

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U003256

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 01-08-2025

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ ВНТУ №300 від 22.09.2025р.



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Смагло Іван Іванович

2. Ivan Smahlo

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: 05-09-2025

Спеціальність за освітою: Електричні станції

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 10239

Повне найменування юридичної особи: Вінницький національний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02070693

Місцезнаходження: вул. Хмельницьке шосе, буд. 95, Вінниця, Вінницький р-н., 21021, 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: Вінницький національний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02070693

Місцезнаходження: вул. Хмельницьке шосе, буд. 95, Вінниця, Вінницький р-н., 21021, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 44.29, 44.29.29, 44.29.37, 44.37.31

Тема дисертації:

1. Методи і способи дистанційного моніторингу та самодіагностики фотоелектричних станцій.
2. Methods and ways of remote monitoring and self-diagnostic of photovoltaic power plants.

Реферат:

1. 1.укр. Дисертаційна робота: 182 с., 61 рис., 5 дод., 72 джерел. ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ, ДЕГРАДАЦІЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ, ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСФОРМАТОРІВ, ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ТА САМОДІАГНОСТИКА ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ Дисертаційна робота присвячена підвищенню надійності роботи ФЕС і реалізації моделі прогнозування генерації електроенергії та участі ФЕС в балансуванні режимів ЕЕС з врахуванням деградації її електрообладнання в роботі розв'язуються такі основні задачі: - аналізуються види пошкоджень фотоелектричних модулів, досліджуються фактори, які впливають на деградацію ФЕМ та їх залежність, розглядаються особливості експлуатації силових трансформаторів систем електропостачання та генерування ВДЕ в умовах війни, а також розробляються методи та способи діагностики стану ФЕС; - математичне моделювання та методи оцінювання технічного стану фотоелектричних станцій в балансуєчій групі ЕЕС з використанням часових рядів для представлення генерування ФЕС, кореляційного аналізу параметрів, впливових на генерування ФЕС, а також кластеризації

задля визначення ФЕС з аномаліями в їх роботі; для оцінювання технічного стану обладнання ФЕС розробляється програмно-апаратний комплекс діагностування і показано результати його застосування. Основним елементом станцій прямого перетворення сонячного випромінювання є фотоелектричні модулі (ФЕМ) і вплив їх деградації на генерування електроенергії ФЕС суттєвий, тому розроблено методи та алгоритм моніторингу їх технічного стану. Визначено, що застосування тепловізійного контролю вимагає великої інформаційної бази та постійного вдосконалення методів та ідентифікації дефектів. Для цього необхідно використовувати алгоритми, які визначають природу деградації ФЕМ. На основі порівняння методів DBSCAN та k-means вибрано метод, який дозволяє на основі координат об'єктів генерування та пів годинних графіків генерування виконати поділ на групи з відносно простою інтерпретацією результатів. Обґрунтовано метод, який створює можливості застосування безпілотних авіаційних систем для автоматизованого аналізу фотоелектричних установок. Цей метод може бути застосований як в інфрачервоному, так і у видимому діапазоні спектру. Обидва випадки вимагають специфічного налаштування певних параметрів, що призводить до різної поведінки БПЛА під час автоматизованих польотів. Для вибору станцій, які потребують проведення моніторингу, необхідно розробити метод, що дозволив би за доступними параметрами це зробити. Оскільки такими параметрами є графіки генерування окремими станціями, які можуть надаватись системою АСКОЕ з годинною або пів годинною дискретністю, то ці данні готуються для подальшого аналізу. Для цього розроблено відповідне програмно-апаратне забезпечення, яке дозволяє уточнювати природу і причини зниження продуктивності ФЕМ і ФЕС в цілому. Розроблено метод діагностування ФЕМ в умовах неповноти початкових даних, який шляхом використання нейро-нечіткого моделювання дозволяє отримати поточне значення коефіцієнту залишкового ресурсу ФЕМ і, в залежності від результату, зробити висновок про один зі станів ФЕМ та зменшити похибку прогнозування такого стану. На практичному прикладі показано вплив деградації обладнання ФЕС на результати генерування електроенергії. З впровадженням процедури погодинного прогнозованого генерування електроенергії ФЕС задача їх участі в балансуванні режимів суттєво ускладнилася, оскільки невідповідність заявленого генерування реальному передбачає фінансову відповідальність. Метод моніторингу та виявлення несправностей в режимі онлайн ФЕМ, які експлуатуються на ФЕС, базується лише на інформації, зібраній SCADA системами ФЕС. За результатами випробовування показано, що доцільно ФЕМ ділити на дві групи: ті, що через різну причину деградації зменшили свою продуктивність на 25–35%, і ті, для яких ці значення менші 10%. Останню групу ФЕМ варто продовжити використовувати, а щодо першої, то варто зробити техніко-економічну оцінку і вирішити, чи доцільно продовжити їх експлуатацію, чи демонтувати і замінити на нові. Досліджено характерні причини пошкоджень трансформаторів ФЕС. В першу чергу, це змінна напрямків, реверс потоків потужності через трансформатор. Сучасні силові трансформатори часто не розраховані на зміну напрямків потоків потужності. Зі збільшенням розповсюдження ФЕС реверсний потік електроенергії стає серйозною проблемою. Оскільки існуючі методики вибору силових трансформаторів не враховують реверсивних потоків, що призводить до їх перегріву під час експлуатації. Ще однією причиною пошкоджень трансформаторів ФЕС є несинусоїдальність напруги, спотворення синусоїди якої може бути в електричній мережі споживачами. Особливо це стосується випадків, коли на одному фідері знаходиться декілька ФЕС і моменти включення/відключення яких не узгоджено між собою. Такі систематичні перенапруги можуть призвести до пошкодження ізоляції і виходу з ладу трансформатора.

2. The dissertation work is devoted to increasing the reliability of the operation of photovoltaic power plants and the implementation of a model for predicting electricity generation and the participation of photovoltaic power plants in balancing the power plant modes, taking into account the degradation of its electrical equipment. The following main tasks are solved in the work: - types of damage to photovoltaic modules are analyzed, factors that affect the degradation of photovoltaic power plants and their dependence are investigated, the features of the operation of power transformers of power supply systems and renewable energy generation in war conditions are considered, and methods and means of diagnosing the state of photovoltaic power plants are developed; - mathematical modeling and methods for assessing the technical condition of photovoltaic power plants in the balancing group of the power plant using time series to represent photovoltaic power plant generation, correlation

analysis of parameters affecting photovoltaic power plant generation, as well as clustering to identify photovoltaic power plants with anomalies in their operation; a hardware and software diagnostic complex is developed to assess the technical condition of photovoltaic power plant equipment and the results of its application are shown. The main element of direct solar radiation conversion stations are photovoltaic modules (PVMs) and the impact of their degradation on the generation of electricity by PV plants is significant, therefore, methods and algorithms for monitoring their technical condition have been developed. It has been determined that the use of thermal imaging control requires a large information base and constant improvement of methods and identification of defects. For this, it is necessary to use algorithms that determine the nature of PVM degradation. Based on a comparison of the DBSCAN and k-means methods, a method was selected that allows, based on the coordinates of the generation objects and half-hour generation schedules, to perform division into groups with a relatively simple interpretation of the results. A method was substantiated that creates the possibility of using unmanned aircraft systems for automated analysis of photovoltaic installations. This method can be applied both in the infrared and in the visible spectrum range. Both cases require specific settings of certain parameters, which leads to different behavior of the UAV during automated flights. To select stations that require monitoring, it is necessary to develop a method that would allow this to be done using available parameters. Since such parameters are generation schedules by individual stations, which can be provided by the ACEAS system with hourly or half-hourly discreteness, these data are prepared for further analysis. For this purpose, appropriate software and hardware have been developed, which allows specifying the nature and causes of the decrease in the productivity of PV and PV plants as a whole. A method for diagnosing PV in conditions of incomplete initial data has been developed, which, by using neuro-fuzzy modeling, allows obtaining the current value of the PV residual resource coefficient and, depending on the result, making a conclusion about one of the PV states and reducing the prediction error of such a state. A practical example shows the impact of PV equipment degradation on the results of electricity generation. With the introduction of the procedure for hourly forecasted electricity generation of photovoltaic power plants, the task of their participation in balancing the regimes has become significantly more complicated, since the discrepancy between the declared generation and the actual one entails financial liability. The method of online monitoring and fault detection of photovoltaic power plants operated at photovoltaic power plants is based only on information collected by the photovoltaic power plant SCADA systems. The test results show that it is advisable to divide photovoltaic power plants into two groups: those that, due to various reasons for degradation, have reduced their productivity by 25–35%, and those for which these values are less than 10%. The latter group of photovoltaic power plants should be continued to be used, and as for the first, it is worth making a technical and economic assessment and deciding whether it is advisable to continue their operation or dismantle and replace them with new ones. The characteristic causes of damage to photovoltaic power plant transformers have been investigated. First of all, this is a change in direction, a reversal of power flows through the transformer. Another reason for damage to photovoltaic power plant transformers is the non-sinusoidality of the voltage, the distortion of which can be caused by consumers in the electrical network. Such systematic overvoltages can lead to insulation damage and transformer failure.

Державний реєстраційний номер ДіР: 0121U113451,0123U100005,0123U103354,0124U003650

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. P. Lezhniuk, M. Belik, V. Komar, O. Rubanenko, Olena Rubanenko, I. Smaglo. Analysis of technical conditions influencing the operation of PV power stations cooperating with controlled power grids // 2022 IEEE 4th

International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). 979-8-3503-4683-1/22/\$31.00
©2022 IEEE. doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005686

- 2. Комар В. О., Лежнюк П. Д., Лесько В. О., Гунько І. О., Смагло І. І. Програмно-апаратний комплекс діагностування технічного стану обладнання фотоелектричних станцій // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – № 2. – 2022. – С. 43–50. doi: 10.20998/2224-0349.2022.02.05
- 3. Komar V., Lezhniuk P., Hunko I., Smaglo I. Assessment of Technical Condition of Photovoltaic Station Equipment Using Software and Hardware Tools // (2023) Vidnovluvana Energetika, 2023 (1), pp. 19 - 26, Cited 0 times. DOI: 10.36296/1819-8058.2023.1(72).19-26
- 4. Лежнюк П.Д., Гунько І.О., Рубаненко О.О., Смагло І.І., Белік М. Визначення ймовірних місць пошкоджень фотомодулів ФЕС // Вісник Хмельницького національного університету (Технічні науки). – 2025. – № 2. – С. 230–239. <https://doi.org/10.3189/2307-5732-2025-349-33>.
- 6. Смагло І. І., Лежнюк П. Д., Рубаненко О.Є. Спосіб оптимального керування режимами розподільних електричних мереж з розосередженим генеруванням . Патент № 158035 UA, МПК H02J 3/24. № u 2024 00240, заявл. 15.01.2024, опубл. 25.12.2024, Бюл. № 52. 7 с.
- 7. Смагло І. І., Лежнюк П. Д., Рубаненко О.Є. Спосіб оптимального керування режимами розподільних електричних мереж з розосередженим генеруванням. Пат. 153886 UA, МПК G01R 31/00. № а 2023 00345; заявл. 01.02.2023; опубл. 13.09.2023, Бюл. № 37. – 8 с.

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

Соціально-економічна спрямованість: поліпшення стану навколишнього середовища; економія енергоресурсів; зменшення зносу обладнання

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0121U113451,0123U100005,0123U103354,0124U003650

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Лежнюк Петро Дем'янович
2. Petro D. Lezhniuk

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.05.02, 05.14.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-0338-2131

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Вінницький національний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02070693

Місцезнаходження: вул. Хмельницьке шосе, буд. 95, Вінниця, Вінницький р-н., 21021, 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. Будько Василь Іванович
2. Vasyl I. Budko

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.14.08

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6219-4221

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:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Мірошник Олександр Олександрович
2. Oleksandr O. Miroshnyk

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6144-7573

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Державний біотехнологічний університет

Код за ЄДРПОУ: 44234755

Місцезнаходження: вул. Алчевських, буд. 44, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бурбело Михайло Йосипович
2. Mykhailo Burbelo

Кваліфікація: д.т.н., професор, 05.11.16

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4510-2911

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Вінницький національний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02070693

Місцезнаходження: вул. Хмельницьке шосе, буд. 95, Вінниця, Вінницький р-н., 21021, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сікорська Олена Вікторівна

2. Olena Sikorska

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-7341-9724

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Вінницький національний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02070693

Місцезнаходження: вул. Хмельницьке шосе, буд. 95, Вінниця, Вінницький р-н., 21021, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

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

Кулик Володимир Володимирович

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

Кулик Володимир Володимирович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Іванчук Ярослав Володимирович

Реєстратор

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна