

Валентина ПЛЕСКАЧ, д-р екон. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0003-0552-0972

e-mail: valentyana.pleskach@knu.ua

Максим ГРИНЧАК, студ.

ORCID ID: 0009-0005-2207-4179

e-mail: hrynychak.m@gmail.com

Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

У статті розглянуто методи та засоби створення автоматизованих інформаційних систем (АІС) обліку енергоресурсів в умовах переходу до розподіленої генерації та концепції Smart Grid. Проаналізовано проблематику інтеоперабельності сучасних засобів моніторингу, яка виникає через використання закритих пропрієтарних протоколів виробниками обладнання, що призводить до фрагментації даних та ускладнює створення єдиного інформаційного простору. Представлено результати дослідження та розроблення архітектури системи обліку, яка, на відміну від наявних хмарних рішень, базується на принципі локальної автономності (Local-First). Запропонований підхід передбачає використання уніфікованого драйвера для протоколів Modbus та SunSpec, що забезпечує можливість інтеграції інверторів і лічильників різних брендів (Huawei, Fronius, SolarEdge тощо) без фінансових витрат на спеціалізоване пропрієтарне програмне забезпечення. Значну увагу приділено методам збору даних на нижньому рівні архітектури та вирішенню задачі двонаправленого моніторингу перетікань енергії для активних споживачів («просьюмерів»). Отримані результати можуть бути використані для побудови масштабованих систем енергомоніторингу домогосподарств і підприємств, що сприятиме підвищенню енергоефективності та точності комерційних розрахунків.

Ключові слова: автоматизована система обліку енергоресурсів, Smart Grid, розподілена генерація, протокол Modbus, SunSpec Alliance,

інтероперабельність, моніторинг енергоспоживання, відновлювані джерела енергії.

Вступ

Сучасна світова енергетика перебуває на етапі фундаментальної трансформації, пов'язаної з переходом від централізованих систем енергопостачання до розподіленої генерації та впровадженням концепції Smart Grid. В умовах України ці процеси набувають критичного значення не лише з огляду на глобальні екологічні тренди декарбонізації, але й через необхідність забезпечення енергетичної безпеки та стійкості інфраструктури в умовах воєнних і післявоєнних викликів.

Згідно з "Національним планом з енергетики та клімату України на період до 2030 року" (Верховна Рада України, 2021), частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у валовому кінцевому енергоспоживанні має суттєво зрости, що призвело до появи класу активних споживачів, які не лише споживають, а й генерують і накопичують електроенергію, використовуючи сонячні станції, системи зберігання енергії та електромобілі.

Ефективна інтеграція таких об'єктів у загальну енергосистему неможлива без точного автоматизованого обліку. Проте, наявні на ринку рішення для моніторингу електроенергії часто є закритими, пропрієтарними екосистемами конкретних виробників обладнання, що зумовило проблему інтероперабельності, коли користувач не може об'єднати в одну систему інвертори, лічильники та батареї різних брендів без значних фінансових витрат на спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ).

У зв'язку з цим, розроблення універсальних методів і засобів побудови автоматизованої інформаційної системи (AIC) обліку енергоресурсів, яка забезпечує підтримку множинних протоколів, масштабованість і доступність даних для аналітики, є актуальним науково-прикладним завданням.

Наукова новизна статті полягає у створенні та обґрунтуванні підходу до побудови прототипу AIC обліку, який, на відміну від наявних закритих рішень, поєднує модульну архітектуру з уніфікованим драйвером для протоколів Modbus/SunSpec, що дозволить інтегрувати обладнання різних виробників без втрати

функціональності та забезпечить можливість подальшого масштабування системи.

Основна частина та результати

Енергетичний сектор є базовою основою функціонування сучасної економіки та суспільства. Рациональне використання енергоресурсів та їх ефективний облік набувають особливого значення в умовах зростання енергоспоживання, підвищення вартості енергоносіїв та необхідності скорочення негативного впливу на навколишнє середовище.

Класифікація енергоресурсів. Енергоресурси – це носії енергії, які використовують для отримання корисної енергії у вигляді тепла, механічної роботи, електроенергії тощо. Відповідно до чинного законодавства України, зокрема Закону "Про енергоефективність" (*Верховна Рада України, 2021*), енергетичні ресурси розглядають як визначальний елемент забезпечення енергетичної безпеки держави.

Для коректної побудови систем обліку важливо чітко класифікувати ресурси, оскільки кожен тип вимагає специфічних методів вимірювання.

Розглянемо основні види енергоресурсів, що підлягають автоматизованому обліку в сучасних прикладних інформаційних системах.

Електрична енергія – найбільш універсальний вид енергії, виробляється на електростанціях різних типів (ТЕС, АЕС, ГЕС, СЕС, ВЕС) та передається через розгалужені мережі. Специфіка обліку полягає у необхідності вимірювання миттєвих параметрів змінного струму. Основними величинами є активна потужність (P , кВт), реактивна потужність (Q , кВАр), споживана енергія (W , кВт·год), а також параметри якості: напруга (U), струм (I), частота (f) та коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$).

Природний газ використовують як паливо та сировину. Оскільки газ є стискуваним середовищем, його комерційний облік потребує обов'язкової корекції за температурою та тиском (приведення до стандартних умов: $P = 101.325$ кПа, $T = 20$ °C).

Теплова енергія постачається у вигляді гарячої води чи пари. Це розрахункова величина, облік якої базується на вимірюванні

об'єму теплоносія та різниці температур (ΔT) на вході та виході системи.

Вода є універсальним розчинником і одним із найважливіших природних ресурсів, необхідних для життєдіяльності живих організмів і забезпечення технологічних процесів; її підготовка і транспортування є енергоємними процесами. Облік ведеться в кубічних метрах (м^3). Узагальнену порівняльну характеристику наведено в табл.1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика основних видів енергоресурсів

Вид ресурсу	Основна одиниця виміру	Типові сфери застосування	Особливості автоматизованого обліку
Електроенергія	кВт·год (kWh)	Освітлення, силові установки, електроніка, опалення	Висока швидкість зміни параметрів. Необхідність синхронізації часу. Двонаправленість потоків.
Природний газ	м^3 , енергетичні одиниці (кВт·год)	Опалення, промисловість, генерація е/е	Залежність об'єму від тиску і температури. Використання коректорів газу.
Теплова енергія	Гкал (Gcal), ГДж (GJ)	Опалення будівель, гаряче водопостачання	Комплексний вимір (витратомір + 2 термодатчики). Важливість точності (ΔT).
Вода	м^3	Побутове та промислове водопостачання	Контроль тиску та витоків. Проста інтеграція (імпульсний вихід).

Специфіка обліку електроенергії та відновлювальні джерела енергії. Облік електроенергії має свою специфіку, пов'язану з фізичними властивостями струму та неможливістю зберігання енергії у промислових масштабах без спеціалізованих накопичувачів (BESS), що вимагає постійного балансу між генерацією та споживанням. Розглянемо напрямки обліку

електроенергії. Сучасні інтелектуальні лічильники (Smart Meters) здатні фіксувати потоки енергії за вектором напрямку:

- $A +$ (Імпорт): споживання з мережі;
- $A -$ (Експорт): віддача в мережу (генерація);
- $R +, R -$: реактивна енергія (індуктивна/ємнісна).

Розподілена генерація та відновлювані джерела енергії (ВДЕ)

Глобальний тренд декарбонізації стимулює перехід до розподіленої генерації. Станом на 2024 рік, незважаючи на втрату частини потужностей (близько 9 ГВт генерації) через військові дії, Україна продовжує розвивати сектор ВДЕ, зокрема на рівні домогосподарств та малого бізнесу (*Верховна Рада України, 2021*). За даними Національного плану з енергетики та клімату (*Кабінет Міністрів України, 2024*), до 2030 року планується суттєве збільшення частки сонячної та вітрової генерації.

Основні типи ВДЕ для розподілених систем:

1. Сонячні фотоелектричні станції (СЕС).
2. Вітрові електростанції (ВЕС).
3. Біогазові установки.

Ключовим об'єктом дослідження у цьому дослідженні є системи моніторингу СЕС. Типову архітектуру такої станції наведено на схемі нижче.

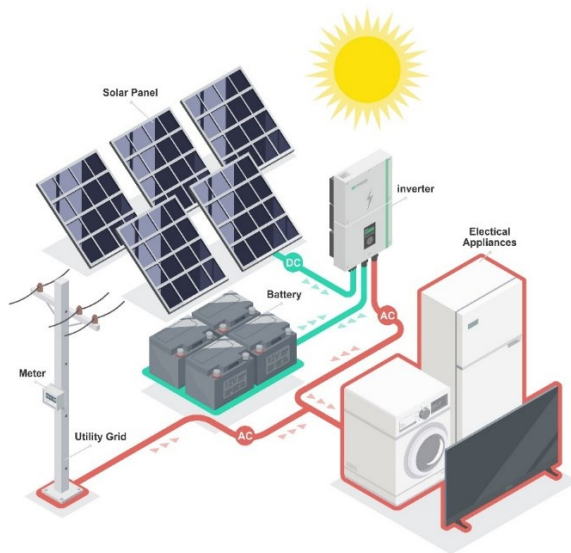


Рис. 1. Структурна схема мережевої сонячної електростанції

Інвертор є центральним вузлом інформаційної системи. Він виконує функцію перетворення постійного струму (DC) від панелей у змінний (AC) та забезпечує MPPT-трекінг (пошук точки максимальної потужності).

Аналіз ринку 2024 року показує, що провідними виробниками інверторів, які формують стандарти передачі даних, є: Huawei, Sungrow, SolarEdge, Fronius, SMA, Growatt (Wood Mackenzie, & Solarbe Global Analytics, 2024). Кожен з них використовує специфічні реєстри Modbus, що створює проблему сумісності (інтероперабельності) при побудові єдиної системи обліку.

Параметри, що підлягають моніторингу:

- Потужність генерації (P_{pv} , Вт) та виробіток за період (P_{daily} , кВт·год).
- Напруга та струм послідовних ланцюгів панелей (V_{dc} , I_{dc}).
- Параметри мережі (V_{ac} , f_{ac}).

- Статус роботи та коди помилок.

Для об'єктів з генерацією критично важливим є облік перетікань енергії. Наприклад, вдень, коли генерація СЕС перевищує власне споживання, надлишок експортується в мережу. Вночі енергія імпортується. Графік добового балансу потужності домогосподарства з СЕС зображено на рис.2.



Рис. 2. Графік добового балансу потужності домогосподарства з СЕС

Принципи обліку енергоресурсів. Побудова ефективної автоматизованої інформаційної системи обліку енергоресурсів неможлива без дотримання низки фундаментальних принципів. Вони визначають вимоги до архітектури системи, точності вимірювань і форматів збереження даних, забезпечуючи їх достовірність і придатність, як для технічного аналізу, так і для комерційних розрахунків. До основних принципів побудови сучасних АІС належать:

- Принцип точності та метрологічної відповідності – вимірювання повинні здійснюватися сертифікованими засобами з регламентованим класом точності (для комерційного обліку електроенергії це зазвичай $0.5S$ або 1.0), що гарантує мінімізацію похибок при зведенні балансу.
- Принцип єдності часу – усі компоненти системи (лічильники, концентратори, сервери) повинні бути синхронізовані за єдиним часом. Розсинхронізація навіть

на кілька секунд може призвести до некоректного розрахунку вартості енергії при використанні зонних тарифів.

- Принцип безперервності та повноти даних – система повинна забезпечувати безперервний збір даних (профілів навантаження) з дискретністю, наприклад, 15, 30 або 60 хвилин. У разі втрати зв'язку з сервером, обладнання нижнього рівня повинно буферизувати дані та передавати їх після відновлення з'єднання.
- Принцип інтероперабельності – здатність системи об'єднувати обладнання різних виробників і поколінь у єдиний інформаційний простір, що є критично важливим в умовах різноманіття протоколів (Modbus, DLMS/COSEM, M-Bus).

Практична реалізація зазначених принципів у технічних рішеннях не є довільною, а суворо регламентується державною політикою. Технічні вимоги до побудови АІС є безпосередньо похідними від законодавчих норм, що формують правове поле енергетики України.

Проектування та експлуатація систем обліку базується на ієрархічній системі нормативно-правових актів. Ця система охоплює як загальні закони, що визначають стратегію енергоефективності держави, так і спеціалізовані кодекси та стандарти, які регулюють технічні аспекти обміну даними та вимоги до обладнання. Систематизацію актуальних нормативних документів станом на 2024–2025 рр., положення яких необхідно враховувати при розробці АІС, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Основні нормативні документи у сфері обліку енергоресурсів

Назва документу	Статус/Коментар	Сфера регулювання в контексті АІС
Закон України «Про енергетичну ефективність» (№ 1818-IX)	Чинний (замінює застарілі норми ЗУ "Про енергозбереження")	Визначає пріоритетність інтелектуальних систем обліку (Smart Metering).

Кодекс комерційного обліку електричної енергії (Постанова НКРЕКП № 311)	Основний документ (зі змінами 2024 р.)	Встановлює технічні вимоги до АСКОЕ (автоматизованих систем комерційного обліку), протоколів та форматів даних (НКРЕКП, 2018).
Закон України «Про ринок електричної енергії»	Чинний	Регулює відносини між учасниками ринку, права споживачів на встановлення власної генерації.
ДСТУ EN ISO 50001:2020	Чинний	Стандарти систем енергетичного менеджменту, що базуються на даних обліку (ДП «УкрНДНЦ», 2020).

Загальна характеристика та класифікація систем обліку енергоресурсів. В умовах цифровізації енергетики, перехід від локальних приладів обліку до комплексних АІС є необхідною умовою для забезпечення енергоефективності. Автоматизована інформаційна система обліку енергоресурсів – це сукупність територіально розподілених засобів вимірювальної техніки, комунікаційного обладнання та спеціалізованого програмного забезпечення, об'єднаних у єдиний інформаційно-обчислювальний комплекс.

За функціональним призначенням прийнято виділяти два основні класи таких систем:

1. АСКОЕ (Автоматизована система комерційного обліку електроенергії) – юридично значуща система, дані якої використовуються для фінансових розрахунків між учасниками ринку. Основні вимоги: захист даних, метрологічна атестація всього каналу вимірювання, відповідність Кодексу комерційного обліку (НКРЕКП, 2018).
2. АСТОЕ (Автоматизована система технічного обліку електроенергії) – система для внутрішнього моніторингу підприємства або домогосподарства. Її мета – аналітика споживання, виявлення втрат, оптимізація режимів роботи обладнання.

У контексті цього дослідження основний акцент робиться на гібридних системах, що поєднують функції технічного моніторингу (зокрема, параметрів роботи сонячних інверторів) та елементи комерційного обліку (фіксація обсягів експорту/імпорту).

Концептуальна архітектура систем обліку. Незалежно від типу енергоресурсу чи масштабу об'єкта, побудова АІС здійснюється за ієрархічним принципом. Стандартна архітектура, що відповідає міжнародним рекомендаціям, зокрема серії стандартів IEC 62056 (DLMS/COSEM) (IEC, 2014), складається з трьох рівнів.

1. Нижній рівень (Рівень збору даних / Perception Layer) – охоплює первинні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) та інтелектуальні датчики, що встановлюються безпосередньо у точках обліку. До них належать:
 - Електронні лічильники електроенергії (Smart Meters) з цифровими інтерфейсами (RS-485, PLC, RF).
 - Мережеві сонячні інвертори, які в даній архітектурі виступають як джерела телеметрії.
 - Датчики параметрів навколишнього середовища (температури, інсоляції), необхідні для аналізу ефективності СЕС.
2. Середній рівень (Рівень транспортування даних / Network Layer) – забезпечує зчитування інформації з пристроїв нижнього рівня, її консолідацію, тимчасове зберігання та передачу на верхній рівень. Основними компонентами є:
 - Пристрої збору та передачі даних (ПЗПД) або концентратори даних (DCU – Data Concentrator Unit).
 - Шлюзи протоколів (Gateways), що виконують конвертацію фізичних інтерфейсів (наприклад, Modbus RTU в Modbus TCP) та протоколів передачі даних.
 - Канали зв'язку (GSM/GPRS/4G, Ethernet, Wi-Fi, LoRaWAN), вибір яких залежить від територіального розташування об'єкта та вимог до швидкодії (ISO, 2013).

3. Верхній рівень (рівень обробки та представлення даних / Application Layer) – це апаратно-програмний комплекс (сервер бази даних + сервер застосунків), де відбувається:

- Довгострокове зберігання архівів даних.
- Аналітична обробка (побудова балансів, прогнозів).
- Візуалізація інформації для користувача через вебінтерфейс або мобільний застосунок.

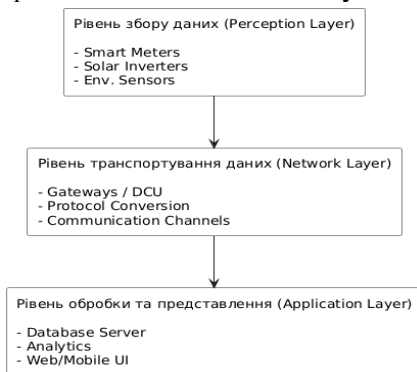


Рис. 3. Узагальнена трирівнева архітектура АІС обліку енергоресурсів

Особливості систем моніторингу для розподіленої генерації. Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) вносить суттєві зміни в архітектуру систем обліку. Якщо класична АСКОВЕ фокусується лише на точці приєднання до мережі (лічильнику), то система моніторингу СЕС вимагає глибокої інтеграції з генеруючим обладнанням – інвертором.

Сучасні інвертори оснащуються модулями зв'язку (Data Loggers), які реалізують один із двох підходів до передачі даних:

1. Хмарна архітектура (Cloud-based): інвертор відправляє дані безпосередньо на сервер виробника (FusionSolar, SolarEdge Monitoring Portal, SMA Sunny Portal). Недоліком цього підходу є закритість даних і залежність від інтернет-з'єднання.
2. Локальна архітектура (Local access): доступ до даних здійснюється через локальні інтерфейси (RS-485, Ethernet) за відкритими протоколами.

Найбільш поширеним стандартом для локального опитування інверторів є протокол Modbus. Проте, проблематика полягає у відсутності повної уніфікації карт реєстрів (Register Maps) між різними виробниками. Хоча є ініціатива SunSpec Alliance (*SunSpec Alliance, n.d.*), спрямована на стандартизацію інформаційних моделей для сонячної енергетики, багато виробників продовжують використовувати пропріетарні адреси реєстрів для розширених параметрів телеметрії.

Це створює потребу у розробленні проміжного програмного забезпечення (Middleware), здатного адаптуватися до різних моделей обладнання.

Огляд пропріетарних рішень від виробників обладнання. Більшість виробників інверторного обладнання пропонують власні хмарні системи моніторингу. Найбільш показовим прикладом, враховуючи домінування на ринку України, є екосистема Huawei FusionSolar.

Huawei FusionSolar – це хмарна платформа, яка отримує дані від інверторів через комунікаційні модулі (Smart Dongle WLAN/FE/4G) або реєстратори даних (SmartLogger).

Перевагою цієї платформи є глибока інтеграція з обладнанням (можливість налаштування інвертора, оновлення прошивок), детальна діагностика до рівня окремої сонячної панелі (при використанні оптимізаторів), безкоштовний базовий доступ. Недоліками вказаної системи є приклад прив'язки до виробника (Vendor lock-in). Інтеграція обладнання сторонніх брендів (наприклад, інвертора Fronius або Victron) у FusionSolar неможлива або вкрай обмежена, що створює проблему фрагментації даних для об'єктів зі змішаним парком обладнання (*Huawei Technologies, 2023*).

На рис. 4 зображено фрагмент застосунку FusionSolar.

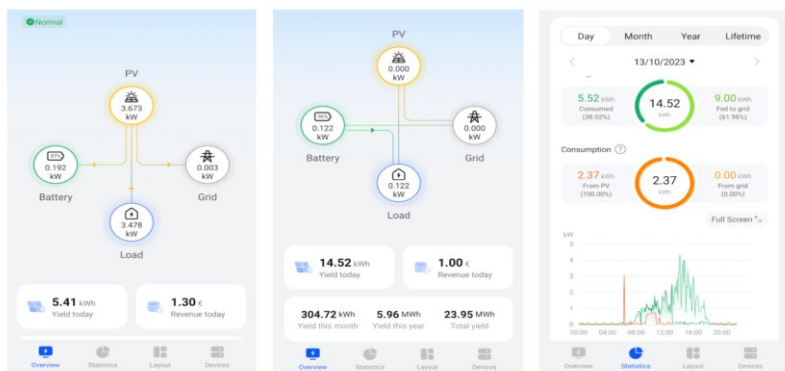


Рис. 4. Інтерфейс системи моніторингу Huawei FusionSolar

Універсальні системи енергомоніторингу. Альтернативою закритим системам є універсальні платформи, розроблені незалежними компаніями. Яскравим представником цього класу є платформа Stuart (Stuart EMS). Це рішення позиціонується як апаратно-незалежна операційна система для розподіленої енергетики. Її властивості є такими.

- Архітектура: Stuart використовує власні IoT-шлюзи чи сумісні контролери для збору даних за стандартними протоколами (Modbus TCP/RTU, SunSpec, OCPP для зарядних станцій).
- Функціональність: система здатна об'єднувати в єдиному інтерфейсі сонячні інвертори різних брендів (SMA, SolarEdge, Huawei, Fronius), системи зберігання енергії, дизель-генератори та зарядні станції для електромобілів.

Перевагою є високий рівень інтероперабельності, можливість створення складних сценаріїв керування (Load Shifting), сучасний API для інтеграції. А недоліком є певні обмеження, зокрема, система розповсюджується за моделлю SaaS (Software as a Service), що передбачає регулярні ліцензійні платежі. Крім того, вихідний код системи є закритим, що унеможливує її модифікацію під специфічні наукові чи нестандартні завдання без участі розробника (*Stuart Energy, n.d.*).

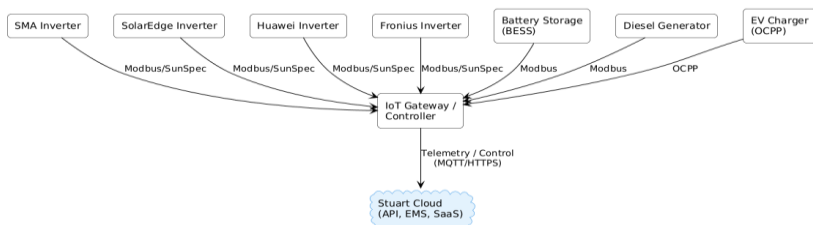


Рис. 5. Концептуальна схема роботи платформи Stuart

Системи автоматизованої торгівлі енергією. З упровадженням в Україні механізму Net Billing (активного споживача) та ринку "на добу наперед", виникла потреба в системах, які не тільки моніторять, а й автоматично керують потоками енергії для максимізації прибутку. Прикладом такого рішення є продукти компанії Photomate (зокрема, контролери Apparatus та відповідне ПЗ). Система аналізує прогноз генерації СЕС та коливання погодинних цін на електроенергію. На основі цих даних контролер автоматично приймає рішення: заряджати акумулятори (коли ціна низька), продавати енергію в мережу (коли ціна висока) або обмежувати генерацію (щоб уникнути штрафів за небаланси). Рішення орієнтовано на професійних учасників ринку. Хоча воно забезпечує високий рівень автоматизації, його сумісність часто оптимізована під конкретну лінійку обладнання, що обмежує гнучкість системи для модернізації наявних станцій на базі іншого обладнання (Photomate, n.d.). На рис. 6 можемо побачити фрагмент з додатку Photomate EMS.

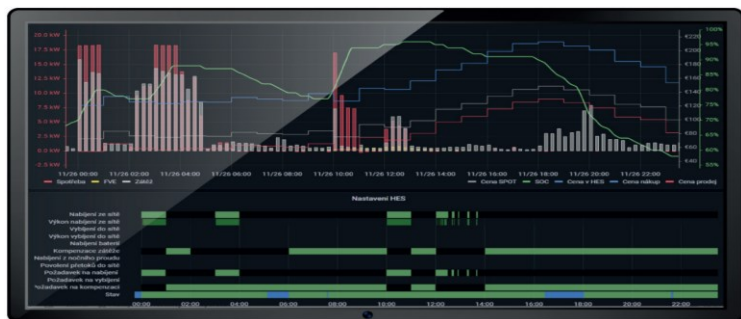


Рис. 6. Інтерфейс системи моніторингу Photomate EMS

Порівняльний аналіз. Аналіз розглянутих рішень дозволяє зробити висновок про наявність розриву між закритими системами та дорогими комерційними агрегаторами. Результати порівняльного аналізу показано у табл. 3.

Таблиця 3

Порівняльний аналіз наявних систем обліку енергоресурсів

Характеристика	Huawei FusionSolar	Stuart	Photomate	Пропонований прототип
Тип архітектури	Cloud-based (Хмарна)	Cloud-based (SaaS)	Hybrid / Trading	Local-First
Підтримка обладнання	Тільки Huawei	Мультибрендова (SunSpec, Modbus)	Переважно Huawei + специфічні лічильники	Мультибрендова
Доступ до даних	Cloud API	API (повний)	Спеціалізований	Повний доступ до БД
Локальне керування	Обмежене (залежить від хмари)	Так (через локальний контролер)	Так (високий пріоритет)	Так (Локальний сервер)
Гнучкість (Customization)	Низька	Середня (через запит до vendor)	Низька (Black box)	Висока (Відкриті протоколи та API)
Підтримка обладнання	Тільки Huawei	Мультибрендова (SunSpec, Modbus)	Переважно Huawei + специфічні лічильники	Мультибрендова (Універсальний драйвер)

Дискусія і висновки

У процесі дослідження було здійснено комплексний аналіз проблем створення автоматизованих інформаційних систем обліку енергоресурсів в умовах переходу до розподіленої генерації. Порівняння наявних рішень, зокрема пропріетарних платформ та універсальних хмарних сервісів, дозволило виявити суттєвий технологічний розрив між ними. Встановлено, що закриті екосистеми виробників обладнання, хоча і забезпечують глибоку інтеграцію, створюють проблему «Vendor lock-in», що унеможливорює ефективне об'єднання інверторів і лічильників

різних брендів у єдиний контур керування без втрати функціональності та призводить до фрагментації даних. Водночас більшість універсальних рішень базуються на моделі SaaS та хмарній архітектурі, що створює ризики залежності від стабільності інтернет-з'єднання та передбачає постійні операційні витрати.

Запропонований у роботі підхід до побудови АІС базується на концепції «Local-First», що забезпечує автономність роботи на локальному рівні та є відповіддю на виявлені недоліки хмарних архітектур. Ключовою відмінністю розробленої архітектури є використання уніфікованого драйвера, який дозволяє стандартизувати збір даних через протоколи Modbus та SunSpec, що нівелює проблему відсутності уніфікації карт реєстрів у різних виробників і забезпечує відповідність принципам інтероперабельності, що є критично важливим для створення єдиного інформаційного простору.

Отримані результати підтверджують необхідність переходу від пасивного обліку споживання до двонаправленого моніторингу перетікань енергії, що зумовлено зростанням кількості активних споживачів і впровадженням механізмів Net Billing. Розроблені методи та засоби дозволяють створювати масштабовані системи енергомоніторингу, які поєднують надійність промислових рішень із гнучкістю відкритих платформ, що створює технічне підґрунтя для інтеграції різномірних джерел відновлюваної енергії в єдину мережу, сприяючи підвищенню енергоефективності та точності комерційних розрахунків.

Список використаних джерел

Верховна Рада України. (2021). *Про енергетичну ефективність* (Закон України № 1818-IX). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20>

ДП «УкрНДНЦ». (2020). Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо використання (ДСТУ EN ISO 50001:2020).

Кабінет Міністрів України. (2024). *Національний план з енергетики та клімату України на період до 2030 року*.

НКРЕКП. (2018). *Кодекс комерційного обліку електричної енергії* (Постанова № 311). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18>

Huawei Technologies Co., Ltd. (2023). *Huawei FusionSolar Smart PV Solution Technical Whitepaper*.

IEC. (2014). *Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite* (IEC 62056-1-0:2014). International Electrotechnical Commission.

ISO. (2013). *Information technology – Security techniques – Information security management systems* (ISO/IEC 27001:2013). International Organization for Standardization.

Photomate. (n.d.). *Apparatus Technical Specifications*. URL: <https://www.photomate.eu/>

Stuart Energy. (n.d.). *Stuart Energy Platform Documentation*. URL: <https://stuart.energy/>

SunSpec Alliance. (n.d.). *SunSpec Information Models*. URL: <https://sunspec.org/specifications/>

Wood Mackenzie, & Solarbe Global Analytics. (2024). *Global Solar Inverter Market Share Report 2024*.

References

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024). National Energy and Climate Plan of Ukraine for the period up to 2030. Kyiv.

Huawei Technologies Co., Ltd. (2023). Huawei FusionSolar Smart PV Solution Technical Whitepaper.

IEC. (2014). Electricity metering data exchange - The DLMS/COSEM suite (IEC 62056-1-0:2014). International Electrotechnical Commission.

ISO. (2013). *Information technology – Security techniques – Information security management systems* (ISO/IEC 27001:2013). International Organization for Standardization.

NEURC. (2018). Code of commercial metering of electricity (Resolution No. 311). National Energy and Utilities Regulatory Commission. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18>

Photomate. (n.d.). *Apparatus Technical Specifications*. URL: <https://www.photomate.eu/>

SE "UkrNDNC". (2020). Energy management systems. Requirements with guidance for use (DSTU EN ISO 50001:2020).

Stuart Energy. (n.d.). *Stuart Energy Platform Documentation*. URL: <https://stuart.energy/>

SunSpec Alliance. (n.d.). *SunSpec Information Models*. URL: <https://sunspec.org/specifications/>

Verkhovna Rada of Ukraine. (2021). Law of Ukraine "On Energy Efficiency" (No. 1818-IX). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20>

Wood Mackenzie, & Solarbe Global Analytics. (2024). *Global Solar Inverter Market Share Report 2024*.

Отримано редакцією журналу / Received: 26.09.25

Прорецензовано / Revised: 27.09.25

Схвалено до друку / Accepted: 01.10.25

Valentyna PLESKACH, DSc (Econ.), Prof.

ORCID ID: 0000-0003-0552-0972

e-mail: valentyna.pleskach@knu.ua

Maksym HRYNCHAK, Student

ORCID ID: 0009-0005-2207-4179

e-mail: hrynychak.m@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

METHODS AND MEANS OF CREATING AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR ENERGY RESOURCES ACCOUNTING

The article discusses methods and tools for creating automated information systems (AIS) for energy resource accounting in the context of the transition to distributed generation and the Smart Grid concept. The interoperability issues of modern monitoring tools caused by the use of closed proprietary protocols by equipment manufacturers are analyzed, which leads to data fragmentation and complicates the creation of a unified information space. The paper presents the results of research and development of the accounting system architecture, which, unlike existing cloud solutions, is based on the principle of local autonomy (Local-First). The proposed approach involves the use of a unified driver for Modbus and SunSpec protocols, which ensures the possibility of integrating inverters and meters of different brands (Huawei, Fronius, SolarEdge, etc.) without financial costs for specialized proprietary software. Considerable attention is paid to data collection methods at the lower level of the architecture and solving the problem of bidirectional monitoring of energy flows for active consumers ("prosumers"). The obtained results can be used to build scalable energy monitoring systems for households and enterprises, which will help increase energy efficiency and the accuracy of commercial settlements.

Keywords: *automated energy accounting system, Smart Grid, distributed generation, Modbus protocol, SunSpec Alliance, interoperability, energy consumption monitoring, renewable energy sources.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.