

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U001153

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 04-04-2025

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Рассовський Вадим Леонідович

2. Vadym Rassovskyi

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0002-1666-3063

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 175

Назва наукової спеціальності: Інформаційно-вимірювальні технології

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Інформаційно-вимірювальні технології

Дата захисту: 20-05-2025

Спеціальність за освітою: Електричні станції

Місце роботи здобувача: Приватне акціонерне товариство "Укргідроенерго"

Код за ЄДРПОУ: 20588716

Місцезнаходження: Вишгород, Вишгород, Вишгородський р-н., 07300, Україна

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

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

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 8307

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05417236

**Місцезнаходження:** пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03057, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

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

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05417236

**Місцезнаходження:** пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03057, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 59.29.29

**Тема дисертації:**

1. Засоби контролю повітряного проміжку між ротором та статором в капсульних гідрогенераторах на базі ємнісних вимірювачів

2. Air gap sensors between rotor and stator for capsule hydrogenerators based on capacitive sensing

**Реферат:**

1. Дисертаційну роботу присвячено розвитку методів реалізації ємнісних вимірювачів (сенсорів) повітряного проміжку між ротором та статором в капсульних гідрогенераторах шляхом удосконалення їх конструкції з урахуванням реальних умов експлуатації задля забезпечення підвищення точності вимірювання повітряного проміжку до практично необхідного рівня згідно вимог чинних нормативних та технічних документів до них. У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, розкрито сутність і стан науково-технічної проблеми, що досліджується, наведено обґрунтування доцільності проведення досліджень, відображено зв'язок роботи з науковими програмами та планами НДР Інституту електродинаміки НАН України, сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведено апробації роботи та публікації її результатів у наукових виданнях. Перший розділ

містить аналітичний огляд науково-технічних джерел і патентної інформації щодо методів вимірювання повітряного проміжку в гідрогенераторах. Розглянуто контактні (щупи) та безконтактні (ультразвукові, індукційні, оптичні, ємнісні) методи. Найперспективнішими є ємнісні сенсори, оскільки вони стійкі до електромагнітних завад і температурних змін, але потребують удосконалення. Визначено фактори, що впливають на точність вимірювання: кривизна полюса ротора, похибки виготовлення та встановлення сенсорів, вплив магнітного поля, температури й вологості. Запропоновано напрями вдосконалення сенсорів для покращення метрологічних характеристик. У другому розділі представлено структури ємнісних сенсорів повітряного проміжку з компланарними електродами. Запропоновано топологію електродів, інваріантну до магнітного поля, та диференційну схему сенсора, що підвищує точність у 10 разів. Розроблено метод зменшення паразитних струмів, покращено метрологічні характеристики. Наведено результати визначення функції перетворення запропонованих ємнісних сенсорів повітряного проміжку в потужних гідрогенераторах з покращеними метрологічними характеристиками та розширеними функціональними можливостями. Третій розділ присвячено дослідженню впливу технологічних дефектів і конструктивних особливостей вузла контролю на метрологічні характеристики ємнісних сенсорів шляхом аналітичних розрахунків та математичного моделювання. Досліджено похибки, спричинені кривизною розточення осердя статора, кривизною полюса ротора та перекосом сенсора. Виявлено, що похибка через кривизну статора є сталою і визначається шириною сенсора та радіусом розточення. Кривизна полюса ротора викликає адитивну похибку, пропорційну радіусу «башмака» полюса. Перекіс сенсора відносно полюса ротора також призводить до адитивної похибки, пропорційної куту перекосу. Показано, що ці похибки можна скомпенсувати коригувальними коефіцієнтами під час налаштування системи вимірювання. Розбіжність між результатами комп'ютерного моделювання та аналітичних розрахунків (без урахування паразитних ємностей) не перевищує 1%. Наведено рекомендації щодо розробки та встановлення сенсорів, які мінімізують похибки та покращують метрологічні характеристики системи вимірювання. У четвертому розділі представлено результати лабораторних та експериментальних досліджень зразків розроблених сенсорів, які призначені для використання на капсульних гідрогенераторах типу СГК 538/160-70М. Отримані результати підтверджують можливість використання розробленого ємнісного сенсора з компланарною паралельною топологією електродів для вимірювання повітряного проміжку між статором та ротором у капсульному гідрогенераторі типу СГК 538/160-70М в діапазоні від 2 до 10 мм. Результати експериментів дозволили верифікувати комп'ютерні моделі та макетні зразки, створені на основі проведених досліджень аналітичними методами та чисельного моделювання, а також підтвердити правильність прийнятих теоретичних підходів.

2. The dissertation focuses on developing methods for implementing capacitive sensors for measuring the air gap between the rotor and stator in capsule hydrogenerators. This involves enhancing their design while considering real operating conditions to improve measurement accuracy to the required practical level, in compliance with current regulatory and technical standards. The introduction establishes the relevance of the dissertation topic, defines the scientific and technical problem under investigation, and justifies the necessity of the research. It highlights the study's alignment with scientific programs and research plans of the Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine. Additionally, it formulates the research goal and objectives, outlines the scientific novelty and practical significance of the results, specifies the applicant's personal contribution, and presents the approbation of the work along with its publication in scientific journals. The first section presents an analytical review of scientific and technical literature, as well as patent information on air gap measurement methods in hydrogenerators. It examines both contact (probe-based) and non-contact methods, including ultrasonic, induction, optical, and capacitive approaches. Among these, capacitive sensors are identified as the most promising due to their resistance to electromagnetic interference and temperature variations, though they require further enhancement. The section also identifies key factors affecting measurement accuracy, such as rotor pole curvature, manufacturing and installation errors, and the influence of magnetic fields, temperature, and humidity. Based on this analysis, directions for improving capacitive sensors to enhance their metrological characteristics are proposed. The second section introduces the designs of capacitive air gap sensors with coplanar electrodes. A

magnetic field-invariant electrode topology and a differential sensor circuit are proposed, enhancing measurement accuracy by an order of magnitude. Additionally, a method for reducing parasitic currents is developed, further improving metrological characteristics. The section also presents the results of determining the conversion function of the proposed capacitive sensors in high-power hydrogenerators, demonstrating improved accuracy and expanded functionality. The third section investigates the impact of technological defects and design features of the control unit on the metrological characteristics of capacitive sensors through analytical calculations and mathematical modeling. It examines errors arising from the curvature of the stator core bore, the curvature of the rotor pole, and sensor skew. The analysis reveals that the error due to stator curvature remains constant and depends on the sensor width and bore radius, while rotor pole curvature introduces an additive error proportional to the radius of the pole "shoe." Similarly, sensor skew relative to the rotor pole results in an additive error proportional to the skew angle. The study demonstrates that these errors can be compensated for using correction factors during system calibration. The discrepancy between computer modeling results and analytical calculations (excluding parasitic capacitances) does not exceed 1%. The section concludes with recommendations for sensor design and installation to minimize errors and enhance the metrological characteristics of the measurement system. The fourth section presents the results of laboratory and experimental studies on prototypes of the developed capacitive sensors designed for use in SGK 538/160-70M capsule hydrogenerators. The obtained results confirm the feasibility of using the proposed capacitive sensor with a coplanar parallel electrode topology for measuring the air gap in the range from 2 to 10 mm. Experimental results validated the accuracy of computer models and physical mock-ups developed based on analytical and numerical modeling, confirming the reliability of the adopted theoretical approaches.

**Державний реєстраційний номер ДіР:** 0520U100113 0825U000317

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

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

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

**Публікації:**

1. Zaitsev I., Levytskyi A., Bereznychenko V., Rassovskyi V. Air gap sensors for hydro generators and techniques for air-gap eccentricity fault detection and estimation. In: Power systems research and operation: Selected problems III / editors: Kyrylenko O. and other. vol 512. Springer, Cham. 2024. P. 111–131. DOI: 10.1007/978-3-031-44772-3\_16. Розділ монографії. Index in SCOPUS.
2. Blinov I., Parus E., Olefir D., Rybina O., Sychova V., Zaitsev I., Rassovskyi V. Approaches to the cascade hydropower plants optimum operation for forming the day-ahead electricity market schedule. Systems, Decision and Control in Energy VI / editors: Babak V. and Zaporozhets A., vol 552. Springer, Cham. 2024. P. 445–472. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-67091-6\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-67091-6_20). Розділ монографії. Index in SCOPUS.
3. Рассовський В. Л., Левицький А.С., Зайцев Є.О. Завадостійкий ємнісний сенсор для визначення повітряного зазору в потужному гідрогенераторі. Гідроенергетика України. 2021. №. 3-4. С. 42 – 45. URL: <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2021-12/12.pdf>.
4. Левицький А. С., Рассовський В. Л. Зайцев Є.О. Ємнісний сенсор з системою компланарних електродів для вимірювання повітряного зазору в гідрогенераторах. Технічна електродинаміка. 2023. №. 3. С. 80 – 85. DOI: 8 <https://doi.org/10.15407/techned2023.03.080>. Фахове видання категорії А. Index in SCOPUS.
5. Левицький А.С., Зайцев Є.О., Рассовський В.Л. Напівдиференціальний ємнісний сенсор повітряного проміжку в гідрогенераторах. Відновлювальна енергетика. 2024. № 3(78). С. 132-139. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.3\(78\).132-139](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.3(78).132-139). Фахове видання категорії А. Index in SCOPUS.

- 6. Березниченко В.О., Закусило С.А, Рассовський В.Л. Теоретично-експериментальне дослідження ємнісного сенсору систем контролю повітряного проміжку потужних гідрогенераторів з системою компланарних електродів. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. № 2. С. 117 – 124. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-14>. Фахове видання категорії Б.
- 7. Левицький А.С., Зайцев Є.О., Рассовський В.Л., Закусило С.А. Розрахунок похибки ємнісного сенсора повітряного проміжку в гідрогенераторах з системою компланарних електродів, зумовленої перекосом. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2024. №69. С. 119 – 125. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2024.69.119>.
- 8. Рассовський В.Л., Зайцев Є.О., Левицький А.С. Дослідження ємнісного сенсора повітряного проміжку в гідрогенераторі з системою компланарних електродів. Перспективні технології та прилади. 2024. Т.1, № 25. С.117-122. DOI: <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2024-25-18>. Фахове видання категорії Б.
- 9. Патент України на винахід UA 128750 С2 Ємнісний сенсор для вимірювання повітряного зазору в гідрогенераторах / Анатолій Левицький, Вадим Рассовський, Євген Зайцев, Наталія Сорокіна; Заявник Інститут електродинаміки НАН України. – № а202202059; заявл. 16.06.2022; опубл. 09.10.2024 р.; Бюл. № 41/2024.
- 10. Зайцев Є.О., Левицький А.С., Рассовський В.Л., Березниченко В.О. Вимоги міжнародного стандарту ISO 19283:2020 до систем моніторингу та діагностики технічного стану гідроагрегатів. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXII міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 19-20 травня 2022р.). К.: Інтерсервіс, 2022. С.212–213.
- 11. Березниченко В.О., Левицький А.С., Зайцев Є.О., Рассовський В.Л. Ємнісний сенсор повітряного зазору з системою компланарних електродів для систем контролю та діагностики гідрогенераторів. Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference. Edmonton, Canada, April 04 – 07. 2023. С. 486 – 492. DOI: 10.46299/ISG.2023.1.13.
- 12. Левицький А. С., Зайцев Є.О., Рассовський В. Л., Березниченко В.О. Ємнісний сенсор повітряного зазору в гідрогенераторі, стійкий до впливу магнітного поля машини. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXIV міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 18-19 травня 2023 р. С. 328–329. URL: [https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Tezy\\_Conferencii\\_2023\\_22.05.pdf](https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Tezy_Conferencii_2023_22.05.pdf).
- 13. Bereznychenko V., Zaitsev I., Levytskyi A., Rassovskyi V. Electrocapacitive air gap sensor with parallel coplanar electrodes for hydrogenerators condition monitoring systems. In: 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES): Proc. of international conference. Kremenchuk, 27-30 Sept. 2023. pp. 1-4. DOI: 10.1109/MEES61502.2023.10402422. Index in SCOPUS.
- 14. Zaitsev I., Levytskyi A., Bereznychenko V., Zakusilo S., Rassovskyi V. Application of air gap sensor for improved fault detection and diagnostics tools for 10 hydro generators condition monitoring systems. In: 2023 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek-2023): Proc. of international conference. Kharkiv, 7 – 10 Oct. 2024. pp. 1-6, DOI: 10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312877. Index in SCOPUS.
- 15. Зайцев Є.О., Левицький А.С., Рассовський В. Л. Метод визначення ексцентриситету ротора гідрогенератора у циліндричній системі координат. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІПРТК-2024): Матеріали сімнадцятої міжнародної науково-практичної конф. Київ, 21-22 травня 2024 р. С. 176-177.

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

**Соціально-економічна спрямованість:** економія енергоресурсів; економія матеріалів; зменшення зносу обладнання; підвищення продуктивності праці

**Охоронні документи на ОПВ:**

Винаходи, корисні моделі, промислові зразки

Патент України на винахід UA 128750 C2 Ємнісний сенсор для вимірювання повітряного зазору в гідрогенераторах / Анатолій Левицький, Вадим Рассовський, Євген Зайцев, Наталія Сорокіна; Заявник Інститут електродинаміки НАН України. – № а202202059; заявл. 16.06.2022; опубл. 09.10.2024 р.; Бюл. № 41/2024.

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0122U000136 0122U000051

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Зайцев Євген Олександрович
2. Ievgen Zaitsev

**Кваліфікація:** д. т. н., старший науковий співробітник, 05.11.05, 05.13.05

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3303-471X

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05417236

**Місцезнаходження:** пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03057, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Левицький Анатолій Станіславович
2. Anatolii S. Levytskyi

**Кваліфікація:** д.т.н., с.н.с., 05.11.05

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-0146-9498

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05417236

**Місцезнаходження:** пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03057, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

## VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

### Офіційні опоненти

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

1. Васько Петро Федосійович
2. Petro Vasco

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, заведуючий отдела ВД, 05.09.01, 05.14.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8807-7173

#### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 26476029

**Місцезнаходження:** вул. Драгоманова, буд. 17, Київ, 02068, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

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

1. Шкарупило Вадим Вікторович
2. Vadym Shkarupylo

**Кваліфікація:** д.т.н., доцент, 05.13.05

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-0523-8910

#### 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:**

### Рецензенти

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

1. Брагинець Ірина Олександрівна
2. Iryna Brahynets

**Кваліфікація:** к.т.н., с.н.с., 05.11.05

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-9528-5808

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05417236

**Місцезнаходження:** пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03057, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Мороз Роман Миколайович

2. Roman Moroz

**Кваліфікація:** к.т.н., 05.11.05

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-4292-8160

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05417236

**Місцезнаходження:** пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03057, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VIII. Заключні відомості**

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

Шидловська Наталія Анатоліївна

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

Шидловська Наталія Анатоліївна

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Макаренко Ірина Василівна

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна