитку кількох напрямків: розробка системи моніторингу; створення аналітичного центру; організація експертного порталу; систематизація довідкової інформації [19, 20].

Методологія Smart моніторингу передбачає застосування системи неінтрузивний моніторинг навантаження пристрою (Non-Intrusive Appliance Load Monitoring, NIALM) або неінтрузивний моніторинг навантаження (Non-Intrusive Load Monitoring, NILM) та складається з простішої апаратної частини та

складнішого програмного забезпечення [21]. Тобто Smart моніторинг передбачає розробку методів інтрузивного моніторингу та методів неінтрузивного моніторингу навантаження, необхідних для вирішення проблеми дезагрегування навантаження.

Зазначимо, що **агрегування** – це об'єднання, укрупнення показників по будь-якою ознакою. З математичної точки зору агрегування розглядається як перетворення вихідної моделі в модель з меншим числом змінних і / або обмежень. Сутність агрегування полягає в з'єднанні однорідних елементів в більш великі. Способи агрегування: складання показників; представлення групи агрегованих показників через їх середню величину; використання різних вагових коефіцієнтів; використання бальних оцінок. З іншої сторони, **деагрегування** – це процедура, протилежна агрегування, що застосовується в разі переходу до більш дрібних елементів при описі будь-якого об'єкта, по відношенню до яких одиниці вихідного опису представляють агрегати, або до показників, які характеризують такі елементи, замість показників, відповідних їх агрегатів в вихідному описі. Доцільність дезагрегування завжди обумовлена бажанням або необхідністю отримати більш детальне, ніж вихідне опис. Однак використання дезагрегування призводить до зростання розмірності, погіршення статистичних характеристик даних.

Системи моніторингу навантаження дають змогу отримувати інформацію про стан різних навантажень, що живляться від електроенергетичної системи. Ці системи моніторингу, розроблені для додатків, пов'язаних з енергоефективністю, також можуть використовуватися в інших додатках. Інформацію, отриману від систем NILM, можна використовувати для створення систем енергетичного менеджменту (SEM), реагування на потреби (DR), виявлення аномалій, технічне обслуговування та допомога об'єктам із навколишньому середовищі (AAL).

У цьому випадку методологія Smart моніторингу щодо обладнання передбачає наступне [19–21]:

- об'єднання різних діагностичних систем у єдиний комплекс за відкритими інтерфейсами, для можливості незалежного підключення обладнання різних виробників;
- єдиний інтерфейс користувача для доступу через інтернет або внутрішню мережу;
- виділення правил та алгоритмів агрегації даних та прогнозування несправностей окремих модулів, що підключаються за відкритими інтерфейсами, з можливістю їх оперативного оновлення;
- комбінована обробка даних проводиться, використовуючи як локально встановлене устаткування, так і обчислювальні потужності ЦОД;
- настроювані екранні форми відображення інформації з різними рівнями деталізації та дискретизації;
- автономна робота системи діагностики та моніторингу, яка не потребує постійного з'єднання з ЦОД.

Так, для будівлі керування енергією в реальному часі (Real Time Energy Management, RTEM) поєднує технології та послуги, щоб діяти як функціонуючий мозок будівлі. Технологія RTEM надсилає поточні дані про продуктивність будівлі в хмарну систему, де вони перетворюються на корисну інформацію для власників нерухомості, менеджерів будинків і орендарів. При цьому Smart моніторинг сприяє:

- зростанню прибутку за рахунок зменшення витрат на енергію, звільнивши капітал для використання в іншому місці;
- отриманню інформації про свою поточну та історичну енергоефективність у реальному часі;
- підвищенню надійності та часу безвідмовної роботи систем за допомогою автоматизованих можливостей прогнозування;
- збереженню досвіду і знання персоналу для модернізації будівель житлово-комунальної сфери;
- звільненню персоналу від рутинного контролю та надання їм можливості зосередитися на проблемах, які впливають на покращення надання послуг.

NILM – це метод аналізу даних про загальне електричне навантаження, отриманих шляхом вимірювання сили струму та напруги в одній точці, з наступним поділом загального навантаження на навантаження окремих пристроїв. Технологія неінтрузивного моніторингу навантаження може відіграти ключову роль у цифровому переході в електроенергетиці. Ця технологія здатна не лише покращити поточну операційну діяльність компаній електроенергетики, а й лягти в основу формування нових відносин між суб'єктами енергоринку [22].

На рис. 1 наведено приклад агрегованого сигналу електроживлення та відповідного рішення NILM [23]. Основний сигнал складається з сигналів від холодильника (Refrigerator Power), а LED-телевізора (LED TV Power) та від вентилятора (Fan POWER). На цьому рисунку відображений час роботи вентилятора з 6:30 ранку до 9:30 ранку з енергоспоживанням 46 Вт а LED-телевізора з 6:05 до 8:35 з енергоспоживанням 58 Вт. В цьому прикладі прилади змодельовані, як онлайн/офлайн навантаження, що споживають постійну активну потужність.

Smart моніторинг, заснований на неінтрузивному моніторингу навантаження, має дві ключові відмінності, що зумовлюють специфіку їх застосування:

– неінтрузивність – лічильник такої системи моніторингу вимірює струм і напругу в одному місці розподільної електромережі будівлі та не вимагає прямого вбудовування в мережу, при цьому забезпечуючи точність вимірювання, що не поступається традиційним лічильникам (у тому числі оснащеним Wi-Fi та GSM-модулями);

– дезагрегація даних – здійснюється, коли необхідно виділити профілі енергоспоживання для кожного пристрою, розташованого в приміщенні. Лічильник NILM, використовуючи хмарні технології та спеціальні методи машинного навчання, розбиває інтегральні дані про споживання енергії, зібрані в одній точці мережі, на профілі споживання кожного пристрою. Оскільки витрати на встановлення лічильників прямого включення прямо пропорційні їх кількості, використання сенсорів NILM сприяє суттєвій економії. Даний ефект ще більше відчувається при оснащенні лічильниками великої комерційної нерухомості, а також на виробництвах, які використовують велику кількість різноманітного обладнання.

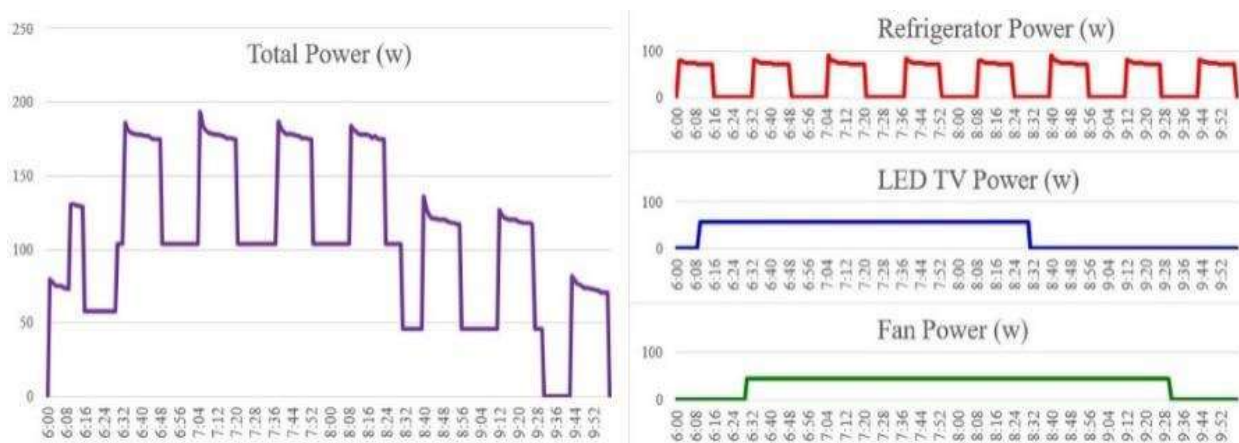


Рисунок 1 - Приклад агрегованого сигналу електроживлення та відповідного рішення NILM [23].

Smart моніторинг, заснований на неінтрузивному моніторингу навантаження, має дві ключові відмінності, що зумовлюють специфіку їх застосування:

– неінтрузивність – лічильник такої системи моніторингу вимірює струм і напругу в одному місці розподільної електромережі будівлі та не вимагає прямого вбудовування в мережу, при цьому забезпечуючи точність вимірювання, що не поступається традиційним лічильникам (у тому числі оснащеним Wi-Fi та GSM-модулями);

– дезагрегація даних – здійснюється, коли необхідно виділити профілі енергоспоживання для кожного пристрою, розташованого в приміщенні. Лічильник NILM, використовуючи хмарні технології та спеціальні методи машинного навчання, розбиває інтегральні дані про споживання енергії, зібрані в одній точці мережі, на профілі споживання кожного пристрою. Оскільки витрати на встановлення лічильників прямого включення прямо пропорційні їх кількості, використання сенсорів NILM сприяє суттєвій економії. Даний ефект ще більше відчувається при оснащенні лічильниками великої комерційної нерухомості, а також на виробництвах, які використовують велику кількість різноманітного обладнання.

Отже, NILM – це техніка моніторингу споживання енергії в будівлях без необхідності встановлення апаратного забезпечення на окремих приладах, що робить його економічно ефективним і масштабованим рішенням для підвищення енергоефективності та зниження споживання енергії. Базуючись на своїх технологічних особливостях, методологія Smart моніторингу з використанням лічильників неінтрузивного моніторингу навантаження дозволяє [21]:

– дезагрегацію сумарного енергоспоживання та візуалізація. За допомогою сенсорів NILM споживачі здатні виділяти енергоспоживання кожного приладу. Результат дезагрегації у вигляді інтерактивної інфографіки відображається в мобільному додатку або в онлайн-платформі. Кількість корисних даних може бути значно збільшена шляхом встановлення кількох сенсорів (наприклад, можна розділити енергоспоживання між поверхами у багатоповерховій будівлі або зібрати інформацію щодо завантаженості виробничого обладнання у різних приміщеннях великого підприємства);

– виявлення ненормативних режимів роботи пристроїв і превентивний моніторинг поломок (виходу із ладу обладнання). Оскільки сенсори в режимі реального часу збирають дані, система запам'ятовує патерни (зразки) поведінки приладів. За допомогою, наприклад, методів нейромережевого аналізу система розпізнає зміни в режимі роботи пристрою та оперативно надсилає користувачеві повідомлення про виявлене порушення;

– поділ рахунку на купівлю електроенергії. За допомогою функції приладового поділу енергоспоживання можна відповідним чином поділити рахунок про оплату. При диференційованій

вартості електроенергії за зонами доби можна сформувати звіт про витрати на роботу приладу за певний проміжок часу, що відкриває можливість оптимізувати режим роботи пристроїв, виробити графік оптимального енергоспоживання та знизити витрати на покупку електроенергії;

– вбудовуваність у сторонні техніко-технологічні рішення. Приладовий поділ навантаження – одна з найважливіших технологічних особливостей NILM. Це рішення може бути вбудоване і в традиційні прилади обліку прямого включення;

– надсилання сповіщень та повідомлень. З використанням мобільного додатка або онлайн-платформи користувача система NILM здатна надсилати користувачеві повідомлення про порушення режимів роботи пристроїв або при перевищенні заданих користувачем рівнів (наприклад, якщо час роботи конкретного пристрою перевищить встановлений або при перевищенні заданої межі енергоспоживання).

NILM – це технологія, яка дозволяє дезагрегувати дані про споживання електроенергії за окремими приладами або пристроями в будівлі чи будинку. Технології NILM спрямовані на дезагрегування даних про споживання енергії, зібраних інтелектуальними лічильниками, для ідентифікації конкретних енергоспоживаючих приладів або пристроїв. NILM може надати інформацію про роботу різноманітних пристроїв [21–24]. Це досягається шляхом аналізу моделей споживання енергії та унікальних сигналів кожного пристрою без необхідності використання додаткових датчиків або апаратного забезпечення, підключеного безпосередньо до приладів. Основними цілями NILM є підвищення енергоефективності, зменшення споживання енергії та сприяння більш ефективному управлінню попитом.

Застосування NILM в енергетичному моніторингу сприяє [24]:

– енергоефективності – NILM дозволяє користувачам ідентифікувати прилади, які споживають енергію, і надає інформацію про оптимізацію моделей використання енергії, що призводить до зниження рахунків за електроенергію та скорочення викидів вуглецю;

– виявленню несправностей – відстежуючи моделі споживання енергії окремими приладами, NILM може виявити незвичайну поведінку, яка може вказувати на потенційну несправність або збій, спонукаючи до профілактичного обслуговування;

– управлінню попитом – NILM може допомогти комунальним компаніям і споживачам краще розуміти та керувати своїм споживанням енергії, сприяючи більш ефективним стратегіям управління попитом і балансування навантаження;

– інтеграції з Smart Grid – як частина системи інтелектуальної мережі, NILM може допомогти в оптимізації розподілу та споживання енергії, підвищуючи стабільність і продуктивність мережі.

Таким чином, основними цілями NILM є сприяння енергоефективності, зменшення споживання енергії та сприяння більш ефективному управлінню попитом.

Незважаючи на свої потенційні переваги, NILM викликає занепокоєння щодо конфіденційності користувачів через детальну інформацію, яку він може відкрити про спосіб життя людини, щоденні звички та навіть статус зайнятості. Ці проблеми включають [24]:

– профілювання поведінки (моделі споживання енергії приладами можуть опосередковано відкривати особисту інформацію, таку як розпорядок дня та перебування вдома);

– витік даних (несанкціонований доступ до даних NILM може призвести до неправомірного використання особистої інформації третіми особами, збільшуючи ризик крадіжки особистих даних або цільової реклами);

– проблеми спостереження (державні органи чи інші організації можуть використовувати дані NILM для моніторингу окремих осіб без їхньої згоди).

Щоб вирішити ці проблеми конфіденційності та забезпечити конфіденційність даних, може бути застосовано кілька стратегій [22–24]:

– анонімізація даних (знеособлення даних NILM шляхом видалення персональної інформації може допомогти захистити конфіденційність користувачів, у той же час уможливаючи аналіз моделей споживання енергії);

– агрегація даних (агрегування даних NILM на вищому рівні, наприклад, на рівні громади чи мікрорайону, може зменшити ризик індивідуального профілювання, водночас забезпечуючи корисну інформацію щодо енергоефективності та управління попитом);

– безпечне зберігання та передача даних (застосування розширених методів шифрування та автентифікації під час зберігання та передачі даних може звести до мінімуму несанкціонований доступ і витік даних);

– механізми дозволу/відмови (надання користувачам можливості ввімкнути або відмовитися від збору даних NILM може допомогти їм зберегти контроль над своїми даними та конфіденційністю);

– комплексна політика конфіденційності (чітке визначення того, як зібрані дані NILM використовуватимуться, зберігатимуться та поширюватимуться, може допомогти зміцнити довіру між користувачами та постачальниками послуг, одночасно забезпечуючи дотримання правил захисту даних).

Технології NILM досягла значного успіху завдяки прогресу в машинному навчанні, обробці сигналів і розпізнаванні образів. Проте проблеми все ще залишаються. Точна дезагрегація приладів зі

схожими енергетичними сигнатурами або з різним енергоспоживанням залишається складним завданням. Поточні дослідження зосереджені на вдосконаленні алгоритмів та включенні додаткових джерел даних, таких як датчики навколишнього середовища, для подальшого підвищення точності.

Незважаючи на ці проблеми, NILM вже отримав широке визнання [21–25]. Організації, комунальні служби та уряди у багатьох країнах досліджують його потенціал. Однак питання конфіденційності залишаються проблемою. Можливість виводити конкретні види діяльності чи звички з енергетичних даних викликає питання щодо конфіденційності користувачів і можливого зловживання даними.

Фундаментальними етапами типової структури NILM є збір даних, виділення ознак, декомпозиція сигналу та ідентифікація пристрою [26].

1-й етап «Збір даних». Це процес збору даних про загальне енергоспоживання будівлі. Для цього зазвичай використовуються інтелектуальні лічильники або інші датчики, які вимірюють споживання енергії будівлею. Дані можуть бути зібрані у формі показань електричної потужності протягом часу або інших параметрів, таких як струм, напруга та коефіцієнт потужності. Дані слід збирати з високою частотою дискретизації, як правило, кілька разів на секунду, щоб зафіксувати дрібні коливання споживання енергії, характерні для окремих приладів.

2-й етап «Виділення ознак». Це процес аналізу зібраних даних для виявлення закономірностей і тенденцій у споживанні енергії. Цей етап має вирішальне значення для визначення характеристик моделей споживання енергії, які є унікальними для окремих приладів або навантажень. Частотний аналіз, аналіз часових рядів і статистичний аналіз є деякими поширеними методами виділення ознак. Наприклад, частотний аналіз можна використовувати для визначення домінуючих частот у даних про споживання енергії, які потім можна використовувати для визначення робочих характеристик конкретних приладів. Аналіз часових рядів можна використовувати для виявлення закономірностей у даних про споживання енергії протягом певного часу, наприклад, щоденних або тижневих циклів. Статистичний аналіз можна використовувати для визначення статистичних властивостей даних про споживання енергії, таких як середнє значення, дисперсія та асиметрія.

3-й етап «Декомпозиція сигналу». Етап передбачає розбиття загального споживання енергії на окремі компоненти, які відповідають конкретним приладам або навантаженням. Це може бути досягнуто за допомогою таких методів, як аналіз незалежних компонентів (Independent Component Analysis, ICA), аналіз головних компонентів (Principal Component Analysis, PCA) і кластеризація. Наприклад, ICA можна використовувати для визначення незалежних джерел споживання енергії в даних, тоді як PCA можна використовувати для ідентифікації основних компонентів даних про споживання енергії. Кластеризацію можна використовувати для групування подібних моделей споживання енергії разом, які потім можна використовувати для визначення конкретних приладів або навантажень.

4-й етап «Ідентифікація приладів». Це процес ідентифікації конкретних приладів або навантажень на основі їх характеристик споживання енергії. Для цього можна використовувати такі методи, як нейронні мережі, дерева рішень і системи на основі правил. Наприклад, нейронні мережі можна навчити розпізнавати моделі споживання енергії конкретними приладами або навантаженнями, тоді як дерева рішень можна використовувати для ідентифікації пристроїв на основі їх моделей споживання енергії та інших характеристик. Системи, засновані на формалізованих правилах, можна використовувати для визначення конкретних правил ідентифікації приладів на основі моделей споживання ними енергії.

Під час ідентифікації енергоспоживаючих приладів також можна використовувати попередньо підготовлені моделі, які пройшли навчання на базах даних моделей споживання енергії різними пристроями, щоб ідентифікувати пристрої у виділеній будівлі.

Одним із найскладніших аспектів ідентифікації приладу є робота з варіаціями моделей споживання енергії, викликаними змінами моделей використання, факторами навколишнього середовища та іншими факторами. Щоб подолати цю проблему, потрібно використовувати комбінацію таких методів, як виділення ознак, розкладання сигналу та ідентифікація пристрою, щоб гарантувати надійність і точність результатів. Крім того, NILM потребує значної кількості даних і обчислювальних ресурсів, тому необхідні адекватні можливості зберігання та обробки даних.

Варто також зазначити, що NILM можна використовувати у промисловому секторі, наприклад на заводах, для моніторингу та оптимізації споживання енергії в конкретних процесах, а також для програм реагування на попит. Із зростанням популярності пристроїв для розумного будинку та Інтернету речей з'явилася можливість інтегрувати NILM із цими пристроями та надавати більш точні та детальні дані про споживання енергії, що може призвести до ще ефективнішого управління енергією.

Очевидно, що сучасні інтелектуальні лічильники не мають можливості задовольнити необхідні вимоги до даних NILM. Незважаючи на це, Інститут Фраунгофера в Німеччині за підтримки Федерального міністерства економіки провів дослідження у цій галузі та зробив наступні важливі висновки [25, 26]:

– частота дискретизації (прототип інтелектуального лічильника, розробленого Fraunhofer IMS у співпраці з партнерами, вимірює 8000 високочастотних точок вимірювання (струму та напруги) за

секунду, що вказує на дуже високу частоту дискретизації та дозволяє фіксувати детальні зміни загального споживання електроенергії);

– виявлення навантаження (дані високої роздільної здатності, отримані від прототипу інтелектуального лічильника, дозволяють виявляти навіть найменші зміни споживання електроенергії та призначати їх окремим пристроям / обладнанню; це демонструє, що прототип відповідає вимогам точної ідентифікації та дезагрегування навантажень)

– розробка алгоритму (у 2016 р. була протестована перша версія алгоритмів NILM. З тих пір ці алгоритми постійно вдосконалювалися з використанням методів машинного навчання для розпізнавання образів, що підкреслює важливість передових алгоритмів у NILM для аналізу даних високої роздільної здатності, зібраних прототипом інтелектуального лічильника);

– аналіз параметрів потужності (крім ефективної потужності, було досліджено вплив реактивної потужності, повної потужності та гармонік на якість виявлення; це означає, що можливості інтелектуального лічильника виходять за межі простого вимірювання ефективної потужності, забезпечуючи комплексний аналіз різних параметрів потужності для підвищення точності визначення навантаження);

– перевірка та забезпечення якості (ефективність алгоритмів постійно контролюється та перевіряється за реальними вимірюваннями (Ground Truth), щоб гарантувати найвищу можливу якість виявлення; це передбачає зосередженість на забезпеченні якості та відданість забезпеченню надійних результатів NILM).

Щодо перспектив розвитку та застосування NILM [25–27]. Загальносвітові тенденції демонструють необхідність впровадження інформаційних систем та використання новітніх технологій, таких як хмарні дата-центри, індустріальний інтернет речей, нейронні мережі, експертні системи, методологія великих даних для підвищення ефективності роботи енергетичного комплексу та керування об'єктами енергетики.

Збереження конфіденційності з одночасним використанням переваг NILM має вирішальне значення. Тим не менш, із зростаючим акцентом на енергоефективності та стійкості майбутнє NILM виглядає багатообіцяючим. З розвитком технологій точність і надійність алгоритмів NILM продовжуватимуть покращуватися. Інтеграція з інтелектуальними електромережами, пристроями Інтернету речей і системами управління енергією забезпечить плавний аналіз і контроль споживання енергії в режимі реального часу. Потенційні розробки включають покращене виявлення аномалій для визначення несправностей або коротких замикань приладів, оптимізацію стратегій реагування на попит та інтеграцію NILM у системи домашньої автоматизації. Ці досягнення дозволять споживачам, комунальним службам і підприємствам приймати обґрунтовані рішення, зменшувати витрати енергії та сприяти екологічнішому майбутньому.

Висновки

Показано, що Smart моніторинг може надати комунальним службам детальний опис звичок споживачів і максимізувати обізнаність користувачів про споживання, що призводить до зміни поведінки та згладжування глобального попиту на енергію. Наведено рушійні фактори ринку моніторингу та безпеки розумного будинку. Визначено, що зростання кількості користувачів Інтернету, стрімке поширення смартфонів і розумних гаджетів, а також зростаюче занепокоєння щодо віддаленого моніторингу будинків є ключовими факторами, які сприяють зростанню ринку безпеки розумного будинку. Методологія Smart моніторингу на прикладі будівлі відображає цілі як власне моніторингу, так і контролю: зменшити енергоспоживання будівель та / або зменшити для мешканців рахунки за електроенергію; запропонувати менеджерам електромережі більше інструментів, щоб краще керувати зростаючими потребами та можливими перебоями виробництва енергії завдяки зростаючій інтеграції ВДЕ в електромережі.

Проаналізовано неінтрузивний моніторинг навантаження (NILM) – метод аналізу даних про загальне електричне навантаження, отриманих шляхом вимірювання сили струму та напруги в одній точці, з наступним поділом загального навантаження на навантаження окремих пристроїв, який може відігравати ключову роль у цифровому переході в електроенергетиці. Ця технологія здатна не лише покращити поточну операційну діяльність компаній електроенергетики, а й лягти в основу формування нових відносин між суб'єктами енергоринків. Технології NILM досягла значного успіху завдяки прогресу в машинному навчанні, обробці сигналів і розпізнаванні образів. Визначено, що фундаментальними етапами типової структури NILM є збір даних, виділення ознак, декомпозиція сигналу та ідентифікація пристрою.

NILM – це потужна техніка з потенціалом значного підвищення енергоефективності та зменшення споживання енергії, однак для досягнення точних і надійних результатів важливо ретельно розглянути різні етапи технічної реалізації та математичні методи, які можна використовувати на кожному етапі. Технологія NILM має потенціал для значного підвищення енергоефективності та управління. Сьогодні важливо вирішити пов'язані з цим проблеми конфіденційності. Завдяки застосуванню надійних заходів із захисту конфіденційності даних і застосуванню прозорого підходу до збору та використання даних можна реалізувати переваги NILM без шкоди для конфіденційності користувачів.

Список використаної літератури

1. Кириленко О.В., Денисюк С.П., Блінов І.В. Цифрова трансформація енергетики: сучасні тенденції та завдання. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*, Вип. 65, Серпень 2023, С. 5–14.
2. Денисюк С.П., Белоха Г.С., Чернищук І.С., Лисий В.В. Світові тенденції впровадження відновлюваних джерел енергії та особливості їх реалізації при відновленні економіки України. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2022. № 4. С. 7–23.
3. Денисюк С.П., Мельничук Г.В., Чернищук І.С., Лисий В.В. Техніко-економічні механізми розвитку локальних систем енергозабезпечення (Microgrid). *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2021. № 4. С. 7–22.
4. <https://medium.com/@powertechnologies141/what-is-smart-grid-monitoring-413b62f3a099>
5. <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/smart-monitoring-improves-distribution-grid-reliability.html>
6. <https://www.linkedin.com/pulse/smart-monitoring-utilities-especially-europe-its-time-1%3%BDsir/>
7. Stanimirovic A., Bogdanovic' M., Frtunic' M., Stoimenov L. Low-voltage electricity network monitoring system: Design and production experience. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2020, Vol. 16(1).
8. Pawar J.P., Amirthaganesh S., Arun Kumar S., Satiesh Kumar B. Real time energy measurement using smart meter. 2016 *Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET)*, Coimbatore, India, 2016, pp. 1-5.
9. Girija R., Pavan R., Trupthi C., Mouna R., Jaishma Kumari B. Design of Smart Energy Meter for Intelligent Energy Network. 2020 *IJRTI*, Volume 5, Issue 2, Pp. 171–175.
10. Dario De Santis, Domenico Aldo Giampetruzzi, Gaetano Abbatantuono, Massimo La Scala. Smart metering for low voltage electrical distribution system using Arduino. 2016 *IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS)*, Italy, 2016.
11. Balamurugan S., Saravanakamalam D. Energy monitoring and management using internet of things. 2017 *International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC)*, March 2017.
12. A-Guide-to-Smart-Metering <https://www.esmig.eu/wp-content/uploads/2021/11/ESMIG-A-Guide-to-Smart-Metering.pdf>
13. <https://www.linkedin.com/pulse/smart-home-monitoring-security-market-size-mcrkf/>
14. https://www.marketresearchintellect.com/download-sample/?rid=193045&utm_source=Pulse&utm_medium=031
15. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/smart-home-market-101900>
16. <https://www.fortunebusinessinsights.com/network-monitoring-market-108432>
17. <https://www.linkedin.com/pulse/smart-home-monitoring-security-market-growth-analysis-n8jhf/>
18. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/smart-home-security-market>
19. Kaustav Basu. classification techniques for non-intrusive load monitoring and prediction of residential loads. *Electric power*. Université de Grenoble, 2014. English. – NNT: 2014GRENT089.
20. Basu K., Debusschere V., Bacha S. Non Intrusive Load Monitoring: A Temporal Multi-Label Classification Approach, *IEEE transaction on Industrial Informatics*.
21. Çimen, H.; Çetinkaya, N.; Vasquez, J.C.; Guerrero, J.M. A Microgrid Energy Management System Based on NonIntrusive Load Monitoring via Multitask Learning. *IEEE Trans. Smart Grid* 2021, 12, 977–987.
22. Zhang C., Zhong M., Wang Z., Goddard N., Sutton C. Sequence-to-point learning with neural networks for nonintrusive load monitoring. *In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, New Orleans, LA, USA, 2–7 February 2018; pp. 2604–2611.
23. Somchai Biansoongnern, Boonyang Plungklang. Non-Intrusive Appliances Load Monitoring (NILM) for Energy Conservation in Household with Low Sampling Rate. 2016 *International Electrical Engineering Congress, iEECON2016*, 2-4 March 2016, Chiang Mai, Thailand. *Procedia Computer Science* 86 (2016). P.172 – 175.
24. <https://clouglobal.com/non-intrusive-load-monitoring-nilm-and-energy-monitoring/>
25. Purna Prakash K., Pavan Kumar Y.V. Systematic Statistical Analysis to Ascertain the Missing Data Patterns in Energy Consumption Data of Smart Homes. *International Journal Of Renewable Energy Research*. Vol.12, No.3, September, 2022. P. 1560-1573.
26. <https://medium.com/@akeptus/exploring-the-fundamentals-of-non-intrusive-load-monitoring-nilm-and-its-potential-to-improve-ba617be5d456>
27. <https://clouglobal.com/non-intrusive-load-monitoring-nilm-and-energy-monitoring/>

NON-INSTRUTIVE LOAD MONITORING – A PROSPECTIVE DIRECTION OF BUILDING ELECTRICITY CONSUMPTION MONITORING

It is shown that in order to adapt to changing models of energy supply and increase reliability, utilities need intelligent monitoring of power grids in order to track dynamic operating conditions in distribution networks. Smart monitoring can provide utilities with a detailed description of consumer habits and maximize user awareness of consumption, leading to behavioural change and smoothing global energy demand. The driving factors of the smart home monitoring and security market are given. An increasing number of internet users, the rapid proliferation of smartphones and smart gadgets, and growing concern about remote monitoring of homes have been identified as key factors contributing to the growth of the smart home security market. It is shown that the Smart monitoring methodology on the example of a building reflects the goals of both actual monitoring and control: to reduce the energy consumption of buildings and/or to reduce electricity bills for residents; to offer grid managers more tools to better manage the growing demand and possible interruptions in energy production due to the growing integration of RES into the grid.

Non-intrusive load monitoring (NILM) is analysed – a method of analysing data on the total electrical load, obtained by measuring the current and voltage at one point, followed by the division of the total load into a load of individual devices, which can play a key role in the digital transition in the electric power industry. This technology is able not only to improve the current operational activities of electricity companies but also to form the basis of the formation of new relations between subjects of energy markets. NILM technology has seen significant success thanks to advances in machine learning, signal processing, and pattern recognition. It was determined that the fundamental stages of a typical NILM structure are data collection, feature extraction, signal decomposition, and device identification.

Keywords: Smart monitoring, electric power system, intelligent meter, building electricity consumption, non-intrusive load monitoring, energy efficiency, demand management, privacy.

References

1. Kyrylenko O., Denysiuk S., Blinov I. Digital transformation of the energy industry: modern trends and tasks. *Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, Vol. 65, August 2023, pp. 5–14.
2. Denysiuk S., Beloha G., Chernyshchuk I., Lysyy V. Global trends in the implementation of renewable energy sources and the peculiarities of their implementation during the recovery of the economy of Ukraine. *Energy: economy, technologies, ecology*. 2022. No. 4. P. 7–23.
3. Denysiuk S., Melnychuk G., Chernyshchuk I., Lysyy V. Technical and economic mechanisms of development of local energy supply systems (Microgrid). *Energy: economy, technologies, ecology*. 2021. No. 4. P. 7–22.
4. <https://medium.com/@powertechnologies141/what-is-smart-grid-monitoring-413b62f3a099>
5. <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/smart-monitoring-improves-distribution-grid-reliability.html>
6. <https://www.linkedin.com/pulse/smart-monitoring-utilities-especially-europe-its-time-1%3%BDsir/>
7. Stanimirovic A., Bogdanovic' M., Frtunic' M., Stoimenov L. Low-voltage electricity network monitoring system: Design and production experience. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2020, Vol. 16(1).
8. Pawar J.P., Amirhaganesh S., Arun Kumar S., Satiesh Kumar B. Real time energy measurement using smart meter. 2016 *Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET)*, Coimbatore, India, 2016, pp. 1-5.
9. Girija R., Pavan R., Trupthi C., Mouna R., Jaishma Kumari B. Design of Smart Energy Meter for Intelligent Energy Network. 2020 *IJRTI*, Volume 5, Issue 2, Pp. 171–175.
10. Dario De Santis, Domenico Aldo Giampetruzzi, Gaetano Abbatantuono, Massimo La Scala. Smart metering for low voltage electrical distribution system using Arduino. 2016 *IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS)*, Italy, 2016.
11. Balamurugan S., Saravanakamalam D. Energy monitoring and management using internet of things. 2017 *International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC)*, March 2017.
12. A-Guide-to-Smart-Metering <https://www.esmig.eu/wp-content/uploads/2021/11/ESMIG-A-Guide-to-Smart-Metering.pdf>
13. <https://www.linkedin.com/pulse/smart-home-monitoring-security-market-size-mcrkf/>
14. https://www.marketresearchintellect.com/download-sample/?rid=193045&utm_source=Pulse&utm_medium=031

15. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/smart-home-market-101900>
16. <https://www.fortunebusinessinsights.com/network-monitoring-market-108432>
17. <https://www.linkedin.com/pulse/smart-home-monitoring-security-market-growth-analysis-n8jhf/>
18. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/smart-home-security-market>
19. Kaustav Basu. Classification techniques for non-intrusive load monitoring and prediction of residential loads. *Electric power*. Université de Grenoble, 2014. English. – NNT: 2014GRENT089.
20. Basu K., Debusschere V., Bacha S. Non Intrusive Load Monitoring: A Temporal Multi-Label Classification Approach, *IEEE transaction on Industrial Informatics*.
21. Çimen, H.; Çetinkaya, N.; Vasquez, J.C.; Guerrero, J.M. A Microgrid Energy Management System Based on NonIntrusive Load Monitoring via Multitask Learning. *IEEE Trans. Smart Grid* 2021, 12, 977–987.
22. Zhang C., Zhong M., Wang Z., Goddard N., Sutton C. Sequence-to-point learning with neural networks for nonintrusive load monitoring. *In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, New Orleans, LA, USA, 2–7 February 2018; pp. 2604–2611.
23. Somchai Biansoongnern, Boonyang Plungklang. Non-Intrusive Appliances Load Monitoring (NILM) for Energy Conservation in Household with Low Sampling Rate. *2016 International Electrical Engineering Congress, iEECON2016*, 2-4 March 2016, Chiang Mai, Thailand. *Procedia Computer Science* 86 (2016). P, 172 – 175.
24. <https://clouglobal.com/non-intrusive-load-monitoring-nilm-and-energy-monitoring/>
25. Purna Prakash K., Pavan Kumar Y.V. Systematic Statistical Analysis to Ascertain the Missing Data Patterns in Energy Consumption Data of Smart Homes. *International Journal Of Renewable Energy Research*. Vol.12, No.3, September, 2022. P. 1560-1573.
26. <https://medium.com/@akeptus/exploring-the-fundamentals-of-non-intrusive-load-monitoring-nilm-and-its-potential-to-improve-ba617be5d456>
27. <https://clouglobal.com/non-intrusive-load-monitoring-nilm-and-energy-monitoring/>

Надійшла: 11.04.2024
Received: 11.04.2024