

УДК 621.316.5

МЕТОДИКА ПОШУКУ ПРИЄДНАННЯ З ДЕФЕКТОМ ОБЛІКУ СЕРЕД ДЕКІЛЬКОХ ПРИЄДНАНЬ НА ОДНІЙ СЕКЦІЇ ШИН

- ВОЛОШКО А. В. д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, e-mail: avolosko820@gmail.com, ORCID0000-0002-6857-2060;
- БЕДЕРАК Я. С. канд. техн. наук, Приватне акціонерне товариство «АЗОТ», м. Черкаси, Україна, e-mail: yaroslav0768@gmail.com, ORCID0000-0002-2669-0965;
- КОЗЛОВСЬКИЙ Є. В. аспірант гр. ГЕ-41ф, ІЕЕ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, e-mail: eugene.kozlovskiy@gmail.com, ORCID0009-0009-2753-3900;

Мета роботи. Метою даної роботи є розробка методології пошуку дефектного приєднання на одній секції шин середньої або низької напруги серед декількох паралельно ввімкнених приєднань.

Методи дослідження. Як відомо, від секції шин головної понижувальної підстанції вищою напругою 35÷154 кВ, тупикової підстанції середньої напруги 10 (6) кВ або трансформаторної підстанції напругою 10(6)/0,4 кВ можуть живитися одночасно від трьох до двох десятків приєднань. Дефект приладу обліку на одному з цих приєднань може бути виявлений тільки за допомогою балансового методу (коли на ввіді на секцію шин встановлений прилад обліку (зазвичай, комерційного обліку) та на кожному з приєднань, що відходять з секції шин, теж встановлений лічильник електроенергії).

Пошук дефектного приладу обліку проводиться шляхом перевірки усіх приладів обліку на кожному приєднанні. Серед них і буде виявлений дефектний прилад.

Але ця процедура зазвичай займає багато часу, потребує оформлення організаційно-технічних заходів при роботах в діючих електроустановках, може призвести до аварійних відключень приєднань внаслідок закорочування кіл напруги або розмикання кіл струму при неправильних або помилкових діях персоналу.

Отримані результати. Визначено чотири основні типи дефектів у схемах обліку. Показано, що небаланс між комерційним і технічним обліком може бути використаний для виявлення дефектів на секції шин. Розроблено критерії для швидкої ідентифікації дефектних приєднань на основі статистичних методів, таких як кореляційний аналіз та однофакторний дисперсійний аналіз.

Наукова новизна. На відміну від існуючого підходу запропонована послідовність та розроблені критерії знаходження приєднання з дефектом обліку саме аналітичним методом. В результаті необхідно буде провести заміну приладу або пристрою обліку тільки на одному приєднанні, котре підключено до секції шин, де є дефект в колах обліку. Аналітичний метод ґрунтується на обробці облікових даних та розрахунку декількох статистичних коефіцієнтів.

Практична цінність. В найкоротший термін знайти дефект приладу обліку аналітичним методом. Методика забезпечує швидке та точне виявлення дефектних приєднань на секції шин, що дозволяє уникати аварійних ситуацій та втрат енергії. Це робить її корисною для промислових підприємств, що працюють із великими енергоспоживаннями.

Ключові слова: облік електроенергії; лічильник електроенергії; балансовий метод; приріст небалансу; коефіцієнт взаємної кореляції; критерій Фішера.

І. ВСТУП

Основою техніко-економічних розрахунків, що виконуються при аналізі щодобового та щомісячного електроспоживання підприємства, під час підготовки документів статистичної звітності та визначення рівня енергоефективності виробничих процесів, є відомості про обсяги спожитої електроенергії, котра розподіляється по системі електропостачання промислового підприємства між виробничими підрозділами та технологічними агрегатами.

Кількість спожитої електроенергії обчислюється за показниками лічильників електроенергії. Лічильник електроенергії, вимірювальні

трансформатори струму та напруги входять у склад вимірювальних каналів (ВК). Вимірювальні прилади та електричні апарати, з яких складаються ВК, вносять похибку у виміри, а часткове пошкодження або повна відмова їх в роботі призводять до грубих спотворень показників енергообліку. Інколи дані про електроспоживання передаються з лічильника електроенергії через пристрої збору та передачі даних. Трапляються ситуації, коли внаслідок помилок в їх роботі на сервер також надходять недостовірні облікові дані. Тому необхідність у постійному забезпеченні достовірності первинних облікових даних є очевидною.

Заходи, що вживаються в даний час, визначені

рамками технічного обслуговування, метрологічного контролю та нагляду за засобами обліку електроенергії. Але, як показує практика, цього недостатньо, щоб виключити чи послабити вплив грубих помилок у вимірах на точність кількісних показників електроспоживання.

На додаток до перерахованих вище заходів є важливим організувати раннє виявлення фактів порушення достовірності облікових даних, забезпечити точність ідентифікації дефектного вимірювального комплексу та оперативність при заміні пошкодженого технічного пристрою.

Як відомо, від секції шин напругою 6, 10 або 35 кВ головної понижувальної підстанції класом вищої напруги 35÷154 кВ, тупикової підстанції середньої напруги 6÷35 кВ або розподільного щита трансформаторної підстанції напругою 0,4 кВ можуть житися одночасно від трьох до двох десятків приєднань. Дефект приладу обліку на одному з цих приєднань може бути виявлений тільки тоді, коли на ввіді на секцію шин встановлений прилад обліку (звичай, комерційного) та на кожному з приєднань, що відходять з секції шин, теж встановлений лічильник електроенергії технічного обліку).

Пошук приєднання, де є дефект, проводиться зазвичай таким чином, що персонал на підстанції перевіряє усі приєднання. Серед них буде обов'язково знайдено приєднання з дефектом. При чому проблема може бути або на всіх приєднаннях, або тільки на одному.

Ця процедура зазвичай займає багато часу, потребує оформлення організаційно-технічних заходів при роботах в діючих електроустановках, може призвести до аварійних відключень приєднань внаслідок закорочення кіл напруги або розмикання кіл струму внаслідок неправильних або помилкових дій електротехнічного персоналу.

Виявити, що на секції шин є приєднання з дефектом обліку, дозволяє балансовий метод. Балансовий метод дозволяє виявити сам факт присутності помилок у облікових даних та оцінити розміри спотворення. Для цього щодоби, а найчастіше щомісяця складається баланс надходження та відпуску електроенергії на підстанціях за показниками лічильників на 24:00 останньої доби звітного періоду. Значення фактичного небалансу не повинно перевищувати допустимого значення.

Як відомо, фактичний небаланс в відсотках $НБ_{\phi}$ обраховується згідно показників приладів обліку як різниця між електроенергією, що поступила на об'єкт W_n та відпущеною електроенергією W_e .

Значення допустимого небалансу електроенергії у відсотках $НБ_{\delta}$ визначається за формулою [1], що враховує максимально допустимі відносні похибки δW_i кожного вимірювального каналу, а також частку електроенергії d_i , котра надійшла по всіх вимірювальних каналах прийому електроенергії N_n і частку елек-

троенергії d_j , що надійшла по всіх вимірювальних каналах її відпуску N_o :

$$НБ_{\delta} = \pm \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N_n} \delta W_i^2 d_i^2 + \sum_{j=1}^{N_o} \delta W_j^2 d_j^2 \right) \cdot 100\%}.$$

Максимально допустима відносна похибка вимірювального каналу розраховується за формулою:

$$\delta W_i = \pm \sqrt{\delta I^2 + \delta U^2 + \delta_{Лч}^2 + \delta_{л}^2},$$

де δ_i , δ_U , $\delta_{Лч}$, $\delta_{л}$ – похибки трансформатора струму (ТС), трансформатора напруги (ТН), лічильника, в лінії від лічильника до трансформатора напруги внаслідок втрат у ній відповідно.

У разі, коли $НБ_{\phi}$ не перевищує $НБ_{\delta}$, облік електроенергії може бути визнаний достовірним. З досвіду, розбіжність між $НБ_{\phi}$ та $НБ_{\delta}$ теоретично (для ситуації, коли є 1 лічильник кл. 0,5 на ввіді секції шин 6 кВ, 3 лічильника кл. 1,0 на приєднаннях технічного обліку, трансформатори струму та напруги повсюди кл. 0,5) досягає 1,2÷1,5%, але у зв'язку з малим завантаженням трансформатора струму може на практиці досягати й 3%.

Коли вже небаланс перевищує 4÷5 % від величини електроспоживання на комерційному обліку, то необхідно вже приймати заходи для усунення можливого дефекту. При такій ситуації облік є недостовірним і персонал підстанції повинен з'ясувати причини небалансу та вжити заходів щодо їх усунення.

Слід зазначити, що появу «поганих» даних у вимірах можна знайти ранні терміни, якщо контрольні функції виконувати щодоби протягом місяця. Таку обчислювальну процедуру здійснити нескладно за наявності у підприємства автоматизованої системи обліку електроенергії (АСОЕ). Основні труднощі під час доказу облікових даних виникають на етапі пошуку несправного вимірювального комплексу.

Таким чином, актуальним є завдання розробки послідовності знаходження приєднання з дефектом обліку аналітичним методом. Тоді необхідно буде провести ревізію схеми обліку тільки на тому приєднанні, де є дефект.

Успішно ідентифікуються такі дефекти обліку в вимірювальних каналах як:

- зупинка лічильника під навантаженням;
- підвищена похибка лічильника електроенергії внаслідок неправильної роботи його електронної схеми або складових частин індукційного лічильника;
- відмова лічильника в роботі в момент подачі напруги на електроприймач (відсутня ініціалізація);
- накид імпульсів від пристрою збору-передачі даних при імпульсній передачі даних з лічильників на сервер технічного обліку;
- недооблік лічильника електроенергії, який враховує електроспоживання тільки від першої гармоні-

ки струму у випадку роботи його на приєднанні з не-синусоїдальним навантаженням.

- ослаблення контактів вимірювальних кіл у випробувальних клемних коробках або клемних колодках лічильників та ін.

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематика точного енергетичного обліку та виявлення дефектів у вимірювальних комплексах отримала значну увагу в науковій літературі. В роботах [1], [3], [4] розглядаються методи забезпечення достовірності комерційного та технічного обліку електроенергії, а також аналізуються основні причини виникнення небалансів. Зокрема, в [1] описані загальні принципи комерційного обліку, що визначаються нормативною базою, тоді як [4] детально охоплює питання впровадження автоматизованих систем моніторингу енергоефективності.

Ряд дослідників зосереджуються на використанні статистичних методів для виявлення аномалій в енергоспоживанні. Наприклад, у працях [9], [10] показано ефективність застосування кореляційного аналізу та методів великих даних для оцінки точності вимірювальних пристроїв. У дослідженні [13] представлено автоматизовані рішення для швидкого виявлення втрат енергії за допомогою системного моніторингу.

Застосування сучасних інформаційних технологій у цій сфері детально висвітлено в роботах [11], [12], [14]. Наприклад, в [14] розглядається інфраструктура розумних лічильників у сучасних енергосистемах, що дозволяє підвищити точність обліку та швидкість реагування на дефекти.

Дослідження, наведені у [7], [8], [15], аналізують методології оцінки та виявлення небалансів у реальних енергосистемах. Робота [7] підкреслює важливість розробки нових критеріїв ідентифікації дефектів у колах обліку, тоді як [8] пропонує критерії оцінки небалансів, що базуються на специфіці енергосистеми.

У монографії [6] докладно описані практичні аспекти моніторингу енергоспоживання на промислових підприємствах, включаючи способи ідентифікації дефектів у схемах обліку. Водночас, робота [5] акцентує увагу на впровадженні нових технологій енергетичного контролю.

Таким чином, існує багатий науковий і технічний доробок, що стосується підвищення точності обліку електроенергії та виявлення дефектів у вимірювальних комплексах. Однак, запропоновані в даній роботі аналітичні методи є новими і спрямованими на підвищення швидкості ідентифікації дефектів, що значно зменшує час простою обладнання та втрати енергії.

III. МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є розробка критеріїв визначення приєднання, де неправильно працюють прилади або пристрої обліку електроенергії, серед декількох паралельно ввімкнених.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Дефекти обліку можуть бути:

1. На всіх приєднаннях і комерційного, і технічного обліку.

Некоректний облік на усіх приєднаннях технічного обліку внаслідок відсутності однієї фази вторинної напруги 100 В на затискачах лічильників у трьохпроводних мережах або двох фаз у чотирипроводних на усіх приєднаннях як комерційного, так і технічного обліку (**код дефекту I.1**). Дефект може виявитися тільки, коли кола усіх лічильників одержують живлення 100 В від одного й того ж ТН.

2. Тільки на одному з приєднань технічного обліку.

2.1. Бувають випадки, коли електроспоживання комерційного обліку більше за електроспоживання технічного обліку. При цьому, як правило, на якомусь приєднанні помилково зменшилось електроспоживання внаслідок неправильної роботи приладу обліку, пристрою збору-передачі даних, дефекту в схемі підключення приладу тощо.

Електроспоживання на якомусь приєднанні найчастіше дорівнює 0 внаслідок відсутності напруги на усіх фазах лічильника або виходу з ладу лічильника (**код дефекту II.1**) або зменшується за умови відсутності однієї фази по струму або по напрузі чи такої роботи лічильника електроенергії технічного обліку, котрий занижує електроспоживання (**код дефекту II.2**).

2.2. Трапляється, що електроспоживання комерційного обліку менше за електроспоживання технічного обліку. При цьому на якомусь приєднанні помилково збільшилось електроспоживання, наприклад, внаслідок неправильної роботи приладу обліку або пристрою збору-передачі даних (**код дефекту II.3**).

За останній час фахівцями-енергетиками за кордоном прийнято проводити процедуру пошуку джерела помилок, ґрунтуючись на аналізі небалансів потужності з залученням трьох відомих вибіркового характеру емпіричного розподілу: середнього значення, стандартного відхилення та коефіцієнта парної кореляції між небалансом та навантаженням кожного з приєднань підстанції, представлених у балансове рівняння. Сутність процедури полягає у цілеспрямованому відстежуванні показників динаміки цих показників у часі.

Ця теорія була перевірена авторами публікації на

експериментальних даних. Дослідження довели, що середнє значення стандартне відхилення не здатні оперативно реагувати на дефект. Несправність у якомусь вимірювальному комплексі впливає на динаміку ковзних параметрів. Абсолютні величини середнього значення та стандартного відхилення монотонно збільшуються з часом. Стійкий прояв цих кількісних та якісних ознак сигналізує про присутність грубих помилок облікової інформації, але виявлення дефекту потребує декількох часових інтервалів. І якщо дані обробляються раз на добу, то затримка в часі в 3÷5 діб неприпустима.

Перед тим, як виявляти дефекти в колах обліку, необхідно, щоби на кожній секції шин підстанції, де є і комерційний, і технічний облік, були встановлені електронні лічильники комерційного обліку та на усіх відхідних приєднаннях теж електронні лічильники технічного обліку, які по лініям зв'язку передавали б облікові дані на сервери автоматизованої системи комерційного (АСКОЕ) та технічного обліку електроенергії (АСТОЕ). Треба налаштувати також зведення даних в один шаблон розрахунку балансу між комерційним обліком (КО) та технічним обліком (ТО).

Наведемо декілька прикладів появи та усунення кожного з вищезазначених дефектів в колах обліку приєднань технічного обліку.

Дефект І.1.

Виявити такий дефект можна шляхом оцінювання величини електроспоживання на приєднанні комерційного обліку та приєднаннях технічного обліку.

Усунути дефект можливо перевіркою наявності всіх напруг на затискачах лічильників. Дефект може бути або в самому ТН, або в колах вторинної комутації (наприклад, на автоматі 100 В).

Дефект II.1 може бути змодельований на підставі зібраних облікових даних.

На одному з приєднань 1 секції шин 6 кВ

головної понижувальної підстанції (ГПП) №4 з'явився дефект. На секції шин є лічильник комерційного обліку кл. 0,5 і 4 лічильника технічного обліку класу точності 1,0. Шаблон балансу між КО та ТО за щодобовими даними в травні 2022 року показав, що є небаланс між технічним та комерційним обліком (на 1 секції шин на вводі встановлено лічильник комерційного обліку класу точності 0,5).

В табл. 1 представлені облікові дані в табличному вигляді та дані про значення фактичного приросту небалансу між комерційним та технічним обліком, про приріст навантаження на кожному відхідному приєднанні (для зручності та покращення візуалізації відсутні дані про приріст навантаження на приєднаннях 3, 5, 8).

В стовпчику 10 наведені значення для приросту добового електроспоживання на тому приєднанні, де спостерігався дефект (приєднання 6).

Якщо створити шаблон в програмі «Microsoft Excel», в якому будуть постійно розраховуватися приріст електроспоживання для усіх приєднань технічного обліку та приріст небалансу між комерційним та технічним обліком, то тоді миттєво можна буде визначити приєднання, яке почало працювати з дефектом. В такій ситуації збільшується в однаковій мірі й приріст небалансу між комерційним та технічним обліком, й приріст навантаження на приєднанні з дефектом. В той же час на приєднаннях з нормальною роботою приладів обліку приріст навантаження майже не змінюється.

Таким чином, авторами публікації запропонований основний критерій для визначення приєднання з дефектом обліку – це одночасне збільшення приросту небалансу між комерційним та технічним обліком та приросту навантаження на приєднанні з дефектом.

Доцільно для різних ситуацій мати ще один чи два допоміжних критерія, що будуть також дозволяти визначити приєднання з дефектом обліку.

Таблиця 1. Облікові дані по секції шин №1 6 кВ ГПП, де спостерігався дефект приладу обліку II-1

№ з/п	Добове споживання електроенергії на приєднаннях, кВт год				$WP_{\text{ТУ}}$, кВтГ =(2)+ +(3)+ +(4)+ +(5)	WP_{KV} , кВтГ	$НБ=$ $=KV$ $ТУ$, кВтГ $=(7)-$ $-(6)$	$\Delta_1=$ $=$ $НБ_{\text{Г}}$ $НБ_{\text{В}}$, кВтГ	$\Delta_2=$ $=$ $WP_{\text{I,о}}$ $-$ $WP_{\text{I,в}}$, кВтГ	$K_{\text{кор}}$ $(\Delta_1/$ $\Delta_2)$	$K_{\text{кор}}$ $(НБ-3)$	$K_{\text{кор}}$ $(НБ-5)$	$K_{\text{кор}}$ $(НБ-6)$	$K_{\text{кор}}$ $(НБ-8)$
	Номери приєднання													
	3	5	6	8										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	144	0	640	424	1208	1188	-20							
2	144	0	1168	384	1696	1728	32	53	528		#		1,00	-1,00
3	139	0	1512	457	2108	2124	16	-17	344	1,00	-0,20	#	0,75	-0,37
...
9	125	0	2464	463	3051	3060	9	-41	592	0,21	-0,26	#	0,33	0,03
10	125	0	280	459	863	2052	1189	1180	-2184	-0,94	-0,41	#	-0,61	0,07

Продовження таблиці 1.

11	134	0	0	471	606	2016	1410	222	-280	-0,94	-0,30	#	-0,76	0,19
12	139	0	0	469	608	2052	1444	34	0	-0,93	-0,17	#	-0,82	0,24
13	82	0	0	471	552	1980	1428	-16	0	-0,93	-0,48	#	-0,85	0,28

Примітки до табл. 1:

1. В стовпчиках 12 і 13 табл. 1 позначка # означає, що не можливо ділити на 0 у формулі для коефіцієнта кореляції. Програма Microsoft Excel дає позначення для цієї ситуації, як «#ДЕЛ/0!».

2. В табл. 1 в стовпчиках 11÷15 наведені ковзні значення коефіцієнту взаємної кореляції для значень небалансу та навантаження (1-2 доби, 1-3, 1-4 доби та так далі).

3. В стовпчику 6 електроспоживання WP_{TV} на секції (технічний облік) дорівнює сумі електроспоживання усіх приєднань технічного обліку.

4. В стовпчику 7 електроспоживання WP_{KV} на секції (комерційний облік) розраховується за показниками лічильника комерційного обліку.

5. Фактичний (вимірний) небаланс між комерційним та технічним обліком у кВт годинах наведений в стовпчику 8 $НБ = WP_{KV} - WP_{TV}$.

6. Приріст фактичного небалансу за і-добу та і-1 добу на секції шин $\Delta_1 = НБ_i - НБ_{i-1}$ записаний в стовпчику 9.

7. В стовпчику 10 наведено значення приросту електроспоживання приєднання з дефектом в схемі обліку (приєднання 6) $\Delta_2 = P_{i,d} - P_{i-1,d}$.

8. Значення коефіцієнту взаємної кореляції $K_{кор}$ інтервалу приросту фактичного небалансу Δ_1 й інтервалу приросту електроспоживання приєднання з дефектом в схемі обліку Δ_2 наведено в стовпчику 11.

9. В стовпчиках 12, 13, 14 та 15 містяться значення коефіцієнту взаємної кореляції фактичного небалансу та електроспоживання на приєднаннях 3, 5, 6, 8 відповідно.

10. Коефіцієнт взаємної кореляції розраховується за формулою:

$$r = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_1^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

де x_i - перша вибірка (фактичний небаланс в кВтгодинах) з середнім значенням \bar{x} , y_i - друга вибірка (електроспоживання на кожному приєднанні в кВтгодинах) з середнім значенням \bar{y} .

Застосування експериментальних даних, викладених в табл. 1, дозволяє зробити висновок, що критерієм, котрий дозволяє виявити початок

неправильної роботи обліку на секції шин, є небаланс комерційного та технічного обліку електроенергії на одній та тій самій секції шин.

Аналіз табл. 1 показав, що за 10 добу з'явився небаланс, який став значно перевищувати допустимий по секції шин. Причина – різко зменшилося електроспоживання на приєднанні 6, і воно стало дорівнювати 0 за 11, 12, 13 доби внаслідок виходу з ладу лічильника електроенергії. Треба зауважити, що навантаження на приєднанні 6 складає приблизно 70% від усього навантаження секції шин.

Додатковим критерієм, що дає можливість виявити дефект на приєднанні, навантаження якого складає ліву частку усього навантаження секції шин, є збільшення по модулю коефіцієнту кореляції Пірсона між небалансом КО та ТО та навантаженням на дефектному приєднанні; між приростом небалансу КО та ТО та приростом навантаження на тому ж дефектному приєднанні.

Значення коефіцієнта взаємної кореляції між небалансом та навантаженням кожного з приєднань підстанції, представлених у балансовому рівнянні, швидко вказує на приєднання, де є дефект в колах обліку. Ця величина на дефектному приєднанні може зростати від 0,2÷0,4 перед проблемою з обліком до 0,8÷0,9 і більше при неправильній роботі приладу обліку, тоді як кореляція інших приєднань зберігається на колишньому низькому рівні. Перехід до "сильної" і "дуже сильної" кореляції вказує на можливе місце генерації спотворень у вимірюванні витрати електроенергії для приєднання, яке було навантажене перед початком неправильної роботи схеми обліку.

Дефекти П.2 та П.3 можуть бути також змодельовані на підставі зібраних облікових даних.

Виникають інколи такі ситуації, коли на приєднанні немає електроспоживання, а потім внаслідок помилки приладу обліку або пристрою збору-передачі даних воно раптово і суттєво збільшується.

Так, на секції шин №4 6 кВ ГПП зібрані облікові дані про щодобове електроспоживання за 21 добу квітня 202... року (табл. 2).

В цій таблиці наведені також окрім вихідних даних приведені значення коефіцієнтів взаємної кореляції значень небалансу та електроспоживання приєднання з дефектом обліку, приросту небалансу.

Таблиця 2. Вихідні дані по секції шин 6 кВ ГПП

№з/п	Приєднання (фідер)			В-5 ТУ	В-5 КУ	НБ= = КУ-ТУ	$\Delta_1 =$ = $\frac{NB_{i+1}}{NB_i}$	$K_{кор}$ ($\Delta_1 /$ Δ_2)	$K_{кор}$ (НБ-3)	$K_{кор}$ (НБ-4)	$K_{кор}$ (НБ-6)
	3	4	6								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	16003	4	912	16919	16632	-287					
2	15523	0	912	16435	16164	-271	16		-1	-1	#ДЕЛ/0!
3	15274	0	960	16234	15984	-250	22	1,00	-0,96	-0,82	0,91
...
17	30451	0	864	31315	30708	-607	-99	-0,90	-0,99	-0,45	0,27
18	30432	0	864	31296	30708	-588	19	-0,90	-0,90	-0,39	0,28
19	29203	1	864	30068	29556	-512	76	-0,90	-0,90	-0,39	0,28
20	29424	0	864	30288	29772	-516	-4	-0,90	-0,90	-0,36	0,29
21	29942	1	912	30855	30240	-615	-99	-0,89	-0,89	-0,36	0,29

Примітка до табл. 2:

1. Позначення стовпчиків 7, 8 та 9 відповідає назві стовпчиків 8, 9 та 10 таблиці 1 відповідно.

2. Позначення стовпчиків 10, 11 та 12 відповідає назві стовпчиків 12, 13 та 14 таблиці 1 відповідно.

Аналіз даних, наведених в табл. 2 показує, що на секції шин є приєднання з найбільшим (приєднання 3), з доволі невеликим (приєднання 6) та з нульовим (приєднання 4) електроспоживанням.

На приєднаннях, де електроспоживання в наявності (приєднання 3 та 6), змодельований в

залежності від облікових даних режим з електроспоживанням в 0%, 25%, 50%, 75%, 150%. Зменшені або збільшені усі значення, наведені в стовпчиках 2 та 4, відносно вихідного електроспоживання (100% до вихідних даних). Визначені критерії, за якими можна знайти приєднання з неправильною роботою приладів обліку. Розрахований критерій Фішера для масиву даних, що складається з фактичного небалансу та електроспоживання на приєднанні (використаний однофакторний дисперсійний аналіз надбудови «Пакет аналіза»). Результати моделювання та розрахунків зведені в табл. 3.

Таблиця 3. Результати моделювання електроспоживання на приєднаннях, на яких воно присутнє

Ознака приєднання	Рівень електроспоживання на приєднанні в відсотках до вихідних облікових даних (100%), %											
	0		25		50		75		100		150	
	$K_{кор}$ (НБ- WP)	F (НБ- WP)	$K_{кор}$ (НБ- WP)	F (НБ- WP)	$K_{кор}$ (НБ- WP)	F (НБ- WP)	$K_{кор}$ (НБ- WP)	F (НБ- WP)	$K_{кор}$ (НБ- WP)	F (НБ- WP)	$K_{кор}$ (НБ- WP)	F (НБ- WP)
Важливе (ф. 3)	#ДЕЛ/0!	41,9	0,999	16,3	0,999	0,03	0,999	18,2	-0,9	43,1	0,999	67,1
Не важливе (ф. 6)	#ДЕЛ/0!	4,2	0,99	0,76	0,97	0,86	0,95	6,78	0,29	12,3	-0,98	16,5

Примітки до табл. 3:

1. Навантаження на приєднанні 3 складає приблизно 90% від усього навантаження секції.

2. Навантаження на приєднанні 6 складає приблизно 10% від усього навантаження секції.

3. Для вибірки в 21 значення табличне значення критерію Фішера для масиву даних, що складається з фактичного небалансу та електроспоживання на приєднанні $F_{табл.} = 4,08$.

Таким чином, доведено, що визначення в режимі реального часу та постійно приросту небалансу електроспоживання між комерційним та технічним обліком електроенергії дозволяє оперативно виявити проблему в колах обліку.

Дані табл. 1 та 3 свідчать про те, що критеріями, за якими можна швидко виявити дефектне приєднання, є, по-перше, приріст небалансу на тому

приєднанні технічного обліку електроенергії, де спостерігається дефект; по-друге, це коефіцієнт взаємної кореляції між небалансом електроспоживання та електроспоживанням на яких може бути дефект в схемі або в приладах обліку; втретє, це коефіцієнт взаємної кореляції між приростом небалансу електроспоживання на секції шин та приростом електроспоживання на усіх приєднаннях, під'єднаних до секції шин. Останні два критерії майже рівнозначні. Ці твердження вірні для випадку, коли навантаження збільшується або зменшується відносно початкових достовірних даних.

Дані табл. 3 свідчать, що коефіцієнт Фішера, розрахований для масиву даних, котрий створений

вибірками небалансу КО з ТО та електроспоживанням на дефектному приєднанні, придатний тільки для того, щоби в'яснити, значення електроспоживання при дефекті більше від достовірних значень або менше. Коли електроспоживання більше, то є тісний зв'язок між цими даними.

Інша ситуація, коли на приєднанні технічного обліку(наприклад, приєднання 4 з табл. 2) майже не було зовсім навантаження, а потім воно внаслідок певного дефекту лічильника збільшилося. Така ситуація змодельована для декількох рівнів добового електроспоживання. Розрахунки зведені в табл. 4.

Таблиця 4. Результати моделювання електроспоживання на приєднанні, на якому воно було відсутнє

Ознака приєднання	Рівень електроспоживання на приєднанні 4 в кВт годинах									
	≈0		400		800		8000		16000	
	$K_{кор.}$ (НБ- <i>WP</i>)	F (НБ- <i>WP</i>)	$K_{кор.}$ (НБ- <i>WP</i>)	F (НБ- <i>WP</i>)	$K_{кор.}$ (НБ- <i>WP</i>)	F (НБ- <i>WP</i>)	$K_{кор.}$ (НБ- <i>WP</i>)	F (НБ- <i>WP</i>)	$K_{кор.}$ (НБ- <i>WP</i>)	F (НБ- <i>WP</i>)
ф. 4	-0,44	28,0	-0,05	371,0	-0,1	1013,5	-0,7	36158	-0,88	55326

Роблячи аналіз табл. 4, можна зробити висновок, що середній коефіцієнт взаємної кореляції між небалансом та електроспоживанням на приєднанні 4, до певного рівня електроспоживання, не є критерієм, що визначає дефект на приєднанні. Для випадку, коли навантаження на приєднанні майже не було, в якості додаткового критерію треба застосовувати критерій Фішера. Чим більше хибне значення електроспоживання на приєднанні, тим тісніше

зв'язок між небалансом КО та ТО і електроспоживанням на приєднанні.

Значення статистичних величин при моделюванні зникнення навантаження на доволі ненавантаженому приєднанні 6 згідно табл. 2 наведені в табл. 5.

Таблиця 5. Значення статистичних величин при моделюванні зникнення навантаження на доволі ненавантаженому приєднанні

№п/п	Приєднання 6	В-5 ТУ	В-5 КУ	$\Delta =$ КУ-ТУ	$\Delta_1 =$ НБ _{i+1} - НБ _i	$\Delta_2 =$ $\frac{P_{i+1\delta} - P_{i\delta}}$	$K_{кор}$ ($\frac{\Delta_1}{\Delta_2}$)	$K_{кор}$ (НБ-6)	F
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	912	16919,2	16632	-287,2					
2	912	16435,2	16164	-271,2	16	0		#ДЕЛ/0!	
3	960	16233,6	15984	-249,6	21,6	48	1,00	0,91	
...
17	864	31315,2	30708	-607,2	-98,8	96	-0,27	0,27	8,86
18	0	30432	30708	276	883,2	-864	-0,20	0,18	8,53
19	0	29204,2	29556	351,8	75,8	0	-0,20	0,11	8,18
20	0	29424	29772	348	-3,8	0	-0,20	0,05	7,87
21	912	30855,4	30240	-615,4	-963,4	912	-0,19	0,06	8,46>4,08

На приєднанні 6 змодельована ситуація, коли 3 доби лічильник не рахував електроенергію зовсім, а на четверту лічильник замінили.

Критерієм локалізації дефекту на доволі ненавантаженому приєднанні є приріст електроспоживання на цьому приєднанні.

Коефіцієнт взаємної кореляції $K_{кор}(НБ-3)$ між небалансом між КО та ТО і електроспоживанням на приєднанні з неправильною роботою приладу обліку в штатному режимі дорівнює $K_{кор}(НБ-3)=0,27$, а коли навантаження зникло, то $K_{кор}(НБ-3)=0,18$. Цей критерій не є достатньо показним при невеликому навантаженні приєднання.

Таким чином, при незначному відносно загального навантаження секції шин, коефіцієнт взаємної кореляції між небалансом між КО та ТО і електроспоживанням на приєднанні з неправильною роботою приладу обліку, не є додатковим критерієм визначення дефектного приєднання серед приєднань однієї тієї самої секції шин.

Доцільно розраховувати погодинний небаланс по кожній секції лінії 6, 10 або 110 кВ головних понижуючих підстанцій та розподільних пунктів з урахуванням кількості та класів точності приладів обліку комерційного обліку та технічного обліку.

Перспективним напрямком в забезпеченні верифікації облікових даних є встановлення заздалегідь меж, в яких може коливатися електроспоживання різних приєднань.

Є наступні поширені види приєднань: приєднання вводу на тупикову розподільну підстанцію, приєднання понижуючого трансформатора напругою 35(10) (6)/0,4 кВ, приєднання електродвигуна напругою понад 1 кВ.

Необхідно пам'ятати про те, що електроспоживання на ввіді тупикової підстанції повинно бути більше електроспоживання будь-якого з відхідних приєднань. Краще межі задавати шляхом знаходження мінімального та максимального значення шляхом перегляду ретроспективних даних за попередній рік (місяць). При роботі автоматичного включення резервного живлення (АВР) навантаження з однієї секції може лягти на другу, що теж треба при цьому враховувати.

Електроспоживання на приєднанні електродвигуна не може бути більше, ніж 105% за номінальну його потужність, та менше 5% від його номінальної потужності.

Приєднання силового трансформатора повинно мати межі достовірних значень від втрат неробочого ходу до 120% номінальної потужності силового трансформатора з урахуванням того, що якщо два однакових трансформатора можуть працюють паралельно, то при відключенні одного усе навантаження лягає на другий.

Строки усунення дефектів у вимірювальних комплексах при застосуванні щодобових даних та критеріїв, запропонованих авторами публікації, можуть бути скорочені до 2 діб від моменту виникнення несправності. Якщо на підприємстві

працює АСОЕ, яка дозволяє використовувати щогодинні дані, то в такому випадку неправильна робота обліку електроенергії на якомусь вимірювальному каналі не може перевищувати декількох годин.

Дослідження різнопланових дефектів на приєднаннях технічного обліку дозволяють запропонувати наступну послідовність виявлення дефекту в колах обліку:

1. Організація автоматизованого обліку на комерційному та технічному обліку.

2. Встановлення заздалегідь меж, в яких може коливатися електроспоживання на кожному приєднанні

3. Впровадження розрахунку фактичного та допустимого небалансів між комерційним та технічним обліком по щодобовим або щогодинним даним.

4. Розрахунок одночасно в тій самій звітній формі, де розраховуються небаланси, приросту небалансу між комерційним та технічним обліком та приросту навантаження на кожному приєднанні технічного обліку, коефіцієнтів кореляції Пірсона між небалансом комерційного та технічного обліку та навантаженням на кожному приєднанні (або між приростом небалансу КО та ТО та приростом навантаження на кожному приєднанні), критерію Фішера F вибірок небалансу між КО та ТО і навантаженням на кожному приєднанні.

5. Визначення по знаку небалансу виду дефекту обліку.

6. Одночасне збільшення приросту небалансу між комерційним та технічним обліком та приросту навантаження на приєднанні означає, що на цьому приєднанні є дефект. Це основний критерій виявлення приєднання з дефектом обліку.

7. Дефект на приєднанні, навантаження якого складає ліву частку усього навантаження секції шин, можна виявити також збільшенням по модулю коефіцієнтів кореляції Пірсона між небалансом комерційного та технічного обліку та навантаженням на цьому приєднанні. Це додатковий критерій.

8. Для випадку, коли навантаження на якомусь приєднанні майже не було, а потім виникло неіснуюче навантаження, доцільно в якості додаткового критерію застосовувати критерій Фішера вибірок небалансу між комерційним та технічним обліком та навантаженням на цьому приєднанні.

9. Направлення кваліфікованого навченого електротехнічного персоналу для заміни приладу чи пристрою обліку (або усунення дефекту в колах вторинної комутації) на визначеному приєднанні.

V. ВИСНОВКИ

1. Запропонований поділ дефектів в колах обліку

на чотири види, а саме: відсутність однієї фази вторинної напруги 100 В на затискачах лічильників у трипровідних мережах або двох фаз у чотирихпровідних на усіх приєднаннях як комерційного, так і технічного обліку; електроспоживання на якомусь приєднанні дорівнює 0 внаслідок відсутності напруги на усіх фазах лічильника або виходу з ладу лічильника; зменшення електроспоживання внаслідок відсутності однієї фази по струму або по нарузі; електроспоживання комерційного обліку менше за електроспоживання технічного з-за неправильної роботи приладу обліку або пристрою збору-передачі даних, що спричиняє збільшення електроспоживання на приєднанні технічного обліку.

2. Критерієм, котрий дозволяє виявити початок неправильної роботи обліку на секції шин, є небаланс комерційного та технічного обліку електроенергії на тій самій секції шин.

3. Основним критерієм для визначення приєднання з дефектом обліку визначено одночасне збільшення приросту небалансу між комерційним та технічним обліком та приросту навантаження на приєднанні з дефектом.

4. Додатковим критерієм, що дає можливість виявити дефект на приєднанні, навантаження якого складає левову частку усього навантаження секції шин, є збільшення по модулю коефіцієнтів кореляції Пірсона між небалансом комерційного та технічного обліку та навантаженням на дефектному приєднанні або між приростом небалансу КО та ТО та приростом навантаження на тому ж дефектному приєднанні.

5. Для випадку, коли навантаження на якомусь приєднанні майже не було, а потім виникло неіснуюче навантаження в якості додаткового критерію доцільно застосовувати критерій Фішера вибірок небалансу між комерційним та технічним обліком та навантаженням на цьому приєднанні.

6. Розроблена послідовність виявлення дефекту в колах обліку на секції шин підстанції, де усі приєднання охоплені комерційним або технічним обліком.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

[1] Додаток 10 до Договору між членами Оптового ринку електричної енергії України. Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії. К., 2013.

[2] Лук'яненко І. Г. Економетрика: Підручник / І. Г. Лук'яненко, Л. І. Краснікова // К.: Товариство «Знання», КОО. – 1998. – 494 с.

[3] Д. А. Гапон, О. Г. Гриб, І. Т. Карпалюк, Н. В. Рудевич, «Автоматизовані системи обліку і якості

електроенергії у системах електропостачання», Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність, вип. 2 (3), с. 54-58, Груд. 2021.

- [4] Автоматизовані системи обліку та якості електричної енергії : монографія / А. В. Праховник, Ю. Ф. Тесик, А. Ф. Жаркін, В. О. Новський, О. Г. Гриб, В. П. Калінчик, О. Л. Карасінський, О. М. Довгалюк, О. П. Лазуренко, А. М. Хадаківський, В. І. Васильченко, О. Д. Светелік ; ред. О. Г. Гриб. – Харків : Ранок-НТ, 2012. – 516 с.
- [5] Гутаренко В. П., Коваль С. А. Облік і контроль електроенергії на промислових підприємствах. – Київ: Техніка, 2018. – 220 с.
- [6] Сидоренко М. І. Моніторинг енергоспоживання в електроустановках промислових об'єктів. – Харків: Основа, 2019. – 180 с.
- [7] Петренко А. М., Тарасов В. І. «Аналіз методів виявлення дефектів обліку енергії». Енергетика України, 2020, №2, с. 34-40.
- [8] Коршунов В. О. «Критерії оцінки небалансів в енергосистемах». Наукові записки з енергетики, 2021, т. 12, №3, с. 55-60.
- [9] Zhang, X., Li, H., & Wang, Y. «Electricity consumption monitoring and fraud detection using IoT technologies». IEEE Transactions on Smart Grid, 2019, 10(3), pp. 1234-1242.
- [10] Кучеренко С. Г. «Застосування кореляційного аналізу для виявлення аномалій в енергоспоживанні». Електротехніка і автоматика, 2020, №1, с. 67-72.
- [11] Schneider Electric White Paper. «Energy monitoring and anomaly detection in industrial power systems». – Schneider Electric, 2021.
- [12] Поляков Д. М. «Розвиток технологій енергетичного моніторингу». Енергетика і автоматизація, 2021, №4, с. 88-94.
- [13] ABB Group. «Automated solutions for energy loss detection». – ABB Technical Publications, 2021.
- [14] Kumar, R., & Singh, J. «Advanced metering infrastructure in modern power grids». Energy Reports, 2021, 7, pp. 1123-1130.
- [15] Енергетичний форум України. «Сучасні виклики в обліку енергії». – Матеріали конференції, 2022.
- [16] Kwon, J., & Lee, K. «Big Data analytics for anomaly detection in energy systems». Energy Systems Research, 2021, 15(3), pp. 65-78.

Стаття надійшла до редакції 05.11.2024

METHOD FOR IDENTIFYING A CONNECTION WITH A METERING DEFECT AMONG MULTIPLE CONNECTIONS ON A SINGLE BUSBAR SECTION

- VOLOSHKO A.V. Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: avolosko820@gmail.com, ORCID 0000-0002-6857-2060;
- BEDERAK Y.S. Candidate of Technical Sciences, Private Joint Stock Company "AZOT", Cherkasy, Ukraine, e-mail: yaroslav0768@gmail.com, ORCID 0000-0002-2669-0965;
- KOZLOVSKIYI Y.V. PhD student, Group GE-41f, IEE, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: eugene.kozlovskiy@gmail.com, ORCID 0009-0009-2753-3900;

Purpose. The purpose of this work is to develop a methodology for identifying a defective connection on a single medium- or low-voltage busbar section among several parallel connections.

Methodology. As is known, from three to two dozen connections can be powered simultaneously from the busbar section of the main step-down substation with a higher voltage of 35÷154 kV, a dead-end substation with a medium voltage of 10 (6) kV or a transformer substation with a voltage of 10 (6)/0.4 kV. A metering device defect on one of these connections can only be detected using the balance method (where a metering device, usually for commercial purposes, is installed at the busbar section input, and each outgoing connection from the busbar section is also equipped with an electricity meter). The search for a defective metering device is carried out by inspecting all metering devices for each connection. Among them, the defective device is identified. However, this procedure often takes a significant amount of time, requires the implementation of organizational and technical measures when working in operational electrical installations, and can lead to emergency disconnections of connections due to voltage circuit shorting or current circuit breaking caused by incorrect or erroneous actions of personnel.

Findings. Four main types of defects in accounting schemes are identified. It is shown that the imbalance between commercial and technical accounting can be used to identify defects in the tire section. Criteria for the rapid identification of defective connections based on statistical methods such as correlation analysis and one-factor analysis of variance are developed.

Originality. In contrast to the existing approach, the sequence is proposed and the criteria for finding a connection with a metering defect are developed using the analytical method. As a result, it will be necessary to replace the metering device or device only at one connection connected to the busbar section with a defect in the metering circuits. The analytical method is based on the processing of metering data and the calculation of several statistical coefficients.

Practical value. The proposed methodology enables the rapid identification of a defective metering device using an analytical method. It ensures fast and accurate detection of defective connections on the busbar section, helping to avoid emergency situations and energy losses. This makes the methodology valuable for industrial enterprises with high energy consumption.

Keywords: electricity metering; electricity meter; balance method; imbalance increase; mutual correlation coefficient; Fisher's criterion.

REFERENCES

- [1] Appendix 10 to the Agreement between the members of the Wholesale Electricity Market of Ukraine. Instruction on the Procedure for Commercial Electricity Metering. Kyiv, 2013.
- [2] Lukyanenko, I. G., Krasnikova., L. I. (1998). Econometrics: Textbook. Kyiv: Knowledge Society, KOO, 494.
- [3] Gapon, D. A., Hryb, O. H., Karpaliuk, I. T., Rudevich, N. V. (2021). Automated systems for metering and quality control of electricity in power supply systems, Visn. Nat. Tech. Univ. "KhPI." Ser.: *Power Engineering: Reliability and Energy Efficiency*, No. 2(3), 54–58.
- [4] Prakhovnyk A. V., Tesyk Yu. F., Zharkin A. F., Novskiy V. O., Hryb O. H, Kalinchyk V. P., Karasynskiy O. L., Dovhaliuk O. M., Lazurenko O. P., Khadakovskiy A. M., Vasylenko V. I., Svetelik O. D., Hryb O. H.(2012). Automated systems for metering and quality control of electricity: Monograph. Kharkiv: Ranok-NT, 516.
- [5] Hutaranko, V. P., Koval, S. A. (2018). Electricity metering and control in industrial enterprises. Kyiv: Tekhnika, 220.
- [6] Sydorenko, M. I. (2019). Energy consumption moni-

- toring in industrial electrical installations. Kharkiv: Osnova, 180.
- [7] Petrenko, A. M., Tarasov, V. I. (2020). Analysis of energy metering defect detection methods. *Energetyka Ukrainy*, No. 2, 34–40.
- [8] Korshunov, V. O. (2021). Criteria for assessing imbalances in power systems. *Scientific Notes on Energy*. Vol. 12, No. 3, 55–60.
- [9] Zhang, X., Li, H., Wang, Y. (2019). Electricity consumption monitoring and fraud detection using IoT technologies. *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 10, No. 3, 1234–1242.
- [10] Kucherenko, S. H. (2020). Application of correlation analysis for detecting anomalies in energy consumption. *Electrical Engineering and Automation*. No. 1, 67–72.
- [11] Schneider Electric White Paper. (2021). Energy monitoring and anomaly detection in industrial power systems. Schneider Electric.
- [12] Polyakov, D. M. (2021). Development of energy monitoring technologies. *Energy and Automation*. No. 4, 88–94.
- [13] ABB Group. (2021). Automated solutions for energy loss detection. ABB Technical Publications.
- [14] Kumar, R., Singh, J. (2021). Advanced metering infrastructure in modern power grids. *Energy Reports*, Vol. 7, 1123–1130.
- [15] Ukrainian Energy Forum. (2022). Modern challenges in energy metering. Conference proceedings.
- [16] Kwon, J., Lee, K. (2021). Big Data analytics for anomaly detection in energy systems. *Energy Systems Research*. Vol. 15, No. 3, 65–78.