

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U000233

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 10-01-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: № НСВС3224 від 26.03.2024



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ігнатюк Євген Станіславович

2. Yevhen S. Ihnatiuk

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 141

Назва наукової спеціальності: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Галузь / галузі знань: електрична інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Дата захисту: 04-03-2024

Спеціальність за освітою: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Місце роботи здобувача: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 26.002.114; ID 4486

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 45.29.31

**Тема дисертації:**

1. ДІАГНОСТИКА ШИХТОВАНИХ МАГНІТОПРОВОДІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ПРИ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ВПЛИВАХ
2. DIAGNOSTICS OF MAGNETIC CORES OF ELECTRIC MACHINES UNDER HIGH-FREQUENCY INFLUENCES

**Реферат:**

1. Дисертаційна робота присвячена підвищенню надійності роботи електричних машин з різним рівнем відпрацьованості їх розрахункового ресурсу шляхом розробки та впровадження ефективних малозатратних методів діагностики шихтованих осердь, зокрема оцінки якості міжлистової ізоляції та стану пресування пакету в електричних двигунах загального призначення та надання обґрунтованих рекомендацій по їх подальшій експлуатації. У першому розділі описано вплив технологічних факторів на характеристики шихтованих магнітопроводів електричних машин та огляд існуючих методів діагностики стану міжлистової ізоляції та рівня розпушеності пакету. Наведено причини виникнення дефектів у шихтованих магнітопроводах в процесі виробництва та ремонту. Показано аналіз існуючих методів діагностики стану

якості ламінованих осердь, що використовуються для виявлення пошкоджень та можливого прогнозування виходу з ладу ЕМ. Проаналізовано основні види дефектів, що можуть виникати в магнітопроводах, наслідки їх впливу на загальний і місцевий стан магнітопроводу, а також на роботу електричної машини в цілому. У другому розділі представлено фізичні основи зв'язку параметрів високочастотних перехідних процесів з питомими втратами в шихтованих магнітопроводах, приведено опис методу оцінки якості ламінованих осердь, що базується на реакції випробуваного магнітопроводу на швидкоплинні індукційні впливи. Третій розділ присвячений математичному моделюванню високочастотних процесів по запропонованому індукційному методу контролю якості шихтованих магнітопроводів електричних машин загального призначення. Описано та обґрунтовано параметри бездефектного магнітопроводу. Проведено польове та математичне моделювання дефектних та бездефектних пакетів листів електротехнічної сталі в програмному середовищі COMSOL Multiphysics. У четвертому розділі описано метод оцінки якості шихтованих магнітопроводів по стану міжлистової ізоляції та рівня розпушеності листів магнітопроводу. Метод дозволяє обґрунтувати рекомендації по подальшому використанню осердя по результатах аналізу діагностичних впливів при одночасному використанні швидкоплинних індукційних впливів та ударного вібраційного впливу при співвідношенні дефектів різного походження. П'ятий розділ описує структурні та функціональні схеми дослідного макету для дослідження стану якості шихтованого магнітопроводу високочастотним індукційним методом. Функціональна схема складається генератору синусоїдальних оливань високої частоти, блоку силових ключів на польових транзисторах, блоку живлення та блоку обробки та аналізу інформації. Структура вимірювально-діагностичної системи включає силову і вимірювальну частину, які пов'язані індукційним шляхом через об'єкт контролю на якому розташовано обмотку збудження та вимірювальну обмотку. пристрій дозволяє виконувати перевірку якості міжлистової ізоляції осердя електричних машин малої та середньої потужності (об'єктів) без застосування додаткових вимірювальних приладів. Наукова новизна одержаних результатів в дослідженні полягає у наступному: - Запропоновано індукційний метод контролю якості міжлистової ізоляції ламінованих магнітопроводів, який на відміну від існуючих, побудований на принципі порівняння реакції шляхів замикання вихрових струмів при наявності та відсутності дефектів на швидкоплинні процеси різної частоти в індукційно пов'язаних контурах збуджуючої та контрольної обмотки. - Вдосконалено чисельну польову математичну модель швидкоплинних процесів в шихтованому магнітному осерді, яка на відміну від існуючих враховує нелінійні властивості магнітних матеріалів та явище гістерезису при зміні частоти перемагнічування. - Вперше розроблено математичну модель, яка визначає зв'язок параметрів високочастотних процесів в випробуваних магнітних осердях з їх питомими втратами в змінних магнітних полях промислової частоти та індукціях, рекомендованих до нормативних випробувань та близьких до індукцій при роботі електричних машин. - Обґрунтовано нову методику визначення ступеня пошкодження міжлистової ізоляції шихтованих магнітопроводів електричних машин при наявності інтегральних і локальних дефектів з подальшими рекомендаціями до відбракування магнітопроводів. - на базі побудованих математичних моделей теоретично обґрунтовано можливі діагностичні ознаки шихтованих магнітопроводів електричних машин, які орієнтовані на використання ударного вібраційного сигналу з одночасним електромагнітним комутаційним впливом.

2. The dissertation is focused on solving the problem of diagnosing the condition of laminated cores and the quality of inter-sheet insulation in general-purpose electric machines. The work focuses on the development and implementation of an effective methodology that provides a comprehensive assessment of the state of the EM magnetic core of general purpose. The first chapter describes the influence of technological factors on the characteristics of laminated magnetic cores of electric machines and an overview of existing methods for diagnosing the state of the inter-sheet insulation and the level of looseness of the package. The reasons for the occurrence of defects in laminated magnetic cocores during the production and repair process are given. The analysis of the existing methods of diagnosing the state of the quality of laminated cores, which are used to detect damage and possible prediction of EM failure, is shown. The main types of defects that can occur in magnetic cores, the consequences of their influence on the general and local condition of the magnetic core, as well as on the operation of the electric machine as a whole, are analyzed. The second chapter presents the physical basis of

the connection between the parameters of high-frequency transient processes and the specific losses in laminated magnetic cores, and describes the method of evaluating the quality of laminated cores, which is based on the reaction of the tested magnetic core to fast-moving induction influences. The third section is devoted to the mathematical modeling of high-frequency processes by the proposed induction method of quality control of laminated magnetic cores of general-purpose electric machines. The parameters of the defect-free magnetic core are described and substantiated. Field and mathematical modeling of defective and defect-free bundles of electrical steel sheets was carried out in the COMSOL Multiphysics software environment. The fourth chapter describes the method of assessing the quality of laminated magnetic cores based on the state of inter-sheet insulation and the level of loosening of magnetic core sheets. The method makes it possible to justify recommendations for the further use of the core based on the results of the analysis of diagnostic effects with the simultaneous use of fast-moving induction effects and impact vibration effects in the ratio of defects of various origins. The fifth chapter describes the structural and functional schemes of the experimental layout for researching the state of the quality of the laminated magnetic core by the high-frequency induction method. The functional scheme consists of a generator of high-frequency sinusoidal oscillations, a block of power switches on field-effect transistors, a power supply unit and a block of information processing and analysis. The structure of the measuring and diagnostic system includes the power and measuring part, which are connected by induction through the control object on which the excitation winding and the measuring winding are located. The device allows you to check the quality of the inter-sheet insulation of the core of small and medium power electric motors (objects) without the use of additional measuring devices. The scientific novelty of the results obtained in the study is as follows: - An induction method for quality control of the inter-sheet insulation of laminated magnetic core is proposed, which, unlike the existing ones, is based on the principle of comparing the reaction of the eddy current closing paths in the presence and absence of defects to fast-flowing processes of different frequencies in the induction-connected circuits of the exciting and control windings. - The numerical field mathematical model of fast-flowing processes in a laminated magnetic core has been improved, which, unlike the existing ones, takes into account the nonlinear properties of magnetic materials and the phenomenon of hysteresis when changing the frequency of remagnetization. - For the first time, a mathematical model was developed that determines the relationship between the parameters of high-frequency processes in the tested magnetic cores and their specific losses in variable magnetic fields of industrial frequency and inductions recommended for regulatory tests and close to inductions during the operation of electric machines. - A new methodology for determining the degree of damage to the inter-sheet insulation of laminated magnetic cores of electric machines in the presence of integral and local defects is substantiated, with further recommendations for the rejection of magnetic cores. - on the basis of the constructed mathematical models, the possible diagnostic features of laminated magnetic cores of electric machines, which are oriented to the use of a shock vibration signal with a simultaneous electromagnetic switching effect, are theoretically substantiated.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Енергетика та енергоефективність

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Не застосовується

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- Chumack, V., Tymoshchuk, O., Kovalenko, M., Bazenov, V., Ihnatiuk, Y., Stulishenko, A. (2023). RESEARCH OF HIGH-FREQUENCY REMAGNETIZATION MODEL IN LAMINATED MAGNETIC CORES OF ELECTROMECHANICAL AND ELECTROMAGNETIC ENERGY CONVERTERS. August 2023 Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 4, 6-15.
- Chumack, V., Kovalenko, M., Tymoshchuk, O., Stulishenko, A., Ihnatiuk, Y. (2023). DESIGN OF A MULTILINK SYSTEM FOR CALCULATING HIGH-FREQUENCY PROCESSES IN ELECTRIC MACHINES WITH MESH

WINDINGS. June 2023 Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 3, 54-63.

- Mykola Ostroverkhov, Vadim Chumack, Oksana Tymoshchuk, Mykhailo Kovalenko, Yevhen Ihnatiuk, Designing a voltage control system of the magnetoelectric generator with magnetic flux shunting for electric power systems, October 2022 Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 5(5 (119)):16-25
- В.В. Чумак, О.Л. Тимошук, А.С. Стулішенко, Є.С. Ігнатюк «Оцінка рівня дефектності шихтованих магнітопроводів електричних машин високочастотними методами», Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету, №1, Том 9, 2019, Мелітополь
- V.V. Chumack, O.V. Vyshnevskiy, A.S. Stulishenko, Y.S. Ihnatiuk, IMPROVED HIGH-FREQUENCY MODEL OF ASYNCHRON MOTOR, April 2019, No. 3 (2018): Power engineering: economics, technique, ecology, p.151-156
- В.В. Чумак, М.А. Коваленко, Ю.О. Троценко, Є.С. Ігнатюк, А.С. Стулішенко, «RESEARCH OF PHYSICAL PROCESSES IN LAMINATED MAGNETIC CORES OF ELECTRIC MACHINES», Журнал –«Енергетика: економіка, технології, екологія», №4, 2021, Київ, с. 37-43
- В.В. Чумак, О.Л. Тимошук, А.С. Стулішенко, Є.С. Ігнатюк, АНАЛІЗ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ПРОЦЕСІВ В АСИНХРОННИХ ДВИГУНАХ З ВСИПНИМИ ОБМОТКАМИ НА ОСНОВІ ЛАНЦЮГОВИХ СХЕМ ЗАМІЩЕННЯ, No. 4 (2018): Енергетика: економіка, технології, екологія, Київ, с.92-97
- Mykola Ostroverkhov, Vadim Chumack, Mykhailo Kovalenko, Yevhen Ihnatiuk, Magnetolectric Generator with Magnetic Flux Shunting for Electric Power Complexes, October 2022, Conference: 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)
- Mykola Ostroverkhov, Vadim Chumack, Mykhailo Kovalenko, Yevhen Ihnatiuk, Electrical Generator with Magnetic Flux Shunting for Autonomous Power Units, October 2022, Conference: 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)
- V.V. Chumack, V.V. Kotliarova, Y.S. Ihnatiuk, COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE AC MACHINE STATOR BY ELECTROMAGNETIC AND VIBROACOUSTIC METHODS, 2019 Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – с. 318-322.
- V.V. Chumack, V.V. Kotliarova, Y.S. Ihnatiuk, EVALUATION OF THE DEFECT LEVEL OF ELECTRICAL MACHINES BY HIGH-FREQUENCY METHODS, 2019 Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – с. 310-317.
- V.V. Chumack, V.V. Kotliarova, Y.S. Ihnatiuk, EVALUATION OF QUALITY OF INTERLAYER INSULATION OF LAMINATED MAGNETIC CORES BY HIGH-FREQUENCY EFFECTS, 2020 Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – с. 247-249.
- V. V. Kotliarova, A. S. Stulishenko, O. V. Vishnevskii, Y. S. Ihnatiuk, IMPROVED HIGH-FREQUENCY MODEL OF ASYNCHRONOUS MOTOR, 2020 Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – с. 243-246.
- V.V. Chumack, V.V. Kotliarova, M.A. Kovalenko, V.A. Svyatnenko, Y.S. Ihnatiuk, DISTRIBUTION OF MAGNETIC INDUCTION IN LAMINATED MAGNETIC CORE WITH INTERSHEET INSULATION CONTROL, 2021 Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики". – Київ: ФЕА КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с. 243-246.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** методи, теорії, гіпотези

**Соціально-економічна спрямованість:** зменшення зносу обладнання

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0221U101391

## VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Чумак Вадим Володимирович
2. Vadim Chumack

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.09.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8401-7931

**Додаткова інформація:** <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191833069>,  
<https://www.webofscience.com/wos/author/record/1981028>, <https://www.researchgate.net/profile/Vadim-Chumack>, <https://scholar.google.com.ua/citations?user=AZFafXoAAAAJ>

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

### Офіційні опоненти

#### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Заблодський Микола Миколайович
2. Mykola M. Zablodskyi

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.09.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8889-8158

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Код за ЄДРПОУ:** 00493706

**Місцезнаходження:** вул. Героїв Оборони, буд. 15, Київ, 03041, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

#### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Зварич Валерій Миколайович

2. Valery M. Zvarych

**Кваліфікація:** д. т. н., старший науковий співробітник, 05.13.05

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1271-4954

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут електродинаміки Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417236

**Місцезнаходження:** пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03680, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Гераскін Олександр Анатолійович

2. Oleksandr A. Geraskin

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.09.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-4651-4579

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Бардик Євген Іванович

2. Evgen I. Bardyk

**Кваліфікація:** к.т.н., доц., 05.14.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5776-1500

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VIII. Заключні відомості**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Ковбаса Сергій Миколайович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Ковбаса Сергій Миколайович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Ігнатюк Євген Станіславович

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна