



УДК 621.331:621.311.6.03

AUTOMATION OF MONITORING AND ACCOUNTING PROCESSES OF ELECTRICITY AT THE ENTERPRISE

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ МОНІТОРИНГУ ТА ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Sokolova N.P./ Соколова Н.П.*к.т.н., доц./c.t.s., as.prof.*

ORCID: 0000-0001-5190-2934

Deviatkina S.S./ Дев'яткіна С.С.*к.т.н., доц./c.t.s., as.prof.*

ORCID: 0009-0001-9495-4213

Prokhorenko I.V. / Прохоренко І.В.*к.т.н., доц./c.t.s., as.prof.*

ORCID: 0000-0002-3397-662X

Mazur T.A./ Мазур Т.А.*к.т.н./c.t.s.*

ORCID: 0000-0001-8378-6763

Tymoshenko N. A./ Тимошенко Н.А.*к.т.н., доц./c.t.s., as.prof.*

ORCID: 0000-0002-9713-7876

*ДУ «Київський авіаційний інститут», Київ, пр-т Л.Гузара, 1, 03058
State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, ave. L. Huzara, 1, 03058*

Анотація. У даній роботі розглянуто стан сучасних систем автоматизації контролю та обліку енергії, технічного обліку та сучасні підходи до їх побудови на промислових підприємствах. Сучасні системи контролю та обліку енергії відіграють стратегічну роль у процесі цифрової трансформації промислових підприємств. В умовах зростання вартості енергоресурсів, посилення екологічних вимог та необхідності підвищення операційної ефективності впровадження даних систем стає інструментом контролю та елементом сталого розвитку і конкурентоспроможності. Сучасні системи обліку та контролю енергоресурсів, такі як автоматизовані системи комерційного обліку енергії, SCADA-комплекси, IoT-платформи та інтелектуальні вимірювальні прилади дозволяють суттєво підвищити прозорість, керованість та ефективність енергетичних процесів. Вони забезпечують оперативний збір, передачу, зберігання та аналіз даних у реальному часі, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень. У роботі проаналізовано архітектуру та ключові компоненти системи зокрема інтелектуальні прилади обліку, програмно-апаратні комплекси, SCADA-системи та аналітичні модулі. Особливу увагу приділено методології проектування систем, критеріям вибору обладнання та аспектам інтеграції з корпоративною IT-інфраструктурою. Наведено практичні приклади впровадження АСКОВ на підприємствах із аналізом досягнутих економічних і виробничих ефектів. Виокремлено основні проблеми та обмеження, пов'язані з впровадженням системи контролю, включаючи технічні, організаційні та нормативні бар'єри. Окреслено перспективні напрями розвитку: використання технологій Інтернету речей (IIoT), штучного інтелекту. Зроблено висновок щодо важливості сучасних систем автоматизації контролю та обліку енергії як складової цифрової трансформації та сталого розвитку підприємств.

Ключові слова: автоматизована система контролю та обліку енергоресурсів, моніторинг, інтелектуальні лічильники, електроенергія, лічильник електроенергії, технічний облік.



Вступ. В умовах економічної кризи та обмеженості енергоресурсів особливо гостро постає питання контролю за споживанням електроенергії і підвищення ефективності її використання. Питання ефективного контролю та обліку енергії набувають особливої значущості для промислових підприємств. Впровадження сучасних цифрових рішень у систему управління енергоспоживанням є актуальним.

Разом з цим постійно зростають вимоги споживачів/обладнання до якості електроенергії, оскільки вихід за допустимі межі напруги або струму може привести до виходу з ладу обладнання, а значить до суттєвих матеріальних втрат.

Одним із напрямів рішення даної задачі являється впровадження на об'єкті сучасних систем контролю та комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) та проведення технічного обліку енергоресурсів. Сучасні системи обліку та контролю енергоресурсів, такі як автоматизовані системи комерційного обліку енергії, SCADA-комплекси, IoT-платформи та інтелектуальні вимірювальні прилади дозволяють суттєво підвищити прозорість, керованість та ефективність енергетичних процесів. Вони забезпечують оперативний збір, передачу, зберігання та аналіз даних у реальному часі, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

Особливої актуальності ця тематика набуває у контексті реалізації міжнародних стандартів енергоефективності, таких як ISO 50001, а також у рамках досягнення цілей сталого розвитку (Sustainable Development Goals, SDGs).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковці і практики активно досліджують питання створення та впровадження систем контролю й обліку енергії на підприємствах. У працях [1–5] висвітлюються методи підвищення енергоефективності за допомогою автоматизованих систем контролю, а також можливості інтеграції таких систем у загальну інфраструктуру енергоменеджменту підприємства. Зокрема, в [3] представлено класифікацію сучасних SCADA-систем, їхню архітектуру та функціональні можливості, а в [4] розглянуто економічну ефективність впровадження систем моніторингу



енергоспоживання в реальних промислових умовах.

У дослідженнях [6, 7] наголошується на доцільності використання Інтернет-технологій (IoT) для збору й аналізу енергетичних даних. Автори [8, 9] підкреслюють значення енергетичного аудиту як початкового етапу впровадження системи та визначення потенціалу енергозбереження. Праця [10] присвячена питанням стандартизації та інформаційної безпеки при розробці та експлуатації СКОЕ.

Незважаючи на наявність значної кількості публікацій, актуальними залишаються проблеми забезпечення сумісності між різними компонентами систем, адаптації до галузевих специфік та інтеграції з корпоративними ІТ-платформами. Також існує потреба в подальшому дослідженні практичного ефекту від впровадження СКОЕ у контексті цифрової трансформації виробництва.

Формулювання мети дослідження.

Метою дослідження є провести системний аналіз сучасних технічних рішень у галузі обліку та контролю електричної енергії промислових підприємствах, виявити їх ключові характеристики, переваги та обмеження, а також оцінити ефективність впровадження на практиці.

Об'єкт дослідження - автоматизовані та інтелектуальні системи енергообліку.

Предметом дослідження є принципи функціонування, архітектура, інтеграційні можливості та економічна ефективність сучасних систем контролю та обліку енергії.

Основний текст. Автоматизовані системи комерційного обліку енергії - інтегровані технологічні комплекси, призначені для автоматизації процесів моніторингу, аналізу та управління споживанням енергетичних ресурсів на підприємствах. Дані системи забезпечують централізований збір, передачу та обробку даних про споживання електроенергії з подальшою передачею інформації до систем управління підприємством. Ці системи орієнтовані насамперед на точність обліку, відповідність нормативним вимогам та надання



даних для розрахунків із постачальниками.

Метою впровадження систем є контроль своєчасності та якості проведення технічного обслуговування, контроль і економія витрат енергоносіїв та витратних матеріалів підприємством за рахунок наступних чинників:

- вибору оптимального по енергоспоживанню комплексу обладнання для виконання певних технологічних завдань;
- контролю за споживанням енергоресурсів кожним механізмом, агрегатом;
- дотримання заявленого погодинного графіка споживання енергоресурсів;
- складання прогнозованого графіка споживання енергоресурсів;
- контролю своєчасності та якості проведення регламентованих видів технічного обслуговування;
- контролю використання запасних частин та витратних матеріалів.

Системи АСКОЕ будуються по чотирьохрівневому принципу (рис. 1):

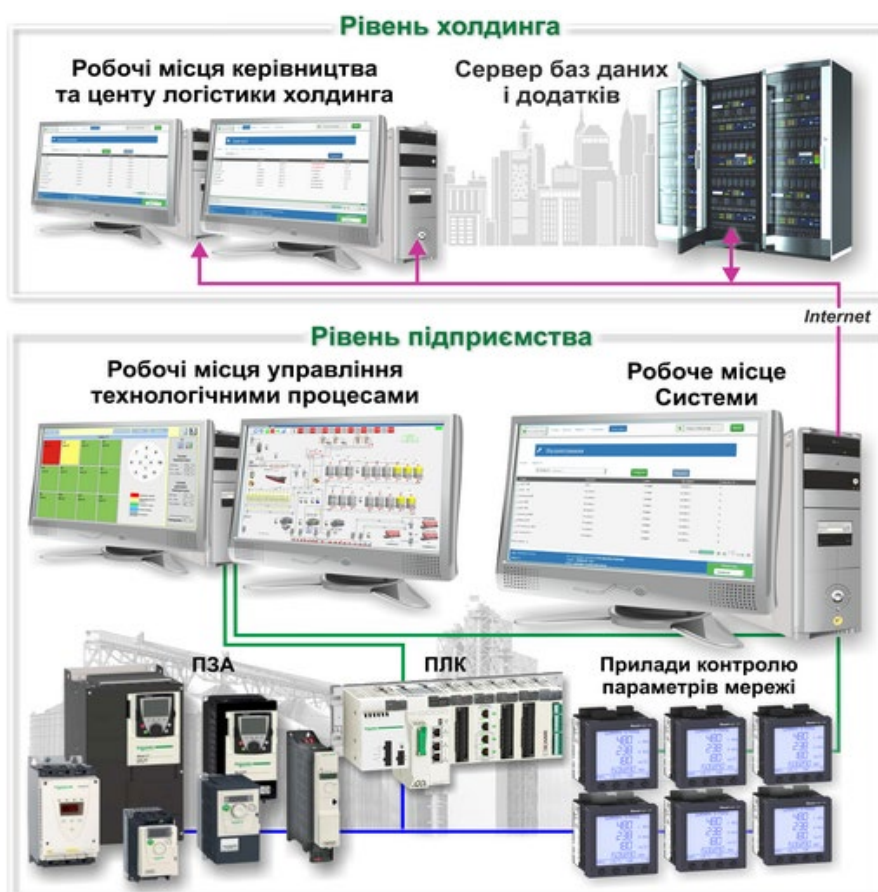
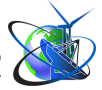


Рисунок 1 - Структурна схема автоматизованої системи контролю та обліку енергоресурсів на підприємстві

Джерело [4]



I рівень (нижній) - Рівень вимірювання включає інформаційно-вимірювальні канали, а саме - вимірювальні трансформатори струму і напруги, лічильники електричної енергії, лічильники газу, теплолічильники, витратоміри пально-мастильних матеріалів, та інші прилади. Також використовуються дані, встановлених для управління двигунами обладнання, перетворювачів частоти і плавних пусків.

II рівень (середній)- Рівень збору та передачі даних включає інформаційно-вимірювальний комплекс – обладнання і шафи збору даних і автоматизації (промислові контролери (PLC), модулі комунікацій (Modbus, M-Bus, Ethernet, GSM/4G, LoRaWAN), проміжні концентратори даних). Також можуть бути використані дані від штатних контролів систем автоматизованого керування технологічними процесами.

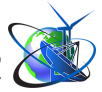
III рівень (верхній) - Серверний рівень включає інформаційно-вимірювальний комплекс (ICK), що включає сервер збору даних, локальні і віддалені ПК автоматизованих робочих місць (SQL, Time-Series DB). Також можуть бути використані дані від програмного забезпечення систем автоматизованого керування технологічними процесами (SCADA/EMS (Energy Management System)).

IV рівень (рівень холдингу) включає сервер збору даних модулі візуалізації (дашборди, звітність), алгоритми аналізу та прогнозування споживання; системи контролю та оптимізації), локальні і віддалені автоматизовані робочі місця персоналу холдингу (робочі місця операторів та енергоменеджерів; Веб- та мобільні інтерфейси; системи сповіщення про аварії та відхилення)

Основні елементи візуалізації для АСКОЕ (рис.2) :

- дашборди (панелі моніторингу) -графіки споживання електроенергії у реальному часі; індикатори пікового та середнього навантаження; порівняння фактичних даних з плановими.

- тривожні повідомлення та індикатори - сигнали про перевищення ліміту споживання, попередження про відхилення параметрів напруги та частоти.



- аналітичні графіки та звіти - денний, тижневий, місячний аналіз; розподіл споживання по підрозділах; тренди та прогнозування.
- картографічна візуалізація - геоприв'язка споживання для розподілених об'єктів; мапи з інтерактивними точками обліку.
- інтеграція з SCADA та ERP - можливість оперативного керування обладнанням; передача даних у системи планування ресурсів.



Рисунок 2 - Елементи візуалізації АСКОЕ

Невід'ємними умовами сталого розвитку електроенергетики в рамках концепції Smart Grid поряд із вдосконаленням інфраструктури є інтеграція до електричної мережі інформаційних технологій та модернізація бізнес-процесів.

Організація сучасних систем обліку електроенергії на підприємстві дозволяє:

- автоматичний технічний та комерційний облік електроенергії;
- контроль технологічних параметрів електропостачання;
- побудова графіків на різних часових відрізках (доба, тиждень, місяць);
- аналіз та управління споживанням енергії в оперативному режимі;
- планування та коригування режимів енергоспоживання;
- виявлення спотворень від навантажень;



- відсутність витрат на розробку та обслуговування каналів радіозв'язку;
- контроль граничної потужності;
- управління доступом на місцях;
- економія енергоресурсів та продовження ресурсу електрообладнання.

За останні кілька років автоматизовані системи обліку електроенергії (АСКОЕ) зазнали значних змін завдяки впровадженню новітніх технологій і інновацій. Системи обліку електроенергії стали більш інтелектуальними, ефективними та зручними для користувачів, а також забезпечують нові можливості для енергозбереження та моніторингу.

Таблиця 1 - Порівняльний аналіз сучасних АСКОЕ

Тип системи	Основні функції	Переваги	Недоліки	Приклади застосування
АСКОЕ	комерційний облік, архів даних	точність	обмежена аналітика	промислові підприємств
SCADA	управління, візуалізація, архів	гнучкість, інтеграція з іншими системами	висока вартість, складність впровадження	енергетичні мережі, виробництво
IoT-системи	дистанційний моніторинг, аналітика	мобільність	залежність від інфраструктурної мережі	розподільчі об'єкти, ЖКГ
Smart Metering	облік, самодіагностика	дані в реальному часі, автоматизація	вимагає інвестицій, безпека	житловий сектор, приватні будинки

Дана класифікація дозволить виділити оптимальні рішення в залежності від масштабу підприємства, характеру його діяльності та вимог до аналітики та автоматизації.

Основні зміни і тенденції розвитку автоматизованих систем обліку електроенергії останніх років включають:

1. Інтелектуальні лічильники (smart meters) з можливістю використання штучного інтелекту.

Останнім часом спостерігається активне впровадження інтелектуальних лічильників, які мають можливість дистанційного зчитування показників без необхідності фізичної присутності технічного персоналу. Ці лічильники забезпечують:



- збір даних в реальному часі;
- трансляцію інформації про споживання електроенергії на сервери енергопостачальних компаній;
- можливість моніторингу витрат через мобільні додатки та онлайн-платформи;
- модернізацію інфраструктури з підтримкою IoT (Інтернет речей), що дозволяє покращити точність і надійність обліку;

В інтелектуальних облікових системах технічний облік електроенергії наповнює бази даних для обробки команд з управління розподілом та споживанням енергоресурсів у кожній тарифній зоні. Керуючий алгоритм утримує витрати електроенергії по кожній гілці розподільної мережі у встановлених межах; зменшується ризик перевищення лімітів споживаної потужності під час пікових навантажень.

Система управління енергоресурсами EMS особливості:

- онлайн моніторинг та споживання кожного вузла, механізму;
- автоматизація та контроль режимів роботи застарілого обладнання;
- система управління енергоресурсами;
- контролює екологічні та технологічні параметри;
- контроль якості електроенергії;
- планування та онлайн-контроль споживання енергоресурсів;
- аналітика вартості енергоносіїв із формуванням дієвого режиму споживання;
- моніторинг та дезодорація якості повітря AirQ SANI O3;
- редактор формул для розрахунку вартості енергії EnB, EnPI (Energy Performance Indicator), KPI (Key Performance Indicators);
- журнал профілактичного та сервісного обслуговування;
- сертифікація ISO 50001.

2. Інтеграція з інформаційно-управлінськими системами з іншими інформаційними системами для аналізу даних, прогнозування споживання та управління енергетичними потоками. Це дозволяє:



- 1) здійснювати оперативний аналіз та оптимізацію розподілу електроенергії.
- 2) визначати місця потенційних витоків або неефективного споживання енергії.
- 3) підвищувати ефективність планування та управління енергоспоживанням.

3. Можливість дистанційного налаштування та управління параметрами роботи лічильників, виконувати вимикання/включення споживачів енергії (в окремих випадках), що знижує витрати на обслуговування і дає змогу швидко реагувати на зміну споживання чи порушення в мережі.

4. Використання блокчейн-технологій для забезпечення прозорості та захищеності систем обліку, що забезпечують незмінність та достовірність даних про споживання енергії. Це особливо важливо для комунальних підприємств і споживачів, які прагнуть до більшої безпеки та гарантії того, що дані не будуть змінені.

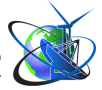
5. Енергетичні платформи для моніторингу споживання електроенергії, що дозволяє:

- знаходити способи для енергозбереження;
- використовувати аналіз даних для оптимізації власного споживання електроенергії;
- контролювати витрати в реальному часі та встановлювати бюджет.

6. Інтеграція з відновлювальними джерелами енергії. Це дозволяє оптимізувати використання енергії, зокрема:

- регулювати потоки енергії між традиційними і відновлювальними джерелами;
- підвищувати ефективність використання відновлюваних джерел енергії в енергосистемах.

7. Мобільні додатки та платформи для кінцевих споживачів, що дозволить зручно отримувати звіти, спостерігати за споживанням, оплачувати рахунки, а також отримувати прогноз споживання на основі історичних даних. Додатки на



базі штучного інтелекту надають персоналізовані поради щодо енергозбереження, допомагаючи споживачам зменшити свої рахунки за спожиту електроенергію.

8. Нова нормативна база і стандартизація

Відбувається постійне оновлення нормативної бази, яка регулює автоматизовані системи обліку, що забезпечує кращу взаємодію між різними постачальниками послуг, підвищує ефективність управління енергетичними ресурсами і знижує вартість обслуговування систем.

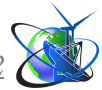
Надання детальних даних про споживання енергії в режимі реального часу, що пропонують споживачам, постачальникам та операторам мереж повне уявлення про те, як енергія використовується в будинках та на підприємствах, – дані, які надають ці цифрові пристрої, мають вирішальне значення для розробки рішень на основі штучного інтелекту, які можуть краще оптимізувати використання енергії, знизити витрати та підтримати перехід до низьковуглецевої економіки.

Висновки.

У ході аналізу було розглянуто принципи побудови АСКОВЕ, їх ключові компоненти та технології, методологічні підходи до проектування, а також економічні та організаційні ефекти від впровадження. Окрема увага приділена перспективним напрямкам розвитку автоматизованих систем інтеграції з технологіями IoT, застосуванню штучного інтелекту, використанню цифрових двійників та формуванню систем розумного енергоменеджменту. Ці тренди визначають майбутнє енергетичної ефективності промислових підприємств та їх здатність адаптуватися до викликів сталого розвитку.

Водночас виявлено й суттєві бар'єри: необхідність значних інвестицій та кваліфікованого персоналу, проблеми сумісності із застарілою інфраструктурою, а також ризики інформаційної безпеки. Подолання цих обмежень потребує комплексного підходу, що включає технологічну модернізацію, підготовку кадрів та державну підтримку.

- АСКОВЕ мають модульну архітектуру, що дозволяє адаптувати їх до



специфіки підприємства, масштабувати рішення та інтегрувати з іншими інформаційними системами (ERP, SCADA, MES тощо).

- Впровадження АСКОЕ забезпечує значний економічний ефект, зокрема за рахунок зниження енерговитрат, виявлення втрат та несанкціонованого споживання, а також покращення дисципліни енергоспоживання.

- Ключовими бар'єрами впровадження залишаються висока вартість обладнання та програмного забезпечення, недостатня кваліфікація персоналу, складність інтеграції з наявною інфраструктурою та загрози кібербезпеки.

- Перспективні напрями розвитку АСКОЕ пов'язані з інтеграцією технологій Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту, цифрових двійників та переходом до концепції Smart Energy Management, що дозволяє здійснювати предиктивне управління енерговитратами.

Література:

1. ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use. — International Organization for Standardization, 2018. — 36 p.
2. ДСТУ EN 62053-21:2017. Прилади для вимірювання електричної енергії (стаціонарні прилади) класів точності 1 і 2. — [Чинний від 01.07.2019]. — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017.
3. Мазур І.І., Остроух А.В., Кондратюк Д.М. Системи енергоменеджменту: сучасні підходи та інструменти // Вісник НТУУ "КПІ". Серія: Енергетика. — 2021. — № 2. — С. 22–29.
4. Бурмістров С.Ю. Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ): технології та досвід впровадження // Електротехніка і електромеханіка. — 2020. — № 4. — С. 14–19.
5. Гаврилюк В.М., Черненко О.О. Енергетичний аудит та енергоефективність підприємств: монографія. - Київ: НТУУ "КПІ", 2019. - 164 с.
6. Козлов В.А. Технології SCADA в енергетиці: огляд можливостей // Електротехніка і автоматизація. — 2022. — № 1. — С. 40–45.
7. Степанов Р.О. Інтернет речей в енергетиці: принципи, архітектура,



проблеми // Технічна електродинаміка. — 2021. — № 5. — С. 33–39.

8. Litos Strategic Communication. The Smart Grid: An Introduction. — U.S. Department of Energy, 2020. — 48 p.[Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.energy.gov>

9. Андрущенко Л.І., Павленко В.М. Промислова енергетика: облік, аналіз, оптимізація. — Харків: НТУ "ХПІ", 2018. — 228 с.

10. Павлюк С.П. Управління енергоспоживанням на промислових підприємствах: сучасні підходи // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2023. — № 1(69). — С. 12–18.

Abstract. *In this work, the state of modern energy control and metering automation systems, technical metering, and modern approaches to their construction at industrial enterprises. The architecture and key components of the system are analyzed, including intelligent metering devices, software and hardware complexes, SCADA systems and analytical modules. Particular attention is paid to the system design methodology, equipment selection criteria, and aspects of integration with corporate IT infrastructure. Practical examples of the implementation of Smart meter at are presented with an analysis of the achieved economic and production effects. The main problems and limitations associated with the implementation of the control system are identified, including technical, organizational, and regulatory barriers. Promising development directions are outlined: the use of Internet of Things (IIoT) technologies, artificial intelligence. The conclusion is made on the importance of modern energy control and accounting automation systems as a component of digital transformation and sustainable development of enterprises. Modern energy control and accounting systems play a strategic role in the process of digital transformation of industrial enterprises. In the context of increasing energy resource costs, increasing environmental requirements and the need to increase operational efficiency, the implementation of these systems becomes not just a control tool, but also an element of sustainable development and competitiveness. Modern energy accounting and control systems, such as automated commercial energy accounting systems, SCADA complexes, IoT platforms and intelligent measuring devices, allow to significantly increase the transparency, manageability and efficiency of energy processes. They provide operational collection, transmission, storage and analysis of data in real time, which contributes to making informed management decisions.*

Key words: *automated system for controlling and accounting of energy resources, electricity, technical accounting, Smart Grid, Smart Metering System.*

Стаття відправлена: 12.08.2025 р.