

ВІДГУК

офіційного опонента, доцента кафедри електропостачання

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОН України, кандидата технічних наук,

доцента Коцара Олега Вікторовича

на дисертаційну роботу Василю Катерини Сергіївни на тему

**«Підвищення точності вимірювання електричної енергії в режимі
зниженого навантаження», представлену на здобуття ступеня доктора
філософії за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка»**

1 Актуальність теми дисертаційної роботи

Питання підвищення точності фінансових розрахунків між покупцями та продавцями електричної енергії, безперечно, є важливим для електроенергетичної галузі України. В цьому контексті дисертаційна робота Василю К.С., безперечно, є актуальною, оскільки присвячена скороченню нетехнологічних втрат електричної енергії шляхом підвищення точності вимірювання. Джерела похибок вимірювання, що мають місце в нормованому діапазоні первинних струмів вузлів обліку електроенергії, є достатнім чином вивченими, запропоновано способи їхнього зменшення. В той же час дисертантка звернула увагу на режим зниженого навантаження системи електропостачання, в якому засоби вимірювальної техніки функціонують тривалий час упродовж доби. Наприклад, такий режим має місце вночі, коли основні технологічні операції на підприємстві не виконуються, під час вихідних та святкових днів тощо. Під час такого режиму невизначеність обліку електроенергії суттєво збільшується, що може призводити, зокрема, до недообліку електроенергії. Відповідно, енергопостачальна компанія може нести збитки. Це дозволяє стверджувати,

що дисертаційна робота Василюк К.С. виконана з актуальної теми, яка є важливою для метрологічного забезпечення вимірювальних інформаційних систем (ВІС) обліку електроенергії.

2 Структура та зміст основних положень дисертаційної роботи

Дисертаційна робота структурно побудована логічно та послідовно. Матеріали викладено професійно і на високому науковому рівні. Результати та висновки роботи цілком відповідають її темі, сформульованій меті та поставленим завданням.

У **вступі** до дисертації Василюк К.С. обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету і завдання досліджень, наведено об'єкт та предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, показано впровадження результатів роботи, окреслено особистий внесок здобувача для публікацій у співавторстві, наведено інформацію щодо апробації матеріалів дисертації.

У **першому розділі** «Сучасний стан методів та засобів вимірювання електричної енергії» виконано критичний аналіз способів та методів вимірювання електричної енергії. Особливу увагу приділено особливостям функціонування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ, в світовій термінології, зокрема, Advanced Metering Infrastructure, АМІ) Розглянуто джерела похибок вимірювання електричної енергії. За результатами аналізу актуальних літературних джерел докладно проаналізовано методи оцінювання невизначеності результатів вимірювань. Завершується перший розділ обґрунтуванням актуальності задачі підвищення точності вимірювання вузлом обліку електричної енергії (ВОЕ) в режимі зниженого навантаження на основі математичного моделювання невизначеності вимірювання з урахуванням статичних характеристик вимірювальних трансформаторів струму (ТС) в умовах несиметрії фазних струмів.

У **другому розділі** «Математичне моделювання невизначеності вимірювання електроенергії вузлом комерційного обліку при зниженому навантаженні» Василець К.С. обґрунтовує математичну модель, що дає змогу оцінювати нечіткими величинами невизначеність відхилення показів лічильника трансформаторного увімкнення від дійсного значення вимірюваної величини. Модель базується на представленні ВОЕ як сукупності трьох вимірювальних каналів, визначення нечіткої функції, що характеризує невизначеність вимірювання по кожному з каналів, та оцінювання параметрів нечіткої функції та відповідної функції приналежності, що описують невизначеність вимірювання трифазним лічильником. Запропонована методика визначення граничного рівня довіри, за допомогою якого оцінюється невизначеність вимірюваної величини за конкретних значень струмів фаз.

У **третьому розділі** «Експериментальна ідентифікація значень параметрів математичної моделі для оцінювання невизначеності вимірювання електричної енергії» описано структуру та параметри лабораторного стенда, методику проведення експериментів та оброблення результатів. Для вимірювальних ТС виявлено статистичну незначимість впливу коефіцієнту трансформації в межах заданого класу точності на характер залежності вторинного струму від первинного в режимі зниженого навантаження. Для лабораторного вузла обліку оцінено параметри нечітких функцій для кожного з вимірювальних каналів. На підставі цього здобувачка оцінювала точність функціонування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) в режимі зниженого навантаження за несиметричних фазних струмів, за результатами чого було зроблено висновок про адекватність результатів математичного моделювання експериментальним даним.

У **четвертому розділі** «Підвищення точності вимірювання електричної енергії вузлом комерційного обліку» розкрито шляхи практичної реалізації обґрунтованої математичної моделі. Зокрема, здобувачка Василець К.С. розробила комп'ютерну програму, яка, відповідно до значень робочих

параметрів вузла обліку, оцінює найбільш можливий недооблік електроенергії та реальне споживання. Також запропоновані шляхи підвищення точності обліку в умовах промислових підприємств.

У загальних висновках здобувачка узагальнила отримані результати, а також навела рекомендації щодо їхнього практичного застосування.

Список використаних джерел та посилань на них у тексті дисертації свідчить, що під час роботи було проаналізовано достатню кількість сучасних результатів наукових досліджень за темою дисертації.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені в наукових публікаціях авторки, які наведено у вступі дисертаційної роботи. Отже, за змістом, структурою та оформленням розглянута дисертаційна робота повною мірою відповідає вимогам МОН України.

Тема дисертаційної роботи, її зміст, об'єкт та предмет дослідження відповідають спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

3 Наукова новизна положень, висновків та результатів дисертаційної роботи

Метою дисертаційної роботи є підвищення точності вимірювання вузлом обліку електричної енергії в режимі зниженого навантаження на основі математичного моделювання невизначеності вимірювання з урахуванням статичних характеристик вимірювальних ТС в умовах несиметрії фазних струмів.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі розв'язано такі завдання:

– уточнено статичну характеристику вимірювального ТС електромагнітного типу в режимі зниженого навантаження ВОЕ;

– розроблено метод оцінювання залежності меж нечіткого інтервалу, що характеризує невизначеність вимірювання електроенергії за одним

вимірювальним каналом ВОЕ при зниженому навантаженні, від величини струму;

– удосконалено математичну модель для оцінювання невизначеності вимірювання електроенергії за час функціонування трифазного ВОЕ при зниженому навантаженні з урахуванням величин струмів фаз.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання електроенергії трифазним ВОЕ у складі лічильника електроенергії та вимірювальних ТС електромагнітного типу у розподільних електромережах номінальною напругою 0,38 кВ.

Предмет дослідження – невизначеність вимірювання електроенергії за час функціонування електроприймачів в режимі зниженого навантаження.

Ознайомлення зі змістом дисертаційної роботи Василюк К.С. дало можливість встановити ключові положення, які характеризують наукову новизну отриманих здобувачем результатів, а саме:

1. Вперше отримано математичну модель для оцінювання нечіткою функцією невизначеності вимірювання електроенергії вузлом комерційного обліку в режимі зниженого навантаження, яка враховує вплив величин несиметричних струмів фаз навантаження на межі нечіткого інтервалу, що характеризує результат вимірювання при граничному рівні довіри.

2. Удосконалено методику оцінювання невизначеності вимірювання електроенергії за одним вимірювальним каналом вузла обліку, який, на відміну від відомих, дозволяє оцінювати значення параметрів множини L–R меж нечіткої функції для множини рівнів довіри, що характеризує точність обліку електроенергії.

3. Уточнено статичну характеристику вимірювального трансформатора струму електромагнітного типу при зниженому навантаженні вузла обліку електроенергії лінійною регресійною моделлю, яка відрізняється від відомих універсальністю, оскільки характеризує вимірювальний перетворювач з довільним коефіцієнтом трансформації в межах заданого класу точності.

4 Методи дослідження, використані в дисертаційній роботі

Дослідження виконано з використанням методів коваріаційного, регресійного та дисперсійного аналізів. Перевірка статистичних гіпотез здійснювалася відповідно до статистичних критеріїв. Також в роботі використовувався методичний апарат теорії нечітких множин для оцінювання не випадкової невизначеності вимірювань. Поліноміальна апроксимація експериментальних значень здійснюється за критерієм мінімуму чебишевської норми нев'язки, а також з використанням методу найменших квадратів, для чисельної реалізації якого застосовано симплекс метод Нелдера-Міда мінімізації функції декількох змінних. Застосування таких методів є достатньо обґрунтованим та доцільним для розв'язання поставлених задач.

5 Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами

Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету, відповідно до Закону України № 3715-VI «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», зокрема, за напрямом «Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії». Також Василець К.С. була виконавцем Науково-дослідної роботи «Вимірювання та облік електричної енергії із застосуванням вимірювальних трансформаторів струму в умовах зниженого навантаження» (Національний університет водного господарства та природокористування на замовлення ПрАТ «Рівнеобленерго»).

6 Повнота викладу положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи в опублікованих наукових працях

Наукова новизна наявна та достатня для дисертації доктора філософії. Основні наукові і практичні результати, що отримані авторкою в ході дисертаційного дослідження, опубліковані з необхідною повнотою у 17 друкованих працях, з них 3 – у фахових виданнях України (з яких 2 наукові

праці – у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus), 14 – матеріали і тези доповідей на конференціях.

Отже, в опублікованих дисертанткою наукових працях у повному обсязі висвітлено головні положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи. Результати проведених досліджень отримали апробацію на всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференціях. Кількість друкованих робіт за темою дисертаційної роботи та їх обсяг відповідають вимогам щодо публікації основного змісту дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

7 Зауваження до дисертаційної роботи та дискусійні положення

Позитивно оцінюючи результати виконаних здобувачкою К.С.Василець досліджень водночас варто зауважити таке:

1. В якості одного з головних висновків дисертаційних досліджень відзначено “...суттєвість недообліку електроенергії, що може перевищувати 50%, при функціонуванні вимірювального обладнання вузлів обліку в режимі зниженого навантаження з точки зору фінансових втрат енергопостачальних компаній”. При цьому обґрунтування щодо “недообліку”, а також “фінансових втрат енергопостачальних компаній”, які надано за результатами лабораторних досліджень вузлу обліку напругою 0,4 кВ, що складається з лічильника електричної енергії і трансформаторів струму (ТС) визначених типів і класів точності, бачиться критично недостатнім. Тим більш не обґрунтованим є твердження про величину недообліку, яка “може перевищувати 50%”. Тому пропозиції щодо коригування рахунків споживачів за електричну енергію на підставі результатів поодиноких досліджень бачаться неприпустимими. Втім, застосування розробленої за результатами досліджень методики для визначення ймовірних причин небалансів під час технічного обліку електричної енергії є цілком прийнятним.

Стосовно застосування результатів дисертаційних досліджень під час обліку електричної енергії на фотоелектричних станціях (ФЕС) слід

зазначити таке. Відповідно до вимог п.1.5.17 Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) дозволено застосовувати ТС із завищеним коефіцієнтом трансформації (за умов електродинамічної та термічної стійкості або захисту шин), якщо у разі застосування ТС класу точності 0,5s за максимального навантаження в точці обліку струм у вторинній обмотці ТС становитиме не менше ніж 40% номінального струму лічильника, а за мінімального навантаження – не менше ніж 5%; у разі застосування ТС класу точності 0,2s за максимального навантаження в точці обліку струм у вторинній обмотці ТС становитиме не менше ніж 20% номінального струму лічильника, а за мінімального навантаження – не менше ніж 1%. В нічний час доби, коли генерування електричної енергії ФЕС неможливо з фізичних причин і такі станції стають споживачами електричної енергії на господарські потреби, запропоновану методику може бути застосовано за згодою сторін – оператора мережі і ФЕС, яка до цієї мережі приєднана, у випадку усталеного порушення вимог п.1.5.17 ПУЕ і відмови ФЕС приводити ВОЕ у відповідність до вимог Кодексу комерційного обліку електричної енергії і ПУЕ.

2. В дисертаційному дослідженні повсюдно термін “автоматизована система комерційного обліку електричної енергії” (АСКОЕ) застосовується в якості синоніму терміну Automatic Meter Reading (AMR) з єдиною функцією дистанційного зчитування показів лічильників і робиться помилковий висновок, що “Останні тенденції розвитку інформаційно-вимірювальних систем для електроенергетики свідчать про перехід від автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії, які дозволяють дистанційно зчитувати покази лічильників, до передової вимірювальної інфраструктури, що дозволяє аналізувати статистичні енергетичні параметри” (стор. 4 і в подальшому). Зокрема, в дисертації: “Можливість двостороннього обміну інформацією є основною відмінністю передової вимірювальної інфраструктури від АСКОЕ” (стор.38). Під “передовою вимірювальною інфраструктурою” тут і в подальшому ймовірно розуміється Advanced

Metering Infrastructure (AMI). Варто зазначити, що в українській термінології АСКОЕ є загальним терміном, який охоплює поняття AMR, AMI, Automatic Meter Management (AMM), Smart Metering System (SMS). Крім того, в українській термінології термін АСКОЕ окрім наведеного вище вузького тлумачення, має і широке тлумачення – автоматизована система контролю, обліку та управління енерговикористанням. Пропонується привести виклад дисертаційних досліджень у відповідність до діючої термінології і скоригувати висновки.

3. В дисертації стверджується про необхідність перенести “...реалізацію задачі підтримання заданої точності обліку на програмний рівень” (стор.4). Тут поняття “задана точність обліку” не визначено, і, ймовірно, йдеться про вимоги Кодексу комерційного обліку електричної енергії щодо класу точності ЗВТ, які застосовуються у складі ВОЕ. Крім того, варто наголосити, що підхід до забезпечення точності обліку відповідно до встановлених технічних вимог, який реалізовано в Кодексі комерційного обліку електричної енергії, не передбачає уточнення результатів вимірювань в автоматизованих системах (АС), зокрема в АСКОЕ. То ж забезпечення необхідної точності обліку електричної енергії на програмному рівні вимагає оновлення регуляторного забезпечення комерційного обліку електричної енергії.

4. В дисертації: “встановлено, що відносна похибка трансформаторного вузла комерційного обліку електроенергії в режимі зниженого навантаження відповідає середньозваженим за струмами фаз відносним відхиленням за кожним вимірювальним каналом показів лічильника трансформаторного включення від лічильника прямого під’єднання... Для оцінювання невизначеності відхилення величини показів лічильника трансформаторного включення від лічильника прямого включення за умови незмінного рівня навантаження одного з трьох вимірювальних каналів, при нульовому струмі двох інших каналів, запропоновано метод...” (стор.5). Тут і в подальшому

йдеться про порівняння результатів вимірювань (показів) двох робочих засобів вимірювань, що вимагає додаткового обґрунтування.

В дисертації: “Для вимірювальних трансформаторів струму, як основних джерел невизначеності обліку електроенергії в режимі зниженого навантаження...” (стор.5). Варто зазначити, що результуюча похибка вимірювання електричної енергії ВОЕ напругою 0,4 кВ відповідно до Концепції [23] визначається основною і додатковими похибками лічильника, а також струмовою і кутовою похибками ТС. Також слід звернути увагу, що вимірювальний ланцюг цифрового лічильника електроенергії, зазвичай, також розпочинається ТС електромагнітного типу. То ж немає жодних причин стверджувати, що лише зовнішні ТС є основними джерелами невизначеності обліку електроенергії.

5. Тракткування в дисертації вторинних вимірювальних кіл ВОЕ, як вимірювальних каналів не узгоджується з прийнятою термінологією. Адже відповідно до ДСТУ 2681-944. “Метрологія. Терміни та визначення” під вимірювальним каналом (ВК) розуміють сукупність ЗВТ, засобів зв’язку та інших технічних засобів, призначених для створення сигналу вимірювальної інформації про одну фізичну величину. В той самий час в дисертації досліджується результати вимірювання електричної енергії трифазним лічильником і результатом вимірювання є електрична енергія в трифазній електричній мережі, а не сила електричного струму в одній з фаз. Окрім того, таке визначення вимірювального каналу протирічить практиці визначення ВК АСКОЕ, як сукупності обладнання, що призначене для вимірювання та обліку електричної енергії (ТС, ТН, лічильники, пристрої обліку, перетворювачі імпульсів, лінії передавання вимірювальних сигналів та канали передавання цифрових даних) та з’єднане між собою за встановленою схемою [Вимірювальні канали в комплексах технічних засобів автоматизованого обліку електричної енергії. Методика повірки МПУ 019/08-01 // Затв. УкрЦСМ, Погодж. НЕК «Укренерго», 2001 – Київ, УкрЦСМ – 15 с.]. Відповідно до МПУ 019/08-01 ВК АСКОЕ протинається

від лінії електропередачі до центрального устаткування збирання даних (ЦУЗД) [23].

6. В дисертації: “Успіхи у розробленні цифрових протоколів віддаленого обміну даними зробили можливим побудову автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), що стимулювало розбудову енергоринку України відповідно до прийнятої у 2000 р. концепції [23]” (стор.36). Тут груба помилка. Перші АСКОЕ функціонували ще у 70-х роках минулого століття на базі індукційних лічильників електричної енергії і використовували пристрої перетворення кількості обертів диску індукційного лічильника в число-імпульсний код та мали на меті, в першу чергу, інформаційне забезпечення задач управління енерговикористанням.

В дисертації також виконано порівняльний аналіз комунікаційних протоколів смарт лічильників електричної енергії (стор.36-37). Разом з тим порівнювалися протоколи різного призначення і такі, які мають різну фізичну основу. Зокрема, оптичний інфрачервоний порт призначено для локального зчитування інформації зі смарт лічильника за допомогою комунікаційного протоколу IEC 61107. Цей самий протокол IEC 61107 і протокол DLMS (IEC 62056) застосовуються для дистанційного зчитування інформації зі смарт лічильників телекомунікаційними інтерфейсами типу RS-485/422, RS-232C, “петля струму”. Протокол OSGP розроблено для застосування в смарт системах обліку на базі технології Power Line Communication (PLC), і до того ж є порівняно новим і значно менш застосовним у порівнянні, наприклад, з протоколами PRIME або G3-PLC. Усі перелічені вище комунікаційні протоколи застосовуються переважно в системах комерційного обліку електричної енергії. Meter-Bus є стандартом промислової автоматизації. Стандарт IEC 61850 є “стандартом цифрової підстанції” і в смарт лічильниках електричної енергії використовується не так часто.

В дисертації: “Реалізація концепції передової вимірювальної інфраструктури дозволяє передавати та обробляти вимірювальну інформацію

в режимі реального часу, що розширює функціональні можливості обліку електроенергії” (стор.39). Варто зауважити, що комунікаційні протоколи, порівняльний аналіз яких зроблено в дисертаційному дослідженні, і АМІ застосовуються переважно у сфері комерційного обліку електричної енергії і в силу специфіки сфери застосування не гарантують надання інформації в реальному часі.

7. В дисертації: “Таким чином, ефективність функціонування енергоринку визначається точністю комерційного обліку, що залежить від метрологічних характеристик лічильників електроенергії та вимірювальних трансформаторів” (стор.44). Варто зауважити, що облік електричної енергії є лише одним із завдань, виконання яких забезпечує функціонування ринку електричної енергії. При цьому ефективність функціонування ринку електричної енергії визначається в першу чергу витратами викопного палива та обсягами шкідливих викидів у довкілля, а завдання обліку хоча й відноситься до важливих, не є визначальним, а лише обслуговує головне завдання ринку – ефективне використання електричної енергії.

8. В дисертації: “Особливо ефективно нечіткі величини можуть бути застосовані при обробленні даних у вимірювальних інформаційних системах об’єктів електроенергетики, оскільки дозволяють розв’язати питання неоднозначності, інтервальності інформації без застосування поняття похибки, випадковості без використання положень теорії ймовірностей. Нечіткі множини дають змогу узагальнювати невизначеності, що виражені нечіткими величинами для різних вимірюваних параметрів” (стор.52). Варто зауважити, що дисертаційні дослідження не містять належного обґрунтування, що цього можна досягти в робочих умовах застосування.

9. В дисертації: “Застосування результатів математичного моделювання невизначеності вимірювання електроенергії підвищить коректність фінансових розрахунків між споживачами та постачальниками електроенергії” (стор.55). Це твердження бачиться передчасним і надто суперечливим та необґрунтованим з причин, викладених вище.

10. В дисертації: “Точність вимірювання електроенергії за ζ -м вимірювальним каналом вузла комерційного обліку в режимі зниженого навантаження може бути оцінена за відносним відхиленням δW_{ζ} виміряної за часовий інтервал $\Delta t = t_2 - t_1$ активної енергії між показами лічильника трансформаторного та лічильника прямого включення, що визначається в припущенні про нульовий струм двох інших каналів” (стор.65). Тобто йдеться про порівняння результатів вимірювань двома робочими ЗВ в робочих умовах застосування “в припущенні про нульовий струм двох інших каналів”. Це вимагає додаткового обґрунтування.

11. В дисертації: “Модель (3.16), що характеризується довірчими інтервалами (3.18), може бути безпосередньо використана у програмному забезпеченні вузла обліку для коригування показів лічильника за періоди зниженого первинного струму. Підвищення точності комерційного обліку досягається шляхом формування рахунків за спожиту електроенергію з урахуванням викривлення статичної характеристики вимірювальних трансформаторів залежно від рівня струму кожної фази. Необхідність такого коригування, за наявності сумнівів у споживачів електроенергії, обґрунтовується суттєвими величинами та значним розмахом інтервалів прогнозування струмових похибок (рис. 3.7) вимірювальних трансформаторів” (стор.110-111). Застосування теоретичної моделі, побудованої з результатами досліджень ТС класу точності 0,5s конкретного типу на лабораторному стенді для коригування показів лічильника за періоди зниженого первинного струму, і, відповідно, коригування рахунків споживачів за спожиту електроенергію є вкрай сумнівним і не обґрунтованим.

12. В дисертації: “Запропонована прикладна програма, яка реалізує результати математичного моделювання, дозволяє оцінювати найбільш можливий недооблік та реальне споживання електроенергії в режимі зниженого навантаження за значеннями робочих параметрів вузла обліку”

(стор.127). Коригування рахунків споживачів пропонується здійснювати на величину “найбільш можливого недообліку”, що є не обґрунтованим та абсолютно не припустимим.

13. В дисертації: “Запропонована програма EMRL може бути використана для оцінювання найбільш можливого недообліку та реального споживання електроенергії в режимі зниженого навантаження вузла обліку, що дасть змогу енергопостачальним компаніям уточнити фінансові розрахунки зі споживачами електроенергії” (стор.131). Коригування рахунків споживачів пропонується здійснювати на величину “найбільш можливого недообліку”, що є не обґрунтованим та абсолютно не припустимим.

14. В дисертації: “Розроблене програмне забезпечення EMRL може бути використано у складі автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії або передової вимірювальної інфраструктури для визначення найбільш можливого недообліку електроенергії через функціонування вузлів обліку у режимі зниженого навантаження” (стор.131). Коригування рахунків споживачів пропонується здійснювати на величину “найбільш можливого недообліку”, що є не обґрунтованим та абсолютно не припустимим.

15. В дисертації: “Зчитані дані можуть бути завантажені до розробленої програми EMRL, що дозволить оцінити найбільш можливий недооблік електроенергії впродовж визначеного періоду часу та зробити висновок про суттєвість впливу. З точки зору енергопостачальної організації це дасть можливість оцінити умови функціонування вузла обліку конкретного побутового споживача та сформулювати рекомендації щодо удосконалення вимірювання електроенергії і, відповідно, уточнення фінансових розрахунків. Використання розробленого програмного забезпечення дає обґрунтовану оцінку рівня недообліку електроенергії за фактичними робочими режимами вузла обліку, на відміну від приблизних оцінок, що запропоновані ПрАТ «Рівнеобленерго» в листі” (стор.131-132). Коригування рахунків споживачів пропонується здійснювати на величину “найбільш можливого недообліку”, що є не обґрунтованим та абсолютно не припустимим.

Висловлені зауваження жодним чином не піддають сумніву наукову та практичну цінність отриманих здобувачкою К.С.Василець результатів.

8 Загальна оцінка дисертаційної роботи, її відповідність існуючим вимогам та висновки

Дисертація Василець Катерини Сергіївни на тему «Підвищення точності вимірювання електричної енергії в режимі зниженого навантаження» є завершеною науковою працею з логічно вибудованою структурою. Зміст дисертації відповідає визначеній меті та поставленим завданням, які повністю розв'язано в процесі дослідження. Основні положення роботи, які виносяться на захист, містять наукову новизну. Дисертаційна робота відповідає спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року №261 (зі змінами), Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44 (зі змінами), а її авторка – Василець Катерина Сергіївна – заслуговує на присудження їй ступеня доктора філософії з галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Офіційний опонент:

доцент кафедри електропостачання

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОН України, кандидат технічних наук, доцент

О. В. Коцар

Вчений секретар *Ігоря Сікорського*

В.В.Холєвська

