

Оцінювання точності вузла обліку електроенергії при зниженому струмі навантаження

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2024.020>

Сятослав Василець

Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
s.vasylets@nuwm.edu.ua

Катерина Василець

Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
k.s.vasylets@nuwm.edu.ua

Володимир Ільчук

Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
v.v.ilchuk@nuwm.edu.ua

Анотація – Запропоновано метод та розроблено програму EMRL для оцінювання дійсного споживання електроенергії та найбільш можливого недообліку за показами лічильника у складі вузла обліку в разі зниженого струму навантаження. Оцінювання здійснюється нечітким числом при граничному рівні довіри. Адекватність програми підтверджено шляхом аналізу даних споживання електроенергії промисловим підприємством. Застосування EMRL дасть змогу знизити збитки енергопостачальних компаній за рахунок підвищення точності обліку електроенергії.

Ключові слова – електроенергія; облік; невизначеність вимірювання; струм навантаження; нечіткий інтервал

I. АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ

Завдяки плану REPowerEU Європейський Союз рухається до зниження використання викопного палива, в той же час – ширшого застосування електричної енергії. Протягом 2020–2030 років передбачається інвестувати у розвиток електроенергетичної інфраструктури 584 млрд євро, в тому числі 170 млрд – у цифровізацію мереж. Однією з основних складових Європейського енергетичного простору даних є інтелектуальний облік електроенергії. Прогнозний обсяг ринку розумних лічильників за 2024 рік становить 13,5 млрд доларів США [1]. В країнах ЄС наразі експлуатується близько 200 млн. таких приладів. Сфера використання вузлів обліку електроенергії включає побутових та промислових споживачів, потужності розподіленої генерації, накопичувачі, зарядні станції електромобілів тощо.

Основним недоліком вузлів обліку, що включають лічильник електроенергії та електромагнітні вимірювальні трансформатори струму, є підвищення невизначеності вимірювання в ненормованих режимах. Зокрема, це стосується

режиму зниженого струму через вузол обліку, що має місце під час перерв в роботі основного обладнання підприємств, зниженні генерації сонячної електростанції тощо. Такі втрати електроенергії становлять основну частину нетехнологічних втрат [2].

Відомо способи оцінювання нетехнологічних втрат електроенергії з використанням нейромереж та машинного навчання [3], глибокої згорткової нейронної мережі [4], контрастного прогнозного кодування. До недоліків таких методів відноситься складна технічна реалізація, необхідність навчання за великими масивами даних, підвищена імовірність помилок при зміні режиму споживання.

На основі аналізу літературних джерел можна встановити, що на сьогодні існує проблема низької точності обліку електроенергії при зниженому струмі навантаження. Споживання необлікованої енергії підвищує економічні збитки постачальників.

Мета – підвищення точності вузла обліку електроенергії при зниженому струмі навантаження в розподільчих електромережах напругою 0,38 кВ.

II. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження – трифазний вузол обліку електроенергії. Предмет – невизначеність вимірювання електроенергії. Прийняті припущення: струми фаз є реалізаціями випадкового стаціонарного процесу; напруги фаз не виходять за межі допустимого за ДСТУ EN 50160:2023 діапазону; навантаження носить активний характер; потужність передається від джерела навантаженню.

Значення параметрів статичних характеристик $\hat{I}_s^*(I^*)$ вимірювальних трансформаторів струму оцінюються відповідно до методу [5]. Нечіткий інтервал приналежності відносної похибки обліку електроенергії оцінюється згідно з методом [6]:

$$\widehat{\delta W}(I_A, I_B, I_C) = \left[\frac{\sum_{\zeta} I_{\zeta} \cdot \delta W_{L\zeta}(I_{\zeta})|_{\lambda_b^*}}{\sum_{\zeta} I_{\zeta}}; \frac{\sum_{\zeta} I_{\zeta} \cdot \delta W_{R\zeta}(I_{\zeta})|_{\lambda_b^*}}{\sum_{\zeta} I_{\zeta}} \right], \quad (12)$$

де λ_b^* – граничний рівень довіри.

Методи реалізовано як комп'ютерну програму EMRL, рис. 1, що автоматично аналізує покази лічильника та оцінює дійсне споживання і найбільш можливий недооблік.

Num	Start date and time	End date and time	Duration of reduced load	Consumption according to readings, kWh	Estimation of real consumption, kWh	The most possible underaccounting, kWh
2868	30.09.2020 20:45:00	30.09.2020 21:00:00	00:15:00	0,720	0,731	0,011
2869	30.09.2020 21:00:00	30.09.2020 21:15:00	00:15:00	0,720	0,730	0,010
2870	30.09.2020 21:15:00	30.09.2020 21:30:00	00:15:00	0,720	0,731	0,011
2871	30.09.2020 21:30:00	30.09.2020 21:45:00	00:15:00	0,720	0,731	0,011
2872	30.09.2020 21:45:00	30.09.2020 22:00:00	00:15:00	0,720	0,730	0,010
2873	30.09.2020 22:00:00	30.09.2020 22:15:00	00:15:00	0,440	0,448	0,008
2874	30.09.2020 22:15:00	30.09.2020 22:30:00	00:15:00	0,040	0,080	0,040
2875	30.09.2020 22:30:00	30.09.2020 22:45:00	00:15:00	0,040	0,056	0,016
2876	30.09.2020 22:45:00	30.09.2020 23:00:00	00:15:00	0,080	0,083	0,003
2877	30.09.2020 23:00:00	30.09.2020 23:15:00	00:15:00	0,120	0,124	0,004
2878	30.09.2020 23:15:00	30.09.2020 23:30:00	00:15:00	0,080	0,083	0,003
2879	30.09.2020 23:30:00	30.09.2020 23:45:00	00:15:00	0,200	0,204	0,004
2880	30.09.2020 23:45:00	30.09.2020 23:59:00	00:14:00	0,280	0,286	0,006
Per Day				25,640	26,982	1,342
TOTAL:				581,200	612,935	31,735

Рис. 1. Комп'ютерна програма EMRL

Для оцінювання адекватності комп'ютерної програми використано результати експерименту для приватного підприємства, що проведений у співпраці з ПрАТ «Рівнеобленерго» [7].

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Реальне споживання та оцінювання найбільш можливого недообліку електроенергії, підсумовані за 5-добові інтервали, ілюструє табл. I. В розрізі щодобового споживання найбільшою частотою характеризуються відносні похибки оцінювання електроенергії програмою EMRL в діапазоні 0–2 %.

ТАБЛИЦЯ I. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ СПОЖИВАННЯ ЗА 5-ДОВОБІ ІНТЕРВАЛИ

Дати, 09.2020	Покази вузла обліку, кВт·год	Оцінка EMRL, кВт·год	Споживання дійсне, кВт·год	Оцінка недообліку EMRL	
				Δ, кВт·год	δ, %
01–05	123,040	126,117	125,706	3,077	2,4
06–10	108,000	112,029	111,381	4,029	3,6
11–15	91,160	96,895	95,725	5,735	5,9
16–20	88,160	92,957	94,664	4,797	5,2
21–25	87,800	94,679	94,216	6,879	7,3
26–30	83,040	90,258	90,007	7,218	8,0
Σ	581,200	612,935	611,699	31,735	5,2

За кожні 5 дб оцінений найбільший недооблік знаходиться в діапазоні від 2,4 % до 8,0 %. При цьому відхилення оцінки споживання енергії від дійсного споживання було меншим від 1,8 %.

Оцінка EMRL місячного споживання відрізняється від дійсної величини на 0,2 %.

Застосування програми EMRL дасть змогу знизити збитки енергопостачальних компаній за рахунок підвищення точності обліку. До недоліків програми слід віднести обмеження області застосування вузлами обліку з електромагнітними трансформаторами струму.

IV. ВИСНОВКИ ТА НАПРЯМОК ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті аналізу місячних даних споживання електроенергії реальним об'єктом встановлено, що недооблік становить 5,2 %. Має місце зниження рівня недообліку при підвищенні величин струмів фаз. При споживанні до 10 кВт·год за добу може бути необліковано до 18 % енергії. Якщо споживання перевищує 20 кВт·год, недооблік є меншим від 6 %. Причина – нелінійний характер метрологічних характеристик вузла обліку при знижених струмах. Відносна похибка оцінювання дійсної величини спожитої електроенергії програмою EMRL з імовірністю 0,7 не перевищує 2%. Результати EMRL адекватні емпіричним даним при рівні значущості 0,05. В ході подальших досліджень доцільно інтегрувати розроблену програму з існуючими системами комерційного обліку електроенергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Statista Research Department. (2024). Smart electricity meter market value worldwide 2020-2027. URL: <https://www.statista.com/statistics/1304126/global-smart-electricity-meter-market-value/>
- [2] Carr, D., Thomson, M. (2022). Non-technical electricity losses. *Energies*, 15(6), 2218. doi: <https://doi.org/10.3390/en15062218>
- [3] Yadav, R., Kumar, Y. (2021). Detection of non-technical losses in electric distribution network by applying machine learning and feature engineering. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 54(3), 487–493. doi: <https://doi.org/10.18280/jesa.540312>
- [4] Haq, E.U., Pei, C., Zhang, R., Jianjun, H., Ahmad, F. (2023). Electricity-theft detection for smart grid security using smart meter data: A deep-CNN based approach. *Energy Reports*, 9(1), 634-643. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.072>
- [5] Vasylets, K., Kvasnikov, V., Vasylets, S. (2022). Determining the static characteristic of a measuring current transformer at a reduced load of the metering unit. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (8 (119)), 13–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265068>
- [6] Vasylets, K., Kvasnikov, V., Vasylets, S. (2022). Refinement of the mathematical model of electrical energy measurement uncertainty in reduced load mode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (118)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.262260>
- [7] Древецький, В.В., Василець, С.В., Ахромкін, А.О., Василець, К.С. (2020). Вимірювання та облік електричної енергії із застосуванням вимірювальних трансформаторів струму в умовах зниженого навантаження. Національний університет водного господарства та природокористування. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/25021/>