

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ДЯГОВЧЕНКО ІЛЛЯ МИКОЛАЙОВИЧ

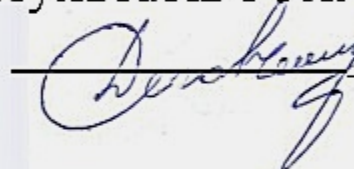
УДК 621.317.785(043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ШЛЯХОМ
ВРАХУВАННЯ НИЗЬКОЇ ЯКОСТІ ТА ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ

Спеціальність 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи
Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 І.М. Дяговченко

Науковий керівник

Волохін Віталій Васильович
кандидат технічних наук, доцент

*Затверджено
ішим же підписом
засвідчує
вчений секретар
вченої ради*



Суми – 2018

Волохін В.В.

АНОТАЦІЯ

Дяговченко І. М. Удосконалення систем обліку електроенергії шляхом урахування низької якості та зовнішніх факторів. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи. – Сумський державний університет, Суми, 2018.

Однією з основних проблем в електричних мережах є зниження втрат енергії і підвищення точності її обліку. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом проведення узгодженої технічної політики підвищення точності вимірювань відпуску в мережу і корисного відпуску, а також приведення показників якості електроенергії (ПЯЕ) до нормованих значень.

Згідно до даних звіту Міністерства енергетики та вугільної промисловості, сумарні технічні втрати електроенергії в електричних мережах України в 2016 році склали 16,63 млрд. кВт·год. Небаланс або комерційні втрати електроенергії склали близько 6,28 млрд. кВт·год. За 11 місяців 2017 року (з січня по листопад включно) сумарні технічні втрати електроенергії в електричних мережах України склали 14,87 млрд. кВт·год, а небаланс або комерційна складова – 5,77 млрд. кВт·год.

Із загальної величини технічних втрат близько 78 % доводиться на електричні мережі 110 кВ і нижче, у тому числі 33,5 % – на мережі 0,4-10 кВ. Якщо взяти до уваги, що комерційні втрати зосереджені в основному в мережах 0,4-10 кВ, то загальна частка втрат в них від сумарних по країні в цілому складає близько 60 %. Враховуючи, що з об'єктивних причин завантаження електричних мереж 0,4 кВ збільшуватиметься у зв'язку з випереджаючим ростом побутового споживання електроенергії, доля втрат в розподільних мережах найближчими роками також ростиме.

Для вдосконалення системи обліку електроенергії необхідно створювати умови для отримання за результатами вимірювань якомога більш достовірного балансу виробництва, передачі, розподілу і споживання електричної потужності

або енергії в межах держави, а також показників якості електричної енергії, що споживається споживачами в розрахункових точках обліку. Для вирішення цієї задачі в роботі запропоновано використання наступних заходів:

- вдосконалення засад роботи лічильників електроенергії (ЛЕ) з тим, щоб вони більш точно враховували електричну енергію в мережах з низькою якістю електроенергії;
- використання екранів з мю-металу для захисту внутрішніх елементів лічильника, чутливих до дії електромагнітних полів;
- вдосконалення елементів конструкції ЛЕ, зокрема встановлення сучасних вимірювальних датчиків, побудованих з використанням наноматеріалів;
- розробка та впровадження рекомендацій, спрямованих на зменшення впливу зовнішніх факторів на ЛЕ та підвищення їхньої точності (їх дотримання дозволить оптимізувати режими роботи розподільчих електричних мереж за рахунок зменшення складової комерційних втрат).

Таким чином, дослідження та врахування впливу низької якості електроенергії та зовнішніх факторів на системи реєстрації є актуальною науково-технічною задачею, оскільки подібні явища можуть призводити до суттєвих похибок обліку електричної енергії та збільшення комерційних втрат.

Дисертаційна робота присвячена розробці оптимальних засад роботи ЛЕ та рекомендацій, які направлені на удосконалення систем обліку електроенергії шляхом урахування низької якості електроенергії та зовнішніх факторів, таких як електромагнітні поля. В роботі показано, що при відхиленні ПЯЕ від нормованих значень ЛЕ однієї і тієї ж номінальної потужності (справні і повірені) можуть показувати істотно різні результати обліку електроенергії, споживаної одним і тим же навантаженням. Різниця показів може перевищувати суму меж припустимих похибок лічильників.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в такому:

- вдосконалено метод реєстрації електричної енергії засобами вимірювальної техніки, які відрізняються врахуванням спотворень синусоїди

живлячої напруги, що дозволить зменшити недооблік в мережах з вищими гармоніками (ВГ) і відхиленнями інших ПЯЕ на 3,41 %, порівняно з найбільш розповсюдженими ЛЕ, які входять до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки України;

- вперше науково обґрунтовано та теоретично підтверджено доцільність впровадження наноматеріалів для датчиків струму та напруги сучасних ЛЕ, що дозволить підвищити точність датчиків, їхню стійкість до зовнішніх впливів та зменшити комерційні втрати електроенергії на всіх рівнях системи обліку;

- отримала подальший розвиток математична модель роботи ЛЕ, яка відрізняється врахуванням впливу ПЯЕ на точність визначення кількості спожитої електроенергії, що дозволить аналізувати роботу ЛЕ в умовах відхилень напруги та частоти від номінальних значень;

- удосконалено метод екранування ЛЕ від електромагнітних полів, створюваних потужними магнітами, який визначає оптимальну форму екрану, що дозволяє підвищити експлуатаційні властивості ЛЕ.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці принципу та алгоритму роботи цифрового ЛЕ, який дозволить найбільш точно враховувати електроенергію при відхиленнях ПЯЕ від нормованих значень. Запропоновані зовнішні та внутрішні методи зменшення впливів на ЛЕ. Запропоновано оптимальний екран для захисту від впливу магнітних полів. Рекомендовані перспективні наноматеріали для трансформаторних датчиків струму та датчиків струму та напруги, побудованих на основі ефекту Холла.

Результати даної роботи впроваджені в Сумському РЕЦ Північної ЕС ДП «Національна енергетична компанія «Укренерго» та використовуються в навчальному процесі кафедри електроенергетики СумДУ для підготовки студентів за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» при викладенні навчального курсу «Електричні системи та мережі».

Ключові слова: електричні мережі, якість електричної енергії, втрати електроенергії, лічильник електроенергії, вищі гармоніки, датчики струму.

Список публікацій здобувача

1. Дяговченко І.М. Актуальність урахування впливу показників якості напруги при обліку електричної енергії / Шевченко С.Ю., Волохін В.В., І.М. Дяговченко, Д.М. Макуха // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – №20. – С. 156-165.
2. Дяговченко І.М. Дослідження впливу відхилення електричної напруги та частоти на покази приладів обліку електричної енергії / С.Ю. Шевченко, В.В. Волохін, С.М. Лебедка, І.М. Дяговченко, М.В. Качан // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – №51. – С. 119-125.
3. Diahovchenko I.M. The Impact of Voltage Deviation on the Readings of Active and Reactive Electricity Meters / I.M. Diahovchenko, V.V. Volokhin // Proceedings of II International scientific conference of students and young scientists «First steps in science», Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. – С. 17-20.
4. Diahovchenko I.M. The expediency of Smart grids implementation regarding to electromagnetic compatibility of electric energy meters / I.M. Diahovchenko, V.V. Volokhin // Proceedings of IV International scientific conference of students and young scientists «Scientific search results», Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. – С. 15-18.
5. Diahovchenko I.M. The identification of external impacts on energy meter through embedded remotely controlled controller / B. Dolník, I.M. Diahovchenko // Proceedings of VIII Int. scientific conf. of students and young scientists «Problems of research of young scientists», Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. – С. 15-19.
6. Diahovchenko I.M. The use of nanocrystalline and amorphous materials for electric energy metering improvement and reducing the effects of external magnetic fields / V.V. Volokhin, I.M. Diahovchenko // International Conference on Nanomaterials: Application & Properties. – Львов. – 2016. – С. 02NEA03-1-3.
7. Diahovchenko I.M. Electric Energy Accounting and Power Quality in Electric Networks with Photovoltaic Power Stations / V.V. Volokhin, I.M. Diahovchenko, B.V. Derevyanko // IEEE Int. Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering. – Львів. – 2017. – С. 36-39.

8. Diahovchenko I. Analysis of the impact of nonlinear distortion in voltage and current curves on the errors of electric energy metering devices / G. Morva, V. Volokhin, I. Diahovchenko, Z. Čonka // IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering. – Київ. – 2017. – С. 528-533.

9. Diahovchenko I.M. Prospects of Nanomaterials Use in Current and Voltage Hall Sensors to Improve the Measurements Accuracy and Reduce the External Impacts / V.V. Volokhin, I.M. Diahovchenko, B.V. Derevyanko // International Conference on Nanomaterials: Application & Properties. – Затока. – 2017. – С. 03NE08-1-5.

10. Diahovchenko I.M. The influence of nonsinusoidal supply voltage on the amount of power consumption and electricity meter readings / V. Volokhin, I. Diahovchenko, V. Kurochkina, M. Kanálik // Energetika. – Каунас, 2017. – №63(1). – С. 1-7.

11. Diahovchenko I. Peculiarities of current sensors used in contemporary electric energy metering devices / V. Volokhin, I. Diahovchenko // Energetika. – Каунас, 2017. – №63(2). – С. 8-15.

12. Diahovchenko I.M. Power quality issues in smart grids with photovoltaic power stations / S.Yu. Shevchenko, V.V. Volokhin, I.M. Diahovchenko // Energetika. – Каунас, 2017. – №63(4). – С. 146-153.

13. Diahovchenko I.M. Improvement of Accuracy of Current Transformer Sensors in Electric Energy Metering Devices and Reducing the Effects of Magnetic Fields / I.M. Diahovchenko, V.V. Volokhin // Proceedings of II International scientific conference «World Science in 2016: Results», Морпівськ: Lulu Press, 2017. – С. 88-92.

14. Diahovchenko Electromagnetic compatibility of digital electricity meters under influence of directional contactless electromagnetic fields / M. György, I. Diahovchenko, N. Sushchenko, B. Dolník, Z. Čonka, M. Kosterec // Proceedings of XXXIII KANDÓ CONFERENCE. – Будапешт. – 2017. – С. 48-50.

15. Дяговченко І.М. Влияние высших гармоник напряжения на активную мощность электрической цепи / Л.П. Червякова, М.В. Петровський, І.М.

Дяговченко // Тези доповідей Міжнар. наук.-технічн. конф. «ФЕЕ :: 2012», Суми: Вид-во СумДУ, 2012. – С. 35.

16. Diahovchenko I.M. The Influence of Switching and Changing of Resistance Value of Incandescent Lamp on Watt-hour Energy Accounting / I.M. Diahovchenko, M.O. Kartalov, V.S. Havriluk // Тези доповідей Міжнар. наук.-технічн. конф. «ФЕЕ :: 2015», Суми: Вид-во СумДУ, 2015. – С. 48.

17. Дяговченко І.М. Особливості електричних мереж, що впливають на якість вимірювання та обліку електричної енергії / В.В. Волохін, І.М. Дяговченко // Тези доповідей XXIII Міжнар. наук. конф. MicroCAD : Сучасні інформ. та енергозберігаючі технології, Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – С. 145.

18. Дяговченко І.М. Робота індукційного лічильника електроенергії при відхиленні від робочого вертикального положення / І.М. Дяговченко, В.С. Гаврилюк // Тези доповідей Міжнар. наук.-технічн. конф. «ФЕЕ :: 2016», Суми: Вид-во СумДУ, 2016. – С. 65.

19. Diahovchenko I.M. The influence of the meters' posture on the accuracy of electric energy accounting / I.M. Diahovchenko // Матеріали Всеукр. наук. конф. викладачів, аспірантів, співробітників та студентів, Суми: Вид-во СумДУ, 2016. – С. 234-235.

20. Дяговченко І.М. Причини порушення обліку електроенергії та їх виявлення / І.М. Дяговченко, В.В. Захарченко // Тези доповідей Міжнар. наук.-технічн. конф. «ФЕЕ :: 2017», Суми: Вид-во СумДУ, 2017. – С. 166.

21. Дяговченко І.М. Вплив факторів зовнішнього середовища на роботу приладів обліку електричної енергії / В.В. Волохін, І.М. Дяговченко, С.Ю. Панкевич // Тези доповідей XXV Міжнар. наук. конф. MicroCAD : Сучасні інформ. та енергозберігаючі технології, Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 192.

ABSTRACT

Diahovchenko I.M. Improvement of power accounting systems by taking into account poor quality and external impacts. Manuscript.

Thesis for scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.14.02 – Electrical power stations, networks and systems. – Sumy State University, Sumy, 2018.

One of the main problems in electric networks is to reduce energy losses and to increase its accounting accuracy. The solution of this problem is possible by means of a harmonized technical policy, measurements accuracy increase, as well as bringing the power quality (PQ) to the normalized values.

According to the report of the Ministry of Energy and Coal Mining, the total technical losses of electricity in electric networks of Ukraine in 2016 were 16.63 billion kWh. The unbalance or commercial losses of electricity amounted to about 6.28 billion kWh. During the 11 months of 2017 (from January to November inclusive), the total electricity technical losses in electric networks of Ukraine amounted to 14.87 billion kWh, while the unbalance or commercial component was 5.77 billion kWh.

About 78 % of the total technical losses are referred to 110 kV and below voltage electric networks, including 33.5 % in 0.4-10 kV. If we take into account that commercial losses are concentrated mainly in 0.4-10 kV networks, then their share of losses from the country's total is about 60 %. Taking into account that due to objective reasons loading of 0.4 kV electrical networks will increase due to the domestic consumption rising, the share of losses in distribution networks will also increase in the next years.

To improve the electricity accounting system, it is necessary to create conditions for obtaining the most accurate balance of production, transmission, distribution and consumption of electric power or energy within the limits of the state, as well as indicators of power quality, according to the measurements results. To solve this problem the following measures are proposed:

- improvement of the principles of electricity meters operation so that they are able to account electric energy more accurately in networks with low power quality;
- use a mu-metal screens for protection of the meter's internal elements, which are sensitive to the action of electromagnetic fields;
- improvement of the power meters' elements design, in particular the installation of modern measuring transducers constructed using nanomaterials;
- development and implementation of recommendations aimed at reduce the influence of external factors on the electric energy meters and increase their accuracy (it will allow to optimize the modes of distribution electrical networks' operation due to commercial losses reducing).

Thus, research and consideration of the effect of poor quality electricity and external factors on registration systems is a relevant scientific and technical task, because such phenomena can lead to significant errors in the electric energy accounting increase commercial losses.

The thesis is dedicated to the development of the algorithm and the principle of power meters' (PM) operation and recommendations that are aimed at energy metering systems improving by taking into account the poor power quality and external factors such as electromagnetic fields. It is shown and justified that under the conditions when the harmonic composition in operating electric networks goes beyond the established standards, there are errors in the indications of commercial electricity meters that exceed the permissible values.

The developed bases of the digital power meter will allow most accurately take into account electric power in the presence of higher harmonics and other deviations of power quality (PQ) from the normalized values and to reduce commercial electricity losses up to 3.41%, compared to the most common PM included in the State Register of measuring equipment of Ukraine.

The optimal screen of mu-metal is proposed to protect the pulse transformers, which are used in modern PM, from the impact of strong magnetic fields, which are created by rare-earth magnets. Properties and efficiency of the proposed screen are investigated by modeling in the software package CST Studio Suite.

This paper has analyzed the registration error variation of a PM with respect to the load harmonic parameters and meter parameters, and, based on the results of the analysis, compensation methods have been proposed to improve the accuracy of PMs operated in situations which involve harmonics. The compensation methods are categorized as two types, the meter external methods and meter internal methods. The meter external methods aim to improve the load characteristics, which include improving the load power factor, repressing the voltage and current harmonic quantities, and decreasing the magnitude of the harmonic power factors. The meter internal methods emphasize improvement of the harmonic performance of the PM itself. In particular it includes utilizing of promising nanomaterials for transformer current sensors and current and voltage sensors built on the basis of the Hall effect. The feasibility and priority of each of the proposed methods was evaluated.

The results of this work are implemented in the Sumy Northern EC REC of State Enterprise "National Energy Company" Ukrenergo "and used in the educational process of the SSU Department of Power Engineering for the training of students in the specialty 141"Electricity, electrical engineering and electromechanics", in the frames of the course "Electrical systems and networks".

Keywords: electric networks, quality of the electric power, losses of the electric power, the counter of the electric power, the higher harmonics, current sensors.

References

1. Diahovchenko I.M. Aktualnist urakhuvannia vplyvu pokaznykiv yakosti napruhy pry obliku elektrychnoi enerhii / Shevchenko S.Iu., Volokhin V.V., I.M. Diahovchenko, D.M. Makukha // Visnyk NTU «KhPI». – Kharkiv: NTU «KhPI», 2015. – №20. – S. 156-165.
2. Diahovchenko I.M. Doslidzhennia vplyvu vidkhylennia elektrychnoi napruhy ta chastoty na pokazy pryladiv obliku elektrychnoi enerhii / S.Iu. Shevchenko, V.B. Volokhin, S.M. Lebedka, I.M. Diahovchenko, M.V. Kachan // Visnyk NTU «KhPI». – Kharkiv: NTU «KhPI», 2015. – №51. – S. 119-125.

3. Diahovchenko I.M. The Impact of Voltage Deviation on the Readings of Active and Reactive Electricity Meters / I.M. Diahovchenko, V.V. Volokhin // Proceedings of II International scientific conference of students and young scientists «First steps in science», Vinnytsia: TOV «Nilan-LTD», 2017. – S. 17-20.

4. Diahovchenko I.M. The expediency of Smart grids implementation regarding to electromagnetic compatibility of electric energy meters / I.M. Diahovchenko, V.V. Volokhin // Proceedings of IV International scientific conference of students and young scientists «Scientific search results», Vinnytsia: TOV «Nilan-LTD», 2017. – S. 15-18.

5. Diahovchenko I.M. The identification of external impacts on energy meter through embedded remotely controlled controller / B. Dolník, I.M. Diahovchenko // Proceedings of VIII Int. scientific conf. of students and young scientists «Problems of research of young scientists», Vinnytsia: TOV «Nilan-LTD», 2017. – S. 15-19.

6. Diahovchenko I.M. The use of nanocrystalline and amorphous materials for electric energy metering improvement and reducing the effects of external magnetic fields / V.V. Volokhin, I.M. Diahovchenko // International Conference on Nanomaterials: Application & Properties. – Lvov. – 2016. – S. 02NEA03-1-3.

7. Diahovchenko I.M. Electric Energy Accounting and Power Quality in Electric Networks with Photovoltaic Power Stations / V.V. Volokhin, I.M. Diahovchenko, B.V. Derevyanko // IEEE Int. Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering. – Lviv. – 2017. – S. 36-39.

8. Diahovchenko I. Analysis of the impact of nonlinear distortion in voltage and current curves on the errors of electric energy metering devices / G. Morva, V. Volokhin, I. Diahovchenko, Z. Čonka // IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering. – Kyiv. – 2017. – S. 528-533.

9. Diahovchenko I.M. Prospects of Nanomaterials Use in Current and Voltage Hall Sensors to Improve the Measurements Accuracy and Reduce the External Impacts / V.V. Volokhin, I.M. Diahovchenko, B.V. Derevyanko // International Conference on Nanomaterials: Application & Properties. – Zatoka. – 2017. – S. 03NE08-1-5.

10. Diahovchenko I.M. The influence of nonsinusoidal supply voltage on the amount of power consumption and electricity meter readings / V. Volokhin, I. Diahovchenko, V. Kurochkina, M. Kanálik // *Energetika*. – Kaunas, 2017. – №63(1). – S. 1-7.

11. Diahovchenko I. Peculiarities of current sensors used in contemporary electric energy metering devices / V. Volokhin, I. Diahovchenko // *Energetika*. – Kaunas, 2017. – №63(2). – S. 8-15.

12. Diahovchenko I.M. Power quality issues in smart grids with photovoltaic power stations / S.Yu. Shevchenko, V.V. Volokhin, I.M. Diahovchenko // *Energetika*. – Kaunas, 2017. – №63(4). – S. 146-153.

13. Diahovchenko I.M. Improvement of Accuracy of Current Transformer Sensors in Electric Energy Metering Devices and Reducing the Effects of Magnetic Fields / I.M. Diahovchenko, V.V. Volokhin // *Proceedings of II International scientific conference «World Science in 2016: Results»*, Morrisvil: Lulu Press, 2017. – S. 88-92.

14. Diahovchenko Electromagnetic compatibility of digital electricity meters under influence of directional contactless electromagnetic fields / M. György, I. Diahovchenko, N. Sushchenko, B. Dolník, Z. Čonka, M. Kosterec // *Proceedings of XXXIII KANDÓ CONFERENCE*. – Budapesht. – 2017. – S. 48-50.

15. Diahovchenko I.M. Vplyanye vysshykh harmonyk napriazhenyia na aktyvnuiu moshchnost elektricheskoi tsepy / L.P. Chervyakova, M.V. Petrovskiy, I.M. Diahovchenko // *Tezy dopovidei Mizhnar. nauk.-tekhnichn. konf. «FEE :: 2012»*, Sumy: Vyd-vo SumDU, 2012. – S. 35.

16. Diahovchenko I.M. The Influence of Switching and Changing of Resistance Value of Incandescent Lamp on Watt-hour Energy Accounting / I.M. Diahovchenko, M.O. Kartalov, V.S. Havriluk // *Tezy dopovidei Mizhnar. nauk.-tekhnichn. konf. «FEE :: 2015»*, Sumy: Vyd-vo SumDU, 2015. – S. 48.

17. Diahovchenko I.M. Osoblyvosti elektrichnykh merezh, shcho vplyvaiut na yakist vymiriuvannia ta obliku elektrichnoi enerhii / V.V. Volokhin, I.M. Diahovchenko // *Tezy dopovidei XXIII Mizhnar. nauk. konf. MicroCAD : Suchasni*

inform. ta enerhozberihaiuchi tekhnolohii, Kharkiv: NTU «KhPI», 2015. – S. 145.

18. Diahovchenko I.M. Robota induktsiinoho lichylnyka elektroenerhii pry vidkhyleni vid robochoho vertykalnoho polozhennia / I.M. Diahovchenko, V.S. Havryliuk // Tezy dopovidei Mizhnar. nauk.-tekhnichn. konf. «FEE :: 2016», Sumy: Vyd-vo SumDU, 2016. – S. 65.

19. Diahovchenko I.M. The influence of the meters posture on the accuracy of electric energy accounting / I.M. Diahovchenko // Materialy Vseukr. nauk. konf. vykladachiv, aspirantiv, spivrobitnykiv ta studentiv, Sumy: Vyd-vo SumDU, 2016. – S. 234-235.

20. Diahovchenko I.M. Prychyny porushennia obliku elektroenerhii ta yikh vyjavlennia / I.M. Diahovchenko, V.V. Zakharchenko // Tezy dopovidei Mizhnar. nauk.-tekhnichn. konf. «FEE :: 2017», Sumy: Vyd-vo SumDU, 2017. – S. 166.

21. Diahovchenko I.M. Vplyv faktoriv zovnishnoho seredovyshcha na robotu pryladiv obliku elektrychnoi enerhii / V.V. Volokhin, I.M. Diahovchenko, S.Iu. Pankevych // Tezy dopovidei XKhV Mizhnar. nauk. konf. MicroCAD : Suchasni inform. ta enerhozberihaiuchi tekhnolohii, Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – S. 192.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. Сучасний стан обліку електричної енергії в енергосистемі України.....	11
1.1 Правові основи функціонування ринку електроенергії в Україні.....	11
1.2 Нормативні документи, закони, норми і правила з обліку електричної енергії в Україні.....	12
1.3 Загальна характеристика втрат електроенергії в електричних мережах	14
1.4 Поточний стан системи обліку електроенергії України та способи її оптимізації шляхом зниження втрат.....	17
1.5 Засоби вимірювальної техніки, що використовуються в системі обліку електроенергії України.....	20
1.5.1 Вимоги до організації обліку електроенергії.....	20
1.5.2 Індукційні лічильники електроенергії: переваги та недоліки.....	22
1.5.3 Електронні лічильники: можливості, основні характеристики.....	24
1.6 Особливості датчиків струму та напруги, що використовуються у сучасних приладах обліку електричної енергії.....	29
1.6.1 Резистивні датчики.....	30
1.6.2 Датчики на основі ефекту Холла	32
1.6.3 Трансформаторні датчики струму (трансформатори струму).....	38
1.6.4 Датчики напруги.....	42
1.7 Тенденції і перспективи розвитку АСКОЕ та Smart Grids в Україні і Європі.....	43
1.7.1 Концепція побудови автоматизованої системи комерційного обліку в Україні.....	43
1.7.2 Призначення та складові частини автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії.....	45
1.7.3 Концепція та перспективи розвитку Smart Grids.....	48
Висновки до розділу 1.....	52

РОЗДІЛ 2. Удосконалення роботи приладів обліку в умовах низької якості електричної енергії.....	54
2.1 Вплив відхилення електричної напруги та частоти на покази приладів обліку електричної енергії.....	54
2.2 Робота лічильників електроенергії в умовах нелінійних навантажень та гармонічних спотворень.....	67
2.2.1 Аналіз впливу нелінійних спотворень кривих напруги і струму на похибку приладів обліку електроенергії.....	67
2.2.2 Вплив живлячої напруги несинусоїдальної форми на величину потужності та облік електричної енергії.....	72
2.2.3 Вплив вищих гармонік на лічильники електричної електроенергії з різними метрологічними принципами.....	82
2.2.4 Частотні характеристики лічильників електроенергії.....	97
2.3 Вплив робочого положення та факторів зовнішнього середовища на роботу приладів обліку електричної енергії.....	101
2.4 Розробка оптимального принципу роботи лічильника електроенергії	103
Висновки до розділу 2	110
РОЗДІЛ 3. Аналіз електромагнітної сумісності та захист приладів обліку електричної енергії від впливу сильних магнітних полів.....	112
3.1 Дослідження нормативної бази та особливостей впливу магнітних полів на лічильники електроенергії та трансформаторні датчики струму...	112
3.2 Методи боротьби з несанкціонованим спотворенням показів з використанням магнітів.....	117
3.3 Моделювання екранів для захисту від магнітних полів.....	121
3.3.1 Опис та характеристика моделі лічильника.....	121
3.3.2 Моделювання екранів.....	124
Висновки до розділу 3.....	129
РОЗДІЛ 4. Розробка рекомендацій щодо підвищення точності вимірювальних комплексів та зменшення комерційних втрат електроенергії.....	130

4.1 Методи компенсації вищих гармонік: заходи, доцільність та пропозиції.....	130
4.1.1 Зовнішні методи компенсації.....	130
4.1.2 Внутрішні методи компенсації, спрямовані на індукційні лічильники електроенергії.....	135
4.1.3 Аналіз доцільності, пріоритетності методів компенсації та пропозицій щодо їх застосування.....	142
4.2 Використання сучасних наноматеріалів при виготовленні датчиків струму та напруги.....	142
4.2.1 Нанокристалічні та аморфні матеріали для трансформаторних датчиків струму.....	142
4.2.2 Використання наноматеріалів для датчиків струму і напруги на ефекті Холла.....	148
4.3 Оцінка результативності запропонованих в роботі заходів для підвищення ефективності функціонування електричних мереж.....	156
Висновки до розділу 4.....	158
ВИСНОВКИ.....	160
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	162
Додаток А. Загальний огляд найважливіших показників якості електроенергії.....	174
Додаток. Акти впровадження дисертаційної роботи.....	184
Додаток. Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	186