

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Шіббан Тамер



УДК 620.179.14

ДИСЕРТАЦІЯ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ БАГАТОПАРАМЕТРОВИЙ
ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ПРОСТОРОВО-ПЕРІОДИЧНИМ ПОЛЕМ ДЛЯ
КОНТРОЛЮ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ

05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення
складу речовин

15 – автоматизація та приладобудування

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

Шіббан Тамер

Науковий керівник:

Горкунов Борис Митрофанович,
доктор технічних наук, професор

Харків –2019

АНОТАЦІЯ

Шібан Тамер Електромагнітний багатопараметровий перетворювач з просторово-періодичним полем для контролю циліндричних виробів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) зі спеціальності 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин (15 – автоматизація та приладобудування). Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, 2019.

Захист відбудеться на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, 2019.

У дисертаційній роботі представлені науково-технічні результати дослідження електромагнітного багатопараметрового перетворювача для визначення параметрів циліндричних металевих виробів, принцип роботи якого ґрунтується на виділенні амплітуди та фази просторових гармонік неоднорідного магнітного поля, представленого у вигляді ряду Фур'є. Об'єкт дослідження достатньо повно описаний в науковій літературі. Показано, що подальше збільшення інформаційних параметрів, які контролюються одним перетворювачем може здійснюватися декількома шляхами. Наприклад, використання для живлення перетворювача струмом різних частот з подальшою фільтрацією і виділенням амплітуди і фази на кожній частоті. Така реалізація багатопараметрових датчиків досить складна і не завжди відображає справжню картину процесів, що відбуваються в об'єкті контролю через різну глибину проникнення поля (скін-ефект). Показано, що застосування результатів дослідження дає можливість отримати більш повну інформацію про об'єкт контролю, яка не могла бути отримана при використанні традиційних методів. Тому, застосування розробленого методу, є перспективним.

В роботі розроблена фізико-математична модель електромагнітного перетворювача з неоднорідним розподілом електромагнітного поля для провідника зі струмом, розташованого уздовж бічної поверхні циліндричного виробу на деякій відстані d від центра металевого циліндра радіуса a . Вирішена просторова задача розподілу змінного в часі магнітного поля і отримані вирази, за якими можна обчислити функції для будь-якої просторової гармоніки, за якими можна скласти картину розподілу поля в будь-якій області (всередині виробу, між виробом і провідником зі струмом, а також поза цим провідником).

Отримано математичні вирази для визначення напруженості магнітного поля для r -ї і φ -ї складової, створюваного струмом одного провідника (або полюса з кінцевими кутовими розмірами). Проведено облік товщини стрічки полюса з сумарним струмом, який призводить до заміни в формулах для напруженості поля значення r на деякий ефективний радіус. Отримано математичні вирази для амплітуди і фази n -ї просторової гармоніки сигналу перетворювача, що наводиться в вимірювальних обмотках, розташованих уздовж поверхні циліндричного об'єкту контролю з кутовою координатою φ на окружності радіуса d . Для підтвердження адекватності запропонованої моделі перетворювача проведені експерименти, які показали відмінність між розрахунковими і експериментально отриманими значеннями ЕРС вихідного сигналу перетворювача. Так, наприклад, для вимірювальних обмоток, з кутовими координатами $\varphi = 0^\circ$ і $\varphi = 180^\circ$ розбіжність значень напруг склала не більше 5%, а для обмоток з розташуванням по $\varphi = 30^\circ, 60^\circ, 300^\circ$ і 330° розбіжність склала не більше 10%.

Запропоновано також прийоми і способи виділення необхідних просторових гармонік і приглушення гармонік з високими номерами. Останнє дозволяє знизити вплив вищих просторових гармонік до 1%. Для виключення з картини просторового розподілу поля парних або непарних гармонік запропоновано використовувати систему провідників з однаковими і протилежними напрямками струмів в них.

Отримано універсальні функції перетворення для амплітуди і фази n -ї складової гармоніки для перетворювача. Розроблено метод спільного контролю електричних (σ), магнітних (μ_r) і геометричних (a) параметрів циліндричних виробів, на основі перетворювача з одним намагнічувальним полюсом при використанні 1-ї і 2-ї просторових гармонік, який дозволяє однозначно вирішувати задачу багатопараметрового контролю для широкого асортименту виробів, різних конструкцій і режимів роботи перетворювачів.

Розроблено метод на основі електромагнітного перетворювача з двома намагнічувальними полюсами і різним напрямком струму. Отримано універсальні функції перетворення з використанням 1-ї і 3-ї просторових гармонік, а також запропонований алгоритм реалізації багатопараметрового контролю параметрів циліндричних виробів. Визначено чутливості методу і знайдено раціональні режими роботи перетворювача. Виконано розрахунок і показано вплив вищих гармонік поля на вихідні сигнали перетворювача. Так, наприклад, для перетворювача з одним збуджувальним провідником, відкидання 3-ї гармоніки призведе до похибки розрахунку результуючої ЕРС, яка дорівнює 5%, а для перетворювача з двома збуджувальними провідниками, при відкиданні 5-ї гармоніки, становить 1,5%.

Розроблено макет лабораторної установки з електромагнітним перетворювачем з просторово-періодичною структурою поля і проведені експериментальні дослідження по визначенню μ_r , σ , і a з імітаційними зразками різного асортименту для підтвердження адекватності розробленого методу. Наведена конструкція електромагнітного перетворювача з двома збуджувальними полюсами і різним напрямком намагнічувального струму з використанням амплітуди 1-ї і 3-ї просторових гармонік і фази 1-ї гармоніки. Оскільки безпосередньо оцінити похибки контролю μ_r , σ і a для розробленого багатопараметрового перетворювача досить складно, в роботі проведено вимірювання цих же параметрів контрольними методами. Так для визначення a досліджуваного зразка використовувався мікрометр з діапазоном вимірювання діаметра $(50 \pm 0,01)$ мм, для визначення σ циліндричного зразка

використовувався контактний електричний метод на базі потенціометра постійного струму Р363-3, з класом точності 0,005, а для визначення μ_r використовувався метод амперметра - вольтметра для кільцевого зразка.

Показано, що застосування розробленого перетворювача дозволяє отримувати найбільш повну інформацію про стан повітряних ліній електропередач, тобто визначати μ_r , σ , і α циліндричних дротів, а також корельованих з ними механічним навантаженням, температурою, величиною струму, що протікає в лінії та визначення питомих електричних втрат при діагностиці стану повітряних ліній електропередач, що підтверджується актом впровадження від 18.12.2015р (договір № 377551 від 27.07.2015р між НТУ «ХП» та ПАТ «Укргідропроект» м. Харків).

Ключові слова: електромагнітний перетворювач, відносна магнітна проникність, питома електропровідність, неоднорідне електромагнітне поле, просторові гармоніки, алгоритм, контроль.

Список публікацій за темою дисертації

1. Тамер Шибан. Перспективы развития многопараметровых вихретоковых преобразователей / Б.М. Горкунов, А.А. Тищенко, Шибан Тамер // Вісник НТУ "ХП". – 2016.– №15(1187). – С. 8-11.
2. Тамер Шибан. Электромагнитный преобразователь с пространственно-периодическим полем для систем многопараметрового контроля / Б.М. Горкунов, Є.А. Борисенко, Шибан Тамер, Шахин Иссам // Вісник НТУ "ХП". Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Силова електроніка та енергоефективність. – 2018. – №26 (1302), Т.1. – С. 80-85.
3. Тамер Шибан. Экспериментальные исследования вихретокового преобразователя с пространственно-периодическими полями / Б.М. Горкунов, С.Г. Львов, Шибан Тамер, Е.А.Борисенко // Метрологія та прилади. – 2018. № 4(72). – С. 45-50. (Index Copernicus).
4. Шибан Тамер. Нормированные функции вихретоковых измерительных преобразователей с пространственно-периодической

структурой поля при многопараметровом контроле металлических изделий / Б.М. Горкунов, С.Г. Львов, Шибан Тамер, Е.А.Борисенко // Український метрологічний журнал – 2018.– № 3. – С. 28- 34.

5. Тамер Шибан. Многопараметровый электромагнитный преобразователь для систем контроля и диагностики / Б.М. Горкунов, М.М. Сиренко, С.Г. Львов, Шибан Тамер // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса: ОНПУ, 2019.–№30(106) – С.218-225.

6. Тамер Шибан. Повышение чувствительности электромагнитных преобразователей с пространственно-периодическими полями / Б.М. Горкунов, А.А. Тищенко, Шибан Тамер // Збірник наукових праць "Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика" Кременчук: КрНУ. – 2016.– Вип. 1(4) – С.107-109.

7. Tamer Shaiban. Electromagnetic Multiparameter Converter for Control of the Structure of Metal Products / B. Gorkunov, A. Tyshchenko, S. Lvov, Shaiban Tamer // IEEE Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2017, 15-17 November, Kremenichuk, Ukraine. – Volume 2018-January. – P. 284-287. – doi:10.1109/MEES.2017.8248912). (Scopus).

8. Патент на корисну модель №125124 G01N27/90 // Горкунов Б.М., Львов С.Г., Тищенко А.А., Шибан Тамер. Спосіб безконтактного контролю параметрів циліндричних провідних виробів. Заявка № u 2017 12770, заявл. 22.12.2017, опубл. 25.04.2018, Бюл. №8 Декжпатенту України.

9. Тамер Шибан. Безконтактний контроль стану дротів електромереж / Б.М. Горкунов, С.Г. Львов, А.А. Тищенко, Шибан Тамер // Тези доповідей 5-ої науково-практичної конференції "Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання", 24-25 листопада 2015р. – Івано-Франківськ: ЕІ, ІФНТУНГ.– 2015.–С.51-53.

10. Тамер Шибан. Многопараметровый вихретоковый преобразователь для контроля воздушных линий электропередач / Б.М. Горкунов, М.М. Сиренко, А.А. Тищенко, Шибан Тамер // Матеріали II-ої Всеукраїнської

науково-технічної конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування», 10-11 грудня 2015р. – Харків: НТУ «ХП». – 2015.– С.109-110.

11. Тамер Шибан. Вихретоковый преобразователь с пространственно-периодическим полем / Б.М. Горкунов, А.А. Тищенко, Шибан Тамер // Збірник тез доповідей XV Міжнародної науково-технічної конференції "ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи", 17-18 травня 2015р. – Київ: НТУУ "КПІ".– 2016.–С.158.

12 Тамер Шибан. Выбор частоты питания электромагнитного преобразователя при измерении удельного электрического сопротивления / Б.М. Горкунов, Л.В. Веприв, Шибан Тамер // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування», 8-9 грудня 2016р. – Харків: НТУ «ХП». – 2016.– С.136-137.

13. Тамер Шибан. Расширение функциональных возможностей вихретоковых преобразователей с пространственно-периодическими полями / Б.М. Горкунов, А.А. Тищенко, И.В. Тюпа, Шибан Тамер // Збірник тез доповідей XVI Міжнародної науково-технічної конференції "ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи", 16-17 травня 2017р. – Київ: НТУУ "КПІ". –2017. – С.129.

14. Тамер Шибан. Развитие теории многопараметровых электромагнитных преобразователей / Б.М. Горкунов, С.Г. Львов, А.А. Тищенко, Шибан Тамер // Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи (МІВТС-2017)", 24-25 жовтня 2017р. – Харків: ННЦ «Інститут метрології». – 2017. – С.37-38.

15. Тамер Шибан. Электромагнитный багатопараметровый метод контролю циліндричних виробів / Б.М. Горкунов, С.Г. Львов, А.А. Тищенко, Шибан Тамер // Збірник тез доповідей 4-ї Міжнародної наукової конференції "Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2017),

31 жовтня-2 листопада 2017р. – Вінниця: ВНТУ. –2017.– С.131.

16. Тамер Шибан. Бесконтактное измерение параметров проводящих цилиндрических изделий / Б.М. Горкунов, С.Г. Львов, А.А. Тищенко, Шибан Тамер // Матеріали І Міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування», 7-8 грудня 2017р. – Харків: НТУ «ХП». – 2017.– С.147-148.

17. Тамер Шибан. Нормовані функції перетворення під час здійснення вихорострумового контролю / Б.М. Горкунов, Є. А. Борисенко, Шибан Тамер // Тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія освіти, здоров'я". – Харків: НТУ "ХП". – 2018. –Ч.ІІ. – С.15.

18. Тамер Шибан. Анализ неопределенности при многопараметровом вихретоковом контроле металлических изделий / Горкунов Б.М., Борисенко Є.А., Шибан Тамер // Тезисы докладов XV Международного научно-технического семинара "Неопределенность измерений: научные, нормативные, прикладные и методические аспекты" UM-2018, 10 сентября. – Sozopol. – 2018. – С.16.

ANNOTATION

Shaiban Tamer Multi-parameter electromagnetic transducer with spatially-periodic field for controlling cylindrical products. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.11.13 – instruments and methods of substance composition control and determination (15 – automation and instrumentation). National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2019.

The defense is held at the meeting of the specialized academic council D 64.050.09 at the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2019.

The dissertation presents the scientific and technical results of the study of the electromagnetic multi-parameter transducer for the cylindrical metal products parameters determining, which principle is based on the allocation of the amplitude and phase of the spatial harmonics of a nonuniform magnetic field presented in the form of a Fourier series. The object of the study is in the full extent described in the scientific literature. It is shown that further increase of information parameters controlled by one transducer can be carried out in several ways. For example, the use of different frequency to power the transducers, signal filtering and separation of amplitude and phase at each frequency. Such implementation of multiparameter sensors is quite complicated and does not always give the true picture of the processes taking place in the controlled object due to the different depth of field penetration (skin effect). It has been shown that the application of the study results provides an opportunity to obtain more information about the studied object that could not be obtained by using traditional methods. Therefore, the application of the developed method is promising.

The physic-mathematical model of an electromagnetic transducer with non-uniform distribution of an electromagnetic field for a conductor with a current located along the lateral surface of a cylindrical product at a distance d from the

center of a metallic cylinder of radius a . The spatial problem of the distribution of a magnetic field variable in time is solved and expressions allowing calculating the functions for any spatial harmonic are obtained and it is possible to make a picture of the distribution of the field in any area (inside the product, between the product and conductor with current, as well as beyond this conductor).

Mathematical expressions are obtained to determine the intensity of the magnetic field for r -th and φ -th components, generated by the current of one conductor (or pole with finite angular dimensions). The thickness of the pole with a total current is taken into account, which leads to the replacement of r quantity in the formulas for field strength by effective radius. Mathematical expressions are obtained to determine amplitude and phase of transducer's signal n -th spatial harmonics, which are generated in the measuring windings located along the surface of the cylindrical object with the angular coordinate φ on a circle of radius d . Experiments have been carried out to confirm the adequacy of the transducer' proposed model, which showed the difference between the calculated and experimentally obtained values of the EMF of the transducer' output signal. For instance, for measuring windings with angular coordinates $\varphi = 0^\circ$ i $\varphi = 180^\circ$ difference of voltage values is less than 5% and for measuring windings with angular coordinates $\varphi = 30^\circ, 60^\circ, 300^\circ$ i 330° difference is less than 10%.

Methods and algorithms of allocating the necessary spatial harmonics and eliminating harmonics with high numbers are offered also. The latter allows us to reduce the influence of the higher spatial harmonics down to 1%. To exclude from the spatial distribution of the field odd or even harmonics it is suggested to use a system of conductors with the same and opposite directions of currents in them.

The universal transformation functions for the amplitude and phase of the n -th harmonic component for the transducer are obtained. Method is developed for simultaneous testing electrical (σ), magnet (μ_r) and geometrical (a) parameters of cylindrical objects, by the use of transducer with on magnetizing pole considering 1-st and 2-nd spatial harmonics, which allows unambiguously solve the task of

multi-parameter testing for a wide variety of products, various designs and modes of operation of transducers.

The method based on the electromagnetic transducer with two magnetized poles and a different direction of current is developed. The universal functions of conversion with use of 1-st and 3-rd spatial harmonics are obtained, also the algorithm of realization of cylindrical wares' parameters multi-parameter control is offered. The sensitivity of the method is determined and rational modes of transducer operation are found. The calculation is performed and the effect of the higher harmonics of the field on the output signals of the transducer is shown. For example, for a transducer with one excitation wire, the rejection of the 3-rd harmonic will result in an error of the resulting EMF calculation equal to 5%, and for a transducer with two excitatory wires, when the 5-th harmonic is rejected, it is 1.5%.

A layout of a laboratory unit with an electromagnetic transducer with a spatial-periodic field structure was developed and experimental studies were carried out to determine μ_r , σ , and a with simulation samples of different sorts to confirm the adequacy of the developed method. The construction of an electromagnetic transducer with two excitation poles and a different direction of the magnetizing current with the use of the amplitude of the 1-st and 3-rd spatial harmonics and the 1-st harmonic phase is presented. As soon as direct estimation of error of testing μ_r , σ and a for the developed multi-parameter transducer is quite complicated, in the work the measurements of these parameters were carried out by control methods. So, to estimate a of the studied sample micrometer with a diameter measuring range $(50 \pm 0,01)$ mm was used, to estimate σ of a cylindrical sample, a contact electric method was used based on the potentiometer of direct current P363-3 (R363-3), having accuracy class of 0,005, to estimate μ_r the method of an ammeter – voltmeter for a ring sample was used.

It is shown that implementation of the developed transducer allows to receive the most complete information about the condition of electric power lines, that is to define μ_r , σ , and a of cylindrical wires, as well as the mechanical load,

temperature, magnitude of the current flowing in the line correlated with them and the determination of specific electrical losses during the diagnosis of the state of electric power lines, as evidenced by the implementation act dated 18.12.2015 (agreement № 377551 dated 27.07.2015 between NTU “KhPI” and PJSC “Ukrhydroproekt” city of Kharkiv).

Keywords: electromagnetic transducer, relative magnetic permeability, specific electrical conductivity, heterogeneous electromagnetic field, spatial harmonics, algorithm, testing.

List of publications on the topic of the dissertation

1. Tamer Shiban. Prospects for the development of multi-parameter eddy current transducers / B.M. Gorkunov, A.A. Tishchenko, Shiban Tamer // News of NTU "KhPI". - 2016.– №15 (1187). - p. 8-11.

2. Tamer Shiban. Electromagnetic transducer with a spatially periodic field for multi-parameter control systems / B.M. Gorkunov, Є.A. Borisenko, Shiban Tamer, Shahin Issam // News of NTU "KhPI". Seriya: Problem automated elektroprivodu. Sylowa elektronika that energy efficiency. - 2018. - №26 (1302), T.1. - p. 80-85.

3. Tamer Shiban. Experimental studies of eddy current transducer with spatially periodic fields / B.M. Gorkunov, S.G. Lviv, Shiban Tamer, E.A. Borisenko // Metrology and prilad. - 2018. № 4 (72). - p. 45-50. Index Copernicus.

4. Shiban Tamer. Normalized functions of eddy-current measuring transducers with a spatially periodic field structure in the case of multiparameter testing of metal products / B.M. Gorkunov, S.G. Lvov, Shiban Tamer, Ye.A. Borisenko // Ukrainian Metrological Journal - 2018.– № 3. - P. 28-34.

5. Shiban Tamer. Multi-parameter electromagnetic converter for control and diagnostic systems / B.M. Gorkunov, S.G. Lvov, N.N. Sirenko, Shiban Tamer // Electrotechnic and Computer Systems. –2019. – №30(106), – P. 218-225.

6. Tamer Shiban. Increasing the sensitivity of electromagnetic transducers with spatially periodic fields / B.M. Gorkunov, A.A. Tishchenko, Shiban Tamer // Zbirnik naukovih prats "Problems of energy resources saving in electrical systems.

Science, study and practice" Kremenchuk: KRNU. - 2016. - Vip. 1 (4) - p.107-109.

7. Tamer Shaiban. Electromagnetic Multiparameter Converter for Control of the Structure of Metal Products / B. Gorkunov, A. Tyshchenko, S. Lvov, Shaiban Tamer // IEEE Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2017, 15-17 November, Kremenchuk, Ukraine. – Volume 2018-January. – P. 284-287. – doi:10.1109/MEES.2017.8248912).
Scopus.

8. Patent for useful model №125124 G01N27 / 90 // Gorkunov BM, Lvov SG, Tishchenko AA, Shibani Tamer. Method of contactless control of the parameters of cylindrical conductive products. Application No. u 2017 12770, application. 22.12.2017, published. Apr 25, 2011, Bul. №8 Dekhpateht of Ukraine.

9. Tamer Shibani. Noncontact control of the state of electric power wires / B.M. Gorkunov, SG Lvov, AA Tishchenko, Shibani Tamer // Abstracts of the 5th scientific-practical conference "Methods and means of non-destructive testing of industrial equipment", November 24-25, 2015. - Ivano-Frankivsk: EI, IFNTUU.- 2015.-pp. 51-53.

10. Tamer Shibani. Multi-parameter eddy current transducer for monitoring overhead power lines / B.M. Gorkunov, M.M. Sirenko, A.A. Tishchenko, Shibani Tamer // Materials of the II-nd All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of the Conference "Actual Problems of Automation and Connection", 10-11 thru 2015 rub. - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2015. – P.109-110.

11. Tamer Shibani. Eddy current transducer with a spatially periodic field / B.M. Gorkunov, A.A. Tishchenko, Shibani Tamer // Zbirnik tez dopovidey XV XV International Science and Technical Conference "APPLAUDOBUVANNYA: camp and prospects", 17-18 May 2015. - Kyiv: NTUU "KPI" .– 2016. – C.158.

12. Tamer Shibani. The choice of the power frequency of the electromagnetic transducer when measuring the electrical resistivity / B.M. Gorkunov, L.V. Vepriv, Shibani Tamer // Materials of the III All-Ukrainian Science and Technology Conference “Actual Problems of Automation and Connection”, 8-9 of 2016 years. - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2016. – P.136-137.

13. Tamer Shiban. Expansion of functional capabilities of eddy current transducers with spatially periodic fields / B.M. Gorkunov, A.A. Tishchenko, I.V. Tyupa, Shiban Tamer // Zbirnik tez dopovidey XVII International Scientific and Technical Conference "APPLIEDOBUDUVNNYA: camp and prospects", 16-17 March 2017r. - Kyiv: NTUU "KPI". –2017. - p. 129.

14. Tamer Shiban. The development of the theory of multi-parameter electromagnetic converters / B.M. Gorkunov, S.G. Lviv, A.A. Tishchenko, Shiban Tamer // Tezi dopovidey VI I International Scientific and Technical Conference Mer Metrology, Information and Vimyryvalny Technology and System (MIVTS-2017), on the 25th – 25th of March 2017. - H.v. 37-38.

15. Tamer Shiban. Electromagnetic multi-parameter method for controlling cylindrical products / B.M. Gorkunov, SG Lvov, AA Tishchenko, Shiban Tamer // Collection of abstracts of the 4th International Scientific Conference "Measurement, Control and Diagnostics in Technical Systems (VKDTS-2017), October 31-November 2, 2017 - Vinnitsa: VNTU. -2017.- P.131.

16. Tamer Shiban. Non-contact measurement of parameters of conducting cylindrical products / B.M. Gorkunov, SG Lvov, AA Tishchenko, Shiban Tamer // Materials of the I International Scientific and Technical Conference "Actual Problems of Automation and Instrumentation", December 7-8, 2017. - Kharkiv: NTU "KhPI". - 2017.- P.147-148.

17. Tamer Shiban. Normalized transformation functions during vibration-current control / B.M. Gorkunov, Ye. A. Borisenko, Shiban Tamer // Abstracts of the XXVI International Scientific and Practical Conference "Information Technologies: Science, Technology, Technology Education, Health". -Harkov: NTU "KhPI". - 2018. -CHII - P.15.

18. Tamer Shiban. Analysis of uncertainty under multiparameter eddy current control of metal products / Gorkunov BM, Borisenko Ye.A., Shiban Tamer // Abstracts of reports of the XV International Scientific and Technical Seminar "Uncertainty of Measurements: Scientific, Regulatory, Applied and Methodical Aspects" UM-2018, September 10 - Sozopol. - 2018. - p.16.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО БАГАТОПАРАМЕТРОВОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБІВ	13
1.1 Постановка питання	13
1.2 Електромагнітні методи та засоби контролю параметрів матеріалів і виробів	14
1.3 Існуючі багатопараметрові методи та засоби контролю параметрів виробів	26
1.4 Вибір напрямку досліджень	35
РОЗДІЛ 2. ТЕОРІЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ПРОСТОРОВО-ПЕРІОДИЧНИМИ ПОЛЯМИ	38
2.1 Постановка питання	38
2.2 Фізико-математична модель первинного перетворювача з просторово- періодичними полем	39
2.3 Питання теорії електромагнітного перетворювача з просторово- періодичною структурою поля	46
2.4 Розрахунок очікуваних значень амплітуди та фази вихідного сигналу електромагнітного перетворювача	52
2.5 Висновки до розділу 2	57
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ БАГАТОПАРАМЕТРОВОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ	59
3.1 Постановка питання	59
3.2 Вплив ширини і місця розташування збуджуючих і вимірювальних обмоток на гармонійний склад магнітного поля	60
3.3 Розробка методу та первинного електромагнітного перетворювача з просторово-періодичним представленням збуджуючого поля для багатопараметрового контролю	67

3.3.1 Реалізація багатопараметрового методу контролю на основі електромагнітного перетворювача з одним збуджуючим полюсом.....	68
3.3.2 Реалізація методу на основі електромагнітного перетворювача з двома збуджувальними полюсами і різним напрямком струму	80
3.4 Врахування впливу вищих гармонік поля на вихідні сигнали вимірювальних обмоток перетворювача	87
3.5 Висновки до розділу 3	89
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ТРИПАРАМЕТРОВОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ	91
4.1 Постановка питання.....	91
4.2 Розробка первинного електромагнітного перетворювача з просторово-періодичною структурою поля	92
4.3 Контрольні методи визначення електричних, магнітних і геометричних параметрів досліджуваних зразків	98
4.3.1 Визначення питомого електричного опору матеріалу контактним електричним методом	99
4.3.2 Визначення магнітних параметрів досліджуваних матеріалів методом амперметра-вольтметра	104
4. 4 Практичне використання багатопараметрового методу та пристрою для контролю технічного стану повітряних ліній електромереж	109
4.5 Висновки до розділу 4	118
ВИСНОВКИ.....	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	123
Додаток А.....	141
Додаток Б	145
Додаток В.....	147
Додаток Г	150