

Козловський Олександр Антонович, к.т.н., доц., доцент кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту, +38(066)282-44-27, kozlovskyioa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6885-5994

*Центральноукраїнський національний технічний університет
пр. Університетський, 8, м. Кропивницький, Україна, 25006*

Бедерак Ярослав Семенович, к.т.н., начальник лабораторії цеху електропостачання Приватного акціонерного товариства «АЗОТ», +38(096)036-66-82, yaroslav0768@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2669-0965

ПрАТ «АЗОТ»

вул. Героїв Холодного Яру, 72, м. Черкаси, Україна, 18028

Орлович Анатолій Юхимович, к.т.н., доц., професор кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту, +38(050)341-15-81, anatolorl@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9934-9776

*Центральноукраїнський національний технічний університет
пр. Університетський, 8, м. Кропивницький, Україна, 25006*

МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ ДОСТОВІРНОСТІ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА АВТОНОМНОМУ ПРИЄДНАННІ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ВМИКАННЯ

Анотація. У статті обґрунтовано методику локального контролю достовірності комерційного обліку електроенергії на автономних приєднаннях трансформаторного вмикання. Запропоновано поєднання статистичного аналізу ретроспективних показів, журналу подій і інструментальної перевірки вимірювального комплексу. Наведено приклад перевірки декадного електроспоживання за сезонним шаблоном і критерієм Ірвіна.

Ключові слова: комерційний облік електроенергії, достовірність обліку, автономне приєднання, трансформаторне вмикання, вузол обліку, статистичний аналіз, критерій Ірвіна, журнал подій лічильника, інструментальна перевірка

Kozlovskiy Oleksandr, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Systems and Energy Management, +38(066)282-44-27, kozlovskyioa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6885-5994

Central Ukrainian National Technical University

8 Universytetskyi Avenue, Kropyvnytskyi, 25006, Ukraine

Bederak Yaroslav, PhD, Head of the laboratory of the power Supply of the Private Joint-Stock Company «AZOT», +38(096)036-66-82, yaroslav0768@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-2669-0965

PJSC «AZOT»

72 Pershotravneva Str., Cherkassy, 18014, Ukraine

Orlovych Anatolii, PhD, Associate Professor, Professor of the Department of Electrical Systems and Energy Management, +38(066)282-44-27, anatolorl@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6885-5994

Central Ukrainian National Technical University

METHODOLOGY FOR VERIFYING THE ACCURACY OF COMMERCIAL ELECTRICITY METERING AT AN AUTONOMOUS TRANSFORMER CONNECTION

Abstract. *The paper deals with the reliability control of commercial electricity metering at autonomous transformer-operated connections. Such metering points are not continuously monitored by automated data acquisition systems, therefore the analysis is usually based on periodically recorded readings, limited historical data and local inspection results. The study proposes a step-by-step procedure that combines statistical processing of retrospective consumption data with the technical examination of the metering unit. The procedure includes checking accumulated readings, calculating consumption increments, comparing them with retrospective load profiles, analysing active and reactive energy ratios, reviewing meter event logs and, when necessary, performing on-site testing of secondary current and voltage circuits. A practical example based on decade electricity consumption data is presented. Seasonal consumption limits and the Irwin criterion are used to show that a visible increase in consumption should not automatically be interpreted as unreliable metering. The proposed approach helps reduce false alarms and supports better justified decisions on instrumental verification.*

Keywords: *commercial electricity metering, metering reliability, autonomous connection, transformer-operated metering, metering unit, Irwin criterion, event log, vector diagram, on-site testing.*

Постановка проблеми. Достовірність комерційного обліку електричної енергії є необхідною умовою для коректних розрахунків між учасниками ринку, визначення фактичних втрат електроенергії та своєчасного виявлення порушень у роботі вимірювальних комплексів [1, 2]. У вузлах обліку, що входять до складу автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії, первинні дані обліку регулярно зчитуються з бази даних лічильника через цифрові комунікаційні інтерфейси та завантажуються до баз даних систем верхніх рівнів, зокрема пристроїв збирання та передавання даних, серверів автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) і автоматизованих робочих місць. Це дає змогу виконувати дистанційне зчитування показів, контролювати повноту даних, аналізувати журнали подій лічильників, перевіряти умову монотонного неспадання накопичених значень [2], а також використовувати ці дані для виявлення аномальних режимів споживання [3, 4].

Водночас у промисловості та сільському господарстві в експлуатації знаходиться значна кількість автономних вузлів комерційного обліку трансформаторного вмикання. Недостовірність їх обліку може бути зумовлена

технічними, організаційними або навмисними причинами. До них належать неправильне визначення коефіцієнту обліку вузла обліку електроенергії [1], помилки підключення трансформаторів струму (ТС) або трансформаторів напруги (ТН), підвищення перехідного опору контактних з'єднань у вторинних колах, несправність лічильника, помилки персоналу під час зняття показів, а також несанкціоноване втручання в роботу приладу обліку. Частина таких порушень проявляється не як разова груба помилка, а як поступове або систематичне зміщення облікових даних, що ускладнює їх своєчасне виявлення.

За умов, коли контроль достовірності обліку базується на періодично знятих показах, просте порівняння поточного електроспоживання з ретроспективним профілем навантаження та встановленими межами допустимих відхилень є недостатнім. Такий підхід призводить до двох принципових проблем. З одного боку зміни навантаження можуть помилково класифікуватися як ознаки недостовірності обліку, а з іншого – окремі технічні несправності вимірювальних кіл або помилки підключення можуть тривалий час залишатися непоміченими, якщо аналіз обмежується лише порівнянням загальних обсягів споживання за суміжні періоди.

Таким чином, проблема контролю достовірності обліку на автономному приєднанні трансформаторного вмикання полягає в тому, що доступна облікова інформація є обмеженою, а її аналіз лише за загальними обсягами електроспоживання не забезпечує надійного розмежування реальних змін навантаження та ознак недостовірного обліку. За цих умов задача локальної верифікації достовірності облікової інформації за сукупністю доступних діагностичних ознак є актуальною. Одним із шляхів розв'язання цієї задачі може бути поєднання статистичної перевірки ретроспективних даних, аналізу режимних обмежень приєднання, оцінювання співвідношення активної та реактивної енергії, аналізу журналу подій лічильника, перевірки векторної діаграми та інструментальної діагностики вторинних кіл струму і напруги.

Огляд літературних джерел. Сучасні наукові дослідження розглядають проблему виявлення аномалій переважно як задачу аналізу даних

електроспоживання [4, 5]. У таких дослідженнях поширеною є класифікація аномалій на точкові, контекстуальні та колективні [3, 4]. Такий поділ є корисним для попереднього аналізу облікових даних, однак сам по собі не дає змоги встановити технічну причину виявленого відхилення у вузлі обліку.

У роботах, присвячених виявленню аномалій у Smart Grid, значну увагу приділено методам машинного навчання, кластеризації, прогнозування часових рядів та аналізу великих масивів даних [4–6, 7]. Зокрема, розглядаються алгоритми Isolation Forest, Gaussian Naive Bayes, SVM, Random Forest, нейромережеві моделі, автокодувальники та гібридні моделі CNN-LSTM, орієнтовані на автоматичне виявлення нетипової поведінки споживачів [4–6, 9]. Ефективне застосування таких методів передбачає наявність регулярного дистанційного зчитування, достатньої історії вимірювань і синхронізованих часових рядів [2, 4]. Для автономних вузлів комерційного обліку електроенергії такі умови переважно не виконуються.

Для виявлення аномалій у даних електроспоживання застосовують статистичні методи та методи статистичного контролю процесів [3, 4, 8]. Зокрема, у задачах виявлення нетипових змін облікових даних можуть використовуватися контрольні карти Шухарта та метод кумулятивних сум CUSUM [8]. Контрольні карти Шухарта доцільні для виявлення різких і значних відхилень, тоді як CUSUM є більш придатним для фіксації малих, але стійких змін у часовому ряді [8]. У контексті контролю достовірності обліку такі відхилення можуть бути пов'язані з раптовим зменшенням облікового споживання, помилкою у знятих показах або поступовим систематичним зміщенням облікових даних.

Разом з тим статистичні методи мають принципове обмеження: вони дають змогу лише виявити відхилення в облікових даних, але не забезпечують встановлення його технічної причини. Зміна електроспоживання може бути наслідком як недостовірного обліку, так і наступних причин: сезонних коливань, зміни графіка роботи підприємства, ремонту обладнання, запуску нової технологічної лінії або тимчасової зупинки виробництва. Тому застосування лише жорстких статистичних порогів може призводити до значної кількості хибних

підозр, що призведуть до необґрунтованих виїздів електротехнічного персоналу на позачергові перевірки вузла обліку.

Для виявлення помилок підключення трифазних лічильників застосовують аналіз векторної діаграми струмів і фазної напруги, а також математичні моделі впливу монтажних помилок на вимірювання активної та реактивної енергії [10, 11]. Зокрема, за симетричного трифазного навантаження зміна (реверс) полярності одного ТС призводить до того, що відповідна фазна складова потужності враховується лічильником із протилежним знаком. Це може спричинити значний недооблік електроенергії. Невідповідність фаз струмових кіл і кіл напруги також формує характерні векторні ознаки, які можуть бути виявлені за допомогою портативного аналізатора або вбудованих діагностичних функцій сучасного лічильника [10, 11].

Таким чином, у дослідженнях, пов'язаних із контролем достовірності обліку електроенергії, простежуються два основні напрями. Перший зосереджений на виявленні аномалій у даних електроспоживання із застосуванням статистичних та інших математичних методів. Другий ґрунтується на технічному діагностуванні вузлів обліку, зокрема перевірки правильності підключення ТС і ТН, аналізі вторинних кіл і векторних співвідношень. Однак ці напрями зазвичай розглядаються окремо: або як задача аналізу даних, або як задача інструментальної перевірки вимірювального комплексу. Тому методика локального контролю достовірності комерційного обліку електроенергії на автономному одиночному приєднанні трансформаторного вмикання залишається недостатньо формалізованою.

Метою дослідження є вдосконалення контролю достовірності комерційного обліку електроенергії на автономних одиночних приєднаннях трансформаторного вмикання шляхом поєднання статистичного аналізу облікових даних із локальним технічним діагностуванням вимірювального комплексу.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- визначити основні причини недостовірного обліку електроенергії на автономних одиночних приєднаннях трансформаторного вмикання, не під'єднаних до АСКОЕ;

- систематизувати діагностичні ознаки, що можуть свідчити про недостовірність комерційного обліку;

- обґрунтувати послідовність локальної перевірки вузла комерційного обліку за обмеженим набором доступних даних;

- запропонувати алгоритм прийняття рішення щодо необхідності інструментальної перевірки вимірювального комплексу.

Матеріал і результати досліджень. Для подальшого формування методики контролю достовірності обліку доцільно розмежувати поняття «аномалія у показах» та «достовірність обліку». Аномалію у часовому ряді розглянуто як математичну ознаку нетипової поведінки даних, тобто відхилення від очікуваного або ретроспективного профілю електроспоживання. Натомість недостовірність обліку характеризує технічний стан вузла обліку, за якого зафіксований лічильником обсяг електричної енергії не відповідає фактичному обсягу її перетікання через відповідну точку вимірювання. Отже, аномалія в показах може бути підставою для додаткової перевірки, але сама по собі не є доказом недостовірності обліку. Водночас окремі види недостовірності, зокрема помилки підключення або неправильне застосування коефіцієнту обліку вузла обліку, можуть тривалий час не проявлятися як очевидна статистична аномалія.

Для вузлів обліку трансформаторного вмикання особливе значення мають технічні причини недостовірності, пов'язані з роботою трансформаторів струму і напруги, вторинних кіл та схем підключення лічильника. До таких причин належать неправильне визначення або застосування коефіцієнту обліку для відповідного вузла комерційного обліку електричної енергії, реверс полярності вторинних кіл трансформаторів струму, обрив кіл струму або кіл напруги, збільшення перехідного опору контактних з'єднань у вторинних колах, перевищення допустимого навантаження вторинних кіл, несправність запобіжників у колах напруги, помилки параметризації лічильника та помилки

персоналу під час зняття показів. Виявлення таких причин потребує не лише аналізу облікових даних, а й локальної інструментальної перевірки вимірювального комплексу.

З урахуванням зазначеного методика контролю достовірності обліку для автономного приєднання трансформаторного вмикання має враховувати обмеженість доступних даних, нерегулярність зняття показів, відсутність постійного балансового контролю та необхідність зменшення кількості хибних спрацьовувань. Тому доцільним є поєднання статистичної перевірки ретроспективних облікових даних із технічною діагностикою вузла обліку, зокрема аналізом журналу подій лічильника, режимних обмежень приєднання, співвідношення активної та реактивної енергії, векторної діаграми, а також стану вторинних кіл струму і напруги.

Для систематизації причин недостовірності обліку, відповідних діагностичних ознак та способів перевірки виконано групування можливих порушень за характером їх виникнення, результати якого наведено в табл. 1.

Запропонована класифікація (табл. 1) дає змогу розглядати відхилення в облікових даних не ізольовано, а у зв'язку з можливим технічним станом вузла обліку. Наприклад, різке зменшення електроспоживання за розрахунковий період може бути наслідком як фактичної зупинки технологічного процесу, так і зникнення фазної напруги на лічильнику або реверсу полярності одного трансформатора струму. Тому статистична ознака має розглядатися лише як початковий сигнал, після якого необхідно виконати уточнювальну технічну перевірку.

На основі наведеної класифікації причин сформовано послідовність локальної перевірки автономного вузла обліку, яка передбачає поступовий перехід від аналізу облікових даних до інструментальної діагностики вимірювального комплексу.

На 1-му етапі перевіряють коректність вихідних даних: дату зняття показів, тривалість розрахункового періоду, повноту архівів, відповідність тарифних зон, а також умову монотонного збільшення накопичених показів електроенергії:

$$W_i \geq W_{i-1}, \quad (1)$$

де W_i та W_{i-1} – накопичені покази відповідного регістру лічильника у поточний та попередній моменти зчитування. Порушення цієї умови може свідчити про помилку зчитування, некоректне перенесення даних, збій пам'яті лічильника або зміну параметризації приладу обліку.

Таблиця 1 – Основні причини недостовірності обліку та діагностичні ознаки для автономного приєднання трансформаторного вмикавання

Група причин	Приклади причин	Діагностичні ознаки	Спосіб перевірки
Розрахункові та параметричні помилки	неправильне застосування коефіцієнту обліку; помилка у значеннях коефіцієнтів трансформації ТС або ТН; неправильна параметризація лічильника	систематичне заниження або завищення облікованої енергії; невідповідність фактичної схеми даним паспорта-протоколу	перевірка паспорта-протоколу, шильдиків ТС і ТН, параметрів лічильника, схеми підключення
Помилки підключення струмових кіл	реверс полярності вторинного кола ТС; переплутування фаз струмових кіл; обрив вторинного кола ТС	від'ємна або аномально мала фазна потужність; нетипове співвідношення активної та реактивної енергії; різке зменшення облікованої енергії	аналіз векторної діаграми, вимірювання вторинних струмів, перевірка полярності ТС
Порушення в колах напруги	зникнення фазної напруги на вході лічильника; несправність запобіжника; підвищені втрати напруги у вторинному колі ТН	зменшення облікованої енергії за однією фазою; записи у журналі подій; асиметрія фазної напруги на клеммах лічильника	перевірка кіл напруги, запобіжників, журналу подій, вимірювання фазної напруги
Дефекти у вторинних колах	збільшення перехідного опору контактних з'єднань; перевищення допустимого навантаження вторинного кола ТС або ТН	поступова зміна похибки вимірювання; нестійкі або суперечливі покази; нагрівання контактних з'єднань	вимірювання навантаження вторинних кіл, перевірка контактних з'єднань, термографічний або візуальний огляд
Несправність або некоректна робота лічильника	збій пам'яті; некоректна робота вимірювальних каналів; відмова реєстрації подій	порушення монотонного збільшення накопичених показів; пропуски в архівах; невідповідність журналу подій фактичному стану вузла	зчитування архівів, аналіз журналу подій, перевірка еталонним засобом вимірювання
Несанкціоноване втручання	розкриття клемної кришки; вплив магнітного поля; вплив електромагнітних завад (ЕМЗ); спроби зміни параметрів; втручання у вторинні кола	записи у журналі подій; порушення пломбування; різка зміна профілю споживання; невідповідність фактичного навантаження показам лічильника	огляд пломб, аналіз журналу подій, інструментальна перевірка навантаження та схеми підключення
Помилки зняття та обробки показів	помилка персоналу; неправильна дата зняття; некоректне перенесення даних	неможливі або різко нетипові прирости; від'ємне споживання за період; невідповідність тривалості розрахункового інтервалу	перевірка первинних записів, повторне зчитування показів, нормування споживання за тривалістю періоду

На 2-му етапі визначають приріст електроспоживання за розрахунковий період

$$\Delta W_i = W_i - W_{i-1}. \quad (2)$$

Якщо інтервали між зняттям показів є нерівномірними, доцільно виконувати нормування споживання за тривалістю періоду:

$$P_{\text{сеп.}i} = \frac{\Delta W_i}{\Delta t_i}, \quad (3)$$

де $P_{\text{сеп.}i}$ – середня потужність за розрахунковий інтервал; Δt_i – тривалість інтервалу між двома послідовними зчитуваннями. Це дає змогу коректніше порівнювати періоди різної тривалості та зменшити ймовірність помилкового висновку про аномальність споживання.

На 3-му етапі отримані значення порівнюють із ретроспективним профілем навантаження та режимними обмеженнями приєднання. При цьому враховують дозволена потужність, характер технологічного процесу, сезонність, календарні простої, ремонтні періоди та інші фактори, які можуть обґрунтовано змінювати обсяг споживання. Виявлене відхилення не повинно автоматично трактуватися як ознака недостовірного обліку, якщо воно може бути пояснене зміною режиму роботи споживача.

Для попереднього виявлення грубих відхилень у ретроспективних облікових даних може бути використаний критерій Ірвіна. Для часового ряду Y_1, Y_2, \dots, Y_n значення критерію для поточного елемента визначається як

$$\lambda_i = \frac{|Y_i - Y_{i-1}|}{\sigma}, \quad (4)$$

де Y_i – поточне значення електроспоживання за розрахунковий інтервал; Y_{i-1} – попереднє значення; σ – середньоквадратичне відхилення ряду

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_{i-1})^2}{n-1}}. \quad (5)$$

Значення Y_i вважається підозрілим, якщо $\lambda_i > \lambda_{\text{доп}}$, де $\lambda_{\text{доп}}$ залежить від довжини ряду. Для $n = 10, 20, 30, 50, 100$ допустимі значення критерію становлять відповідно 1,5; 1,3; 1,2; 1,1; 1,0.

Для виявлення малих, але стійких відхилень доцільно застосовувати метод кумулятивних сум. Якщо x_i – фактичне електроспоживання за інтервал, а \hat{x}_i – очікуване або базове значення, то залишок визначається як

$$d_i = x_i - \hat{x}_i. \quad (6)$$

Кумулятивна сума відхилень:

$$S_i = S_{i-1} + d_i, S_0 = 0. \quad (7)$$

Стійке зростання S_i свідчить про накопичення перевитрати відносно базового профілю, а стійке зменшення, про можливе систематичне заниження обліку або зміну режиму роботи споживача. У разі перевищення встановленого порога такий випадок має переходити до наступного етапу перевірки, а саме аналізу журналу подій і локальної технічної діагностики.

На 4-му етапі аналізують співвідношення активної та реактивної енергії, наявність різких змін у фазних струмах і фазній напрузі, якщо такі дані доступні з архівів лічильника. Нетипова зміна співвідношення активної та реактивної складових може бути пов'язана не лише зі зміною навантаження, а й з помилками підключення струмових кіл або кіл напруги.

На 5-му етапі виконують аналіз журналу подій лічильника. Особливу увагу доцільно приділяти записам про зникнення або відновлення фазної напруги, розкриття клемної кришки, вплив магнітного поля, коригування часу, зміну параметрів, вимкнення живлення лічильника та інші події, що можуть впливати на достовірність обліку. Наявність таких подій у період, коли спостерігається відхилення в облікових даних, підвищує обґрунтованість рішення про проведення інструментальної перевірки.

На 6-му етапі, за наявності достатніх підстав, виконують локальну технічну перевірку вимірювального комплексу. Вона включає зняття векторної діаграми,

перевірку полярності ТС, вимірювання вторинних струмів, перевірку кіл напруги, оцінювання стану контактних з'єднань, перевірку відповідності фактичної схеми підключення паспортним даним та контроль параметрів лічильника.

Таким чином, у результаті перевірки можливі три типові рішення:

- визнання відхилення реальною зміною режиму споживання;
- віднесення випадку до такого, що потребує додаткового спостереження;
- формування підстав для обов'язкової інструментальної перевірки вимірювального комплексу.

Запропонований підхід до аналізу даних вузла обліку дозволяє зменшити кількість необґрунтованих виїзних перевірок і водночас підвищити ймовірність виявлення реальних причин недостовірного обліку.

Для формалізації локальної перевірки доцільно розглядати не окрему ознаку, а сукупність взаємопов'язаних діагностичних індикаторів. Для відповідної точки комерційного обліку такі індикатори доцільно згрупувати за трьома напрямками:

- статистичні індикатори, що характеризують відхилення поточного електроспоживання від ретроспективного профілю навантаження;
- індикатори подій, що формуються на основі журналу подій лічильника;
- технічні індикатори, що встановлюються під час локальної інструментальної перевірки вимірювального комплексу.

Статистичний індикатор доцільно використовувати як початковий сигнал для поглибленого аналізу. Індикатори подій мають вищу діагностичну значущість, оскільки безпосередньо пов'язані зі станом лічильника або його зовнішніх кіл. Наявність таких ознак у період аномальної зміни електроспоживання підвищує обґрунтованість рішення про необхідність інструментальної перевірки. Найбільшу доказову цінність мають технічні індикатори, отримані під час локальної перевірки вимірювального комплексу, оскільки вони безпосередньо характеризують порушення, що впливають на результат вимірювання..

З урахуванням наведених груп індикаторів рішення щодо подальших дій доцільно приймати за логікою, узагальненою в табл. 2.

Таблиця 2 – Критерії прийняття рішення щодо подальшої перевірки вузла обліку

Результат аналізу	Журнал подій	Технічні ознаки	Рішення
Відхилення пояснюється сезонністю або режимом роботи	відсутні критичні події	не виявлено	Реальна зміна режиму електроспоживання
Є статистичне відхилення	критичних подій немає	технічні ознаки не підтверджені	додаткове спостереження
Є статистичне відхилення	є події, що можуть впливати на облік	потребує перевірки	інструментальна перевірка
Виявлено порушення схеми або кіл	можуть бути або відсутні	підтверджені	висновок про недостовірність обліку

Такий підхід дає змогу використовувати статистичний аналіз як етап попереднього відбору підозрілих випадків, а не як самостійний доказ недостовірності обліку. Остаточне рішення щодо стану вузла комерційного обліку має прийматися з урахуванням журналу подій лічильника, режимних особливостей приєднання та результатів локальної інструментальної перевірки. Це зменшує ризик хибних спрацьовувань і підвищує обґрунтованість рішення щодо подальшої перевірки вимірювального комплексу.

Для ілюстрації запропонованого підходу використано ретроспективні дані декадного електроспоживання за 2025 р. і контрольні значення за січень 2026 р. для приєднання 0,4 кВ, що живить адміністративну будівлю підприємства. За даними 2025 р. сформовано сезонні шаблони електроспоживання (табл. 3), для яких визначено мінімальні, максимальні та середні значення споживання за декаду:

$$W_{\min} = \min(W_i); \quad (8)$$

$$W_{\max} = \max(W_i); \quad (9)$$

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i, \quad (10)$$

де W_i – електроспоживання за i -ту декаду відповідного сезону; n – кількість декад у сезонній вибірці.

Таблиця 3 – Сезонні шаблони електроспоживання за декаду

Сезон	Мінімальне значення, кВт·год	Максимальне значення, кВт·год	Середнє значення, кВт·год
Зима	1273	2758	1967
Весна	1505	1857	1677
Літо	1461	2544	1922
Осінь	1571	1918	1755

Для січня 2026 р. контрольні значення становлять 1951,8; 1956,6 та 2634,6 кВт·год. Усі вони належать до зимового сезонного інтервалу [1273; 2758] кВт·год, тому за сезонним критерієм не класифікуються як грубі відхилення. Водночас значення третьої декади наближається до верхньої межі зимового шаблону, тому за наявності додаткових ознак, зокрема записів у журналі подій або зміни співвідношення активної та реактивної енергії, воно може бути підставою для поглибленого аналізу.

Для переходу від другої до третьої декади січня 2026 р. за формулами (4), (5) отримано $\lambda_3 = 1,43$. Це значення є нижчим за допустиме значення критерію Ірвіна для малої вибірки $n = 10$, яке становить 1,5. Отже, зростання електроспоживання у третій декаді січня 2026 р. не може бути однозначно класифіковане як груба аномалія.

Наведений приклад показує, що статистична перевірка дає змогу попередньо оцінити характер відхилення, однак не встановлює його технічної причини. Тому остаточне рішення щодо необхідності інструментальної перевірки має прийматися з урахуванням журналу подій лічильника, режиму роботи споживача та результатів локальної діагностики вузла обліку.

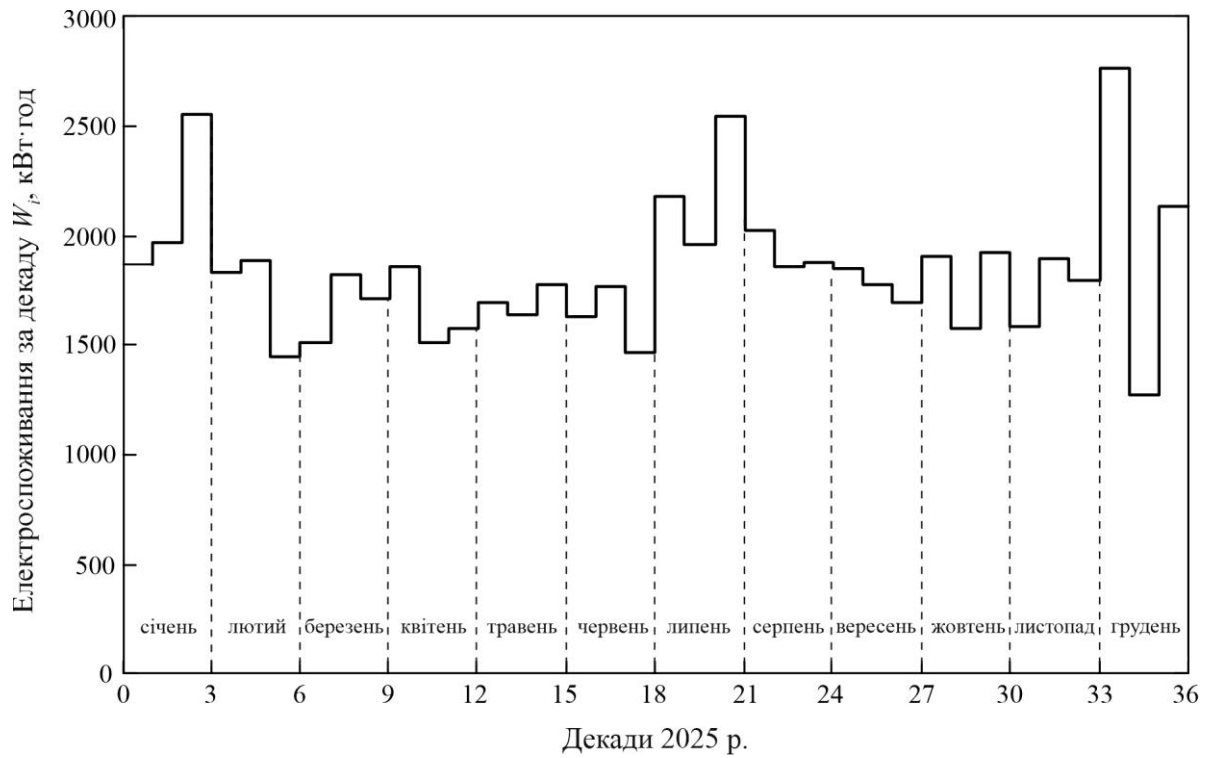


Рисунок 1 – щодакне електроспоживання адмінбудівлі за 2025 р.

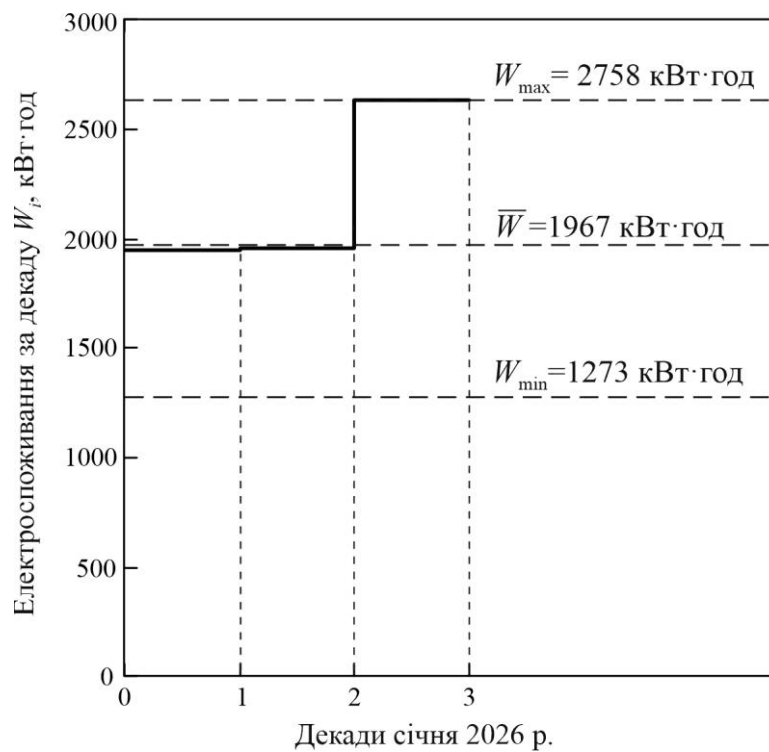


Рисунок 2 – Перевірка щодакного електроспоживання за січень 2026 р. за зимовим сезонним шаблоном

Висновки. Обґрунтовано необхідність розмежування задачі виявлення аномалій у показах лічильника та задачі контролю достовірності комерційного

обліку електроенергії. Показано, що аномалія в облікових даних є лише ознакою можливого відхилення, тоді як недостовірність обліку пов'язана з технічним станом вузла обліку, схемою підключення, параметрами вимірювальних трансформаторів, вторинними колами та роботою самого лічильника.

Систематизовано основні причини недостовірного обліку електроенергії на автономних одиночних приєднаннях трансформаторного вмикання, зокрема помилки визначення коефіцієнта обліку в вузлі обліку, реверс полярності вторинних кіл трансформаторів струму, порушення в колах напруги, збільшення перехідного опору контактних з'єднань, перевищення допустимого навантаження вторинних кіл, несправності лічильника, помилки параметризації та несанкціоноване втручання.

Запропоновано послідовність локальної перевірки автономного вузла обліку, яка передбачає поетапний перехід від аналізу періодично знятих показів до технічного діагностування вимірювального комплексу. Така послідовність включає перевірку коректності вихідних даних, контроль монотонного збільшення накопичених показів, розрахунок приростів електроспоживання, порівняння з ретроспективним профілем навантаження, аналіз співвідношення активної та реактивної енергії, аналіз журналу подій лічильника та, за потреби, інструментальну перевірку вторинних кіл.

Показано, що використання лише статистичних критеріїв може призводити як до хибних спрацьовувань, так і до пропуску технічних причин недостовірного обліку. Тому статистичний аналіз доцільно застосовувати як етап попереднього відбору випадків, які потребують додаткової перевірки, а остаточне рішення приймати з урахуванням журналу подій, режимних особливостей приєднання та результатів локальної інструментальної діагностики.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії. Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 №311. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18>.
2. Коцар О. В. Класифікація даних обліку електричної енергії. *Вимірювальна техніка та метрологія*, 2018. Т. 79. № 2. С. 42–51. DOI: 10.23939/istcmtm2018.02.042

3. Фуріхата Д. В., Вакалюк Т. А. Теоретичні підходи до виявлення аномалій у показах лічильників у науковій літературі. *Технічна інженерія*, 2025. № 1(95). С. 325–331. DOI: 10.26642/ten-2025-1(95)-325-331.
4. Братищенко М. Р., Філімончук Т. В., Майстренко Г. В., Сітніков В. І. Аналіз методів виявлення аномалій у даних про споживання електроенергії. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2024. Т. 1, №75. С. 45–49. DOI: 10.26906/SUNZ.2024.1.045.
5. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly Detection: A Survey. *ACM Comput. Surv.*, 2009. Vol. 41. Iss. 3. Article 15. P. 1–58. DOI: 10.1145/1541880.1541882.
6. Messinis G. M., Hatziargyriou N. D. Review of non-technical loss detection methods. *Electric Power Systems Research*, 2018. Vol. 158. P. 250–266. DOI: 10.1016/j.epr.2018.01.005.
7. Guato Burgos M. F., Morato J., Vizcaino Imacaña F. P. A Review of Smart Grid Anomaly Detection Approaches Pertaining to Artificial Intelligence. *Applied Sciences*, 2024. Vol. 14. No. 3. Article 1194. P. 1–18. DOI: 10.3390/app14031194.
8. Xia X., Lin J., Xiao Y., Cui J., Peng Y., Ma Y. A Control-Chart-Based Detector for Small-Amount Electricity Theft (SET) Attack in Smart Grids. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022. Vol. 9, Iss. 9. P. 6745–6762. DOI: 10.1109/JIOT.2021.3113348
9. Glauner P., Meira J. A., Valtchev P., State R., Bettinger F. The Challenge of Non-Technical Loss Detection using Artificial Intelligence: A Survey. 2016. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2017. Vol. 10. P. 760–775. DOI: 10.2991/ijcis.2017.10.1.51.
10. Zheng H., Lin Z., Lin H., Huang C., Huang X., Ji S., Zhang X. Neural Network Based Power Meter Wiring Fault Recognition of Smart Grids Under Abnormal Reactive Power Compensation Scenarios. *Energies*. 2025. Vol. 18. No. 3. Article 545. DOI: 10.3390/en18030545.
11. Senderovych G., Scherbakova P., Abramovitz A. Error Analysis of Common Power Meter Installation Faults on Three-Phase Networks. *Electronics*, 2024. Vol. 13. No. 8. Article 1501. DOI: 10.3390/electronics13081501.

REFERENCES:

1. Pro zatverdzhennia Kodeksu komertsiiinoho obliku elektrychnoi enerhii. Postanova NKREKP vid 14.03.2018 № 311 [On approval of the Commercial Electricity Metering Code. Resolution of NEURC dated 14.03.2018 No. 311]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18>. [in Ukrainian].
2. Kotsar O. V. Klasyfikatsiia danykh obliku elektrychnoi enerhii [Classification of electricity metering data]. *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia*, 2018. Vol. 79. № 2. P. 42–51. DOI: 10.23939/istcm2018.02.042. [in Ukrainian].
3. Furikhata D. V., Vakaliuk T. A. Teoretychni pidkhody do vyivlennia anomalii u pokazakh lichylnykyv u naukovii literaturi [Theoretical approaches to detecting anomalies in meter readings in the scientific literature]. *Tekhnichna inzheneriia*, 2025. № 1(95). P. 325–331. DOI: 10.26642/ten-2025-1(95)-325-331. [in Ukrainian].
4. Bratysshchenko M. R., Filimonchuk T. V., Maistrenko H. V., Sitnikov V. I. Analiz metodiv vyivlennia anomalii u danykh pro spozhyvannia elektroenerhii [Analysis of methods for detecting anomalies in electricity consumption data]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, 2024. № 1. P. 45–49. DOI: 10.26906/SUNZ.2024.1.045. [in Ukrainian].
5. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly Detection: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 2009. Vol. 41. Iss. 3. Article 15. P. 1–58. DOI: 10.1145/1541880.1541882.
6. Messinis G. M., Hatziargyriou N. D. Review of non-technical loss detection methods. *Electric Power Systems Research*, 2018. Vol. 158. P. 250–266. DOI: 10.1016/j.epr.2018.01.005.
7. Guato Burgos M. F., Morato J., Vizcaino Imacaña F. P. A Review of Smart Grid Anomaly Detection Approaches Pertaining to Artificial Intelligence. *Applied Sciences*, 2024. Vol. 14. №3. Article 1194. DOI: 10.3390/app14031194.
8. Xia X., Lin J., Xiao Y., Cui J., Peng Y., Ma Y. A Control-Chart-Based Detector for Small-Amount Electricity Theft (SET) Attack in Smart Grids. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022. Vol. 9, Iss. 9. P. 6745–6762. DOI: 10.1109/JIOT.2021.3113348.

9. Glauner P., Meira J. A., Valtchev P., State R., Bettinger F. The Challenge of Non-Technical Loss Detection using Artificial Intelligence: A Survey. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2017. Vol. 10. P. 760–775. DOI: 10.2991/ijcis.2017.10.1.51.
10. Zheng H., Lin Z., Lin H., Huang C., Huang X., Ji S., Zhang X. Neural Network Based Power Meter Wiring Fault Recognition of Smart Grids Under Abnormal Reactive Power Compensation Scenarios. *Energies*, 2025. Vol. 18. № 3. Article 545. DOI: 10.3390/en18030545.
11. Senderovych G., Scherbakova P., Abramovitz A. Error Analysis of Common Power Meter Installation Faults on Three-Phase Networks. *Electronics*, 2024. Vol. 13. № 8. Article 1501. DOI: 10.3390/electronics13081501.

Стаття надійшла до редакції: 08.04.2026; рецензування: 15.04.2026; прийнята до публікації 21.04.2026. Автори прочитали и дали згоду рукопису. The article was submitted on 08.04.2026; revised on 15.04.2026; and accepted for publication on 21.04.2026. The authors read and approved the final version of the manuscript.