

ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу Доморощина Сергія Вікторовича
«Удосконалення методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв
високої напруги»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми та її зв'язок з державними науковими програмами.

Відомо, що в наш час в експлуатації знаходиться багато високовольтного обладнання (ВО), яке відпрацювало паспортний ресурс. За певних умов, це призводить до зростання пошкоджуваності та і, як результат, до погіршення показників надійності. Прийняття обгрунтованого рішення про доцільність подальшої експлуатації вже працюючого високовольтного обладнання (ВО) можливе за результатами якісного діагностування. Саме правдива інформація про поточний технічний стан ВО створює підґрунтя для доведення необхідності заміни, можливості ремонту та доцільності подальшої експлуатації діагностованого ВО.

Аналіз пошкоджень ВО свідчить про те, що пошкоджується не лише старе, експлуатоване понад 25 років, а і нове ВО, паспортний ресурс якого ще не вичерпаний. Це свідчить про необхідність вдосконалення існуючих методів та засобів визначення технічного стану (ТС) ВО. До сучасних засобів діагностування, поряд з традиційними засобами періодичного контролю, належать on-line моніторингові прилади та системи.

Враховуючи зростаючу вартість електроенергії, жорсткішими стають вимоги до надійності ВО та до якості діагностування. Деякі види діагностування ґрунтуються на результатах періодичного контролю діагностичних параметрів (опору ізоляції, напруги короткого замикання та потужності холостого ходу трансформаторів та інших) відключеного ВО. Такі відключення зменшують експлуатаційну надійність електроенергетичних систем (ЕЕС), збільшують втрати електричної енергії під час її передавання, викликані роботою по ремонтних та післяаварійних схемах.

Водночас, використання моніторингових систем, збільшує ризики виникнення похибок першого та другого роду у визначенні поточного технічного стану ВО та у визначенні його залишкового ресурсу. Такі похибки зумовлені відсутністю даних про поточні значення деяких з діагностичних параметрів. Це змушує використовувати ретроспективні дані – результати періодичного контролю у минулому.

З метою якісного керування режимами ЕЕС серед іншої інформації потрібно знати і поточний стан ВО, що знаходиться в експлуатації, його залишковий ресурс.

Отже, тема, мета, задачі та сама дисертаційна робота Доморощина Сергія Вікторовича в якій запропоновані нові наукові та практичні рішення задач розроблення нових моделей і методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги, є **актуальними та важливими.**

Дисертаційна робота Доморощина С.В., спрямована на удосконалення методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги відповідає науковим напрямам роботи кафедри «Електричні та електронні апарати» Національного університету «Запорізька політехніка» та безпосередньо пов'язана з дослідженнями в межах науково-дослідної роботи «Дослідження системи прогнозування енергоефективності та діагностики високовольтного обладнання» (номер держреєстрації 03418), у якій здобувач був виконавцем, а також співпадає з напрямом науково-виробничої діяльності підприємства ТОВ «Енергоавтоматизація» (м. Запоріжжя) у роботі якого автор приймав участь і відповідає діючій

державній науково-технічній програмі «Ресурс», затвердженій Постановою КМУ від 08.10.2004 №1334.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях. Основні положення та результати дисертаційної роботи Доморошина С.В. опубліковано в 9 роботах, з них 5 статей у наукових фахових виданнях, що входять до переліку рекомендованих ДАК, 3 статі – у збірниках матеріалів конференцій. Одна зі статей проіндексована в науко-метричній базі Scopus.

Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок, що в них в достатньому об'ємі опубліковані матеріали дисертації. В цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Список використаних джерел із 165 найменувань досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації.

Апробація результатів дисертації здійснена шляхом їх опублікування у матеріалах Міжнародних науково-практичних конференцій:

– «Innovative engineering, technology and industry. International scientific conference» (Seattle, Washington, USA. Global science and education in the modern realities. August 26-27, 2020);

– «Search for scientific answers to the challenges of our time» (Svishtov, Bulgaria. Search for scientific answers to the challenges of our time'2020. December 28-29, 2020);

– «The current stage of development of scientific and technological progress» (Karlsruhe, Germany. The current stage of development of scientific and technological progress'2021. No 15 on February 9, 2021).

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. В дисертаційній роботі відсутні порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів та текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Оцінка змісту дисертаційної роботи⁴

Дисертаційна робота викладена на 233 сторінках машинописного тексту: основний текст 154 сторінок (43 рисунки по тексту; 45 таблиць по тексту) складається зі вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (165 найменувань) та 7 додатків (додатків на 39 сторінках).

У вступі обгрунтований вибір теми дисертаційних досліджень та зазначено, що в наш час особливого значення набуває розроблення нових моделей і методів прогнозування ризиків порушення роботи РП ВН за новою прогресивною, досконалою і ефективною технологією їх технічної експлуатації та обслуговування, що є актуальним завданням для електроенергетики а також розроблення методів і засобів комплексного онлайн моніторингу параметрів технічного стану високовольтного обладнання РПВН такого, як елегазові вимикачі, трансформатори струму, розрядники, ОПН, вимірювальні трансформатори струму, як найважливішої умови реалізації нової прогресивної, технічно досконалої і ефективною системи їх технічної експлуатації.

Також у вступі надана коротка характеристика дисертаційної роботи, а саме приведені: актуальність, мета, задачі, об'єкт, предмет, наукова новизна та практична значення дисертаційних досліджень і т.п.

В першому розділі розглянуті порушення в роботі розподільних пристроїв високої напруги (РПВН).

Також приділена увага аналізу пошкоджуваності електрообладнання об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕЕС) України на основі чого, для подальших досліджень, виділені такі види високовольтного обладнання, як: елегазові вимикачі, вимірювальні трансформатори струму, роз'єднувачі, розрядники, обмежувачі перенапруг. В цьому розділі зазначені основні причини відмов електрообладнання, яке входить до складу електроенергетичної системи.

Далі аналізуються методи визначення показників надійності та ризиків експлуатації високовольтного обладнання ОЕЕС. Керування ризиками розглядається як керування фінансовими активами. А для комплексного аналізу причинно-наслідкових зв'язків між технічним станом (ТС) електрообладнання та ефективним рішенням щодо розподілу фінансових активів електроенергетичних підприємств, застосовується стратегія ризик-орієнтованого управління.

Проаналізовані існуючі методи та моделі прогнозування залишкового ресурсу електрообладнання РПВН. Це такі, як: експоненціальні моделі прогнозу залишкового ресурсу електрообладнання; метод пропорційних інтенсивностей Кокса; модель розрахунку залишкового ресурсу за діагностичними даними поточного отримані лише шляхом on-line моніторинг; ймовірно-статистичний метод; евристичний (експертний) метод; метод з використанням результатів нечіткого моделювання.

Другий розділ присвячено аналізу систем моніторингу високовольтного обладнання розподільних пристроїв 110-750 кВ. Тому в цьому розділі, в якості прикладу, запропоновано в подальшому досліджувати не всі види високовольтного обладнання, а лише елегазові вимикачі, роз'єднувачі, вентильні розрядники, обмежувачі перенапруг, вимірювальні трансформатори. Далі в роботі розглянуті вимоги до контролю та випробувань обладнання розподільних пристроїв, приклади літературних джерел, в яких описані ці вимоги. Також в цьому розділі приведений аналіз досвіду експлуатації діагностичного обладнання в якому під час визначення технічного стану ізоляції високовольтних вимірювальних трансформаторів струму використовується нерівноважно-компенсаційний (балансовий) метод моніторингу основної ізоляції.

Далі приведені чинники технічного стану високовольтного обладнання розподільного пристрою високої напруги, а саме: ізоляція електрообладнання (струм витоку, ємність ізоляції, діелектричні втрати); тепловий стан апаратів та контактних з'єднань; тиск газомісного середовища (елегазу); кількість спрацювань.

В цьому розділі приведена Зведена інформація щодо вимог до проведення випробувань елегазових вимикачів, роз'єднувачів, вентильних розрядників, обмежувачів перенапруг, вимірювальних трансформаторів. В другому розділі проаналізовані системи моніторингу деяких з видів високовольтного обладнання розподільчих пристроїв, а саме високовольтних вимикачів, апаратів для захисту від перенапруг, роз'єднувачів та трансформаторів струму. Також розглянуті застосування причинно - наслідкової діаграма Ісікаві під час контролю та випробувань високовольтного обладнання та узагальнена нечітка модель для визначення ТС електрообладнання РПВН.

Далі в другому розділі зроблений висновок щодо виключення або скорочення деяких видів профілактичних випробувань, за умови впровадження системи безперервного контролю (СБК) в Smart Grids, який ґрунтується на вимогах нормативної та експлуатаційної документації; проаналізована ефективність існуючих на теперішній час систем моніторингу основного обладнання РПВН. На основі дослідження, зроблено висновок, щодо основних недоліків існуючих СБК, таких як: складність та висока собівартість технічної реалізації; складність параметризації математичних моделей (багато входних параметрів); не врахування в СБК важливих чинників впливу на ТС обладнання; Побудована узагальнена (уніфікована) нечітка математична модель визначення ТС основного обладнання РПВН. Внаслідок різної природи походження визначених чинників, використання цього методу передбачає об'єктивну оцінку ТС електрообладнання.

В третьому розділі розглянуті загальні відомості з теорії нечітких множин. В роботі нагадується відома інформація про те, що Л. Заде замість математичних прийомів запропонував лінгвістичну модель, яка використовує слова – лінгвістичні змінні, які відображують якість, стверджуючи – що нечіткість скоріш перевага, ніж недолік моделювання. Також звертається увага на те, що нечітка логіка вдало дозволяє надати мислення людини, тобто засоби прийняття рішень та засоби моделювання складних систем.

Також ще раз звертається увага на поєднання під час експертних оцінок процесу інтуїтивно-логічного аналізу проблеми з якісними та кількісними методами обробки».

Пошукач нагадує, що «під поняттям нечіткої моделі розуміється інформаційно-логічна модель системи, яка побудована на основі теорії нечітких множин та нечіткої логіки. Нечітка множина є базовим поняттям в теорії нечіткої логіки, яка описує лінгвістичну змінну, тобто вхідний діагностичний параметр. Нечіткою множиною називають сукупність пар або кортежем».

Пошукач нагадує, що «ключовим поняттям нечіткої логіки є лінгвістична змінна, яка відображає суб'єктивну оцінку людиною числової змінної «природньою мовою». Лінгвістичною змінною називається змінна, значення якої можуть бути слова або словосполучення деякої природньої мови. Оцінка вагових коефіцієнтів важливості критеріїв (експертних думок), здійснюється побудовою матриці парних порівнянь Сааті.

В четвертому розділі розроблені та описані структурні схеми високовольтного обладнання РПВН, вибраного для досліджень в попередніх розділах.

В п'ятому розділі удосконалені автором методи прогнозування залишкового ресурсу обладнання РПВН.

Також описаний метод прогнозування залишкового ресурсу за ретроспективною інформацією щодо функціонування досліджуваного електрообладнання та надано класифікацію прогнозів за періодом упередження: оперативні (до 1 міс.); короткотермінові (до 1 року); середньострокові (1-5 років); довгострокові (більш 5 років).

В цьому розділі запропонований пошукачем вдосконалений метод прогнозу залишкового ресурсу електрообладнання за визначеним ТС з врахуванням думки експертів. Як зазначається експертний метод прогнозу ґрунтується на припущенні про постійний моніторинг апаратно-програмним комплексом СБК відповідального електрообладнання РПВН за визначеними чинниками впливу. Тобто, експертний прогноз обмежений умовою постійного контролю ТС обладнання. Для визначення умовної ймовірності відмови одиниці обладнання треба мати інформацію про поточний стан обладнання, тобто, про спрацьований ресурс.

Умовну ймовірність відмови об'єкта запропоновано визначати нечітким причинно-наслідковим методом, який поєднує побудовану модель визначення ТС електрообладнання апаратом причинно-наслідкових відносин з ймовірністю відмови.

Також запропонований вдосконалений експертно-статистичний метод прогнозу залишкового ресурсу електрообладнання за визначеним ТС.

Обґрунтовано застосування експертно-статистичного методу прогнозування залишкового ресурсу електрообладнання РПВН. Звертається увага на те, що перевагами даного методу є врахування поточного ТС досліджуваної одиниці обладнання для корегування ймовірнісних показників, отриманих з ретроспективної інформації щодо функціонування даного типу обладнання.

Сформовано загальний підхід щодо застосування евристичного методу визначення причинно-наслідкових зв'язків між ТС та спрацьованим ресурсом досліджуваної одиниці обладнання евристичний метод базується на математичному апараті нечіткої логіки (нечітких відносинах).

Удосконалено метод щодо модифікації статистичної функції ймовірності відмов визначеної одиниці обладнання РПВН за поточними діагностичними даними, які мають зв'язок з ТС, та які отримано від СБК.

Шостий розділ присвячений прогнозуванню залишкового ресурсу високовольтного обладнання розподільних пристроїв експертно-статистичним методом. Також в цьому розділі розглянуто прогнозування ймовірності відмови апарату захисту від перенапруг на визначеному інтервалі часу. Далі розраховано експертно-статистичним методом ймовірність відмови, на інтервалі 1 рік, розрядника РВМК – 750М одного з енергетичних об'єктів ЕЕС України, за визначеним ТС апарату. ТС розрядника розраховано з використанням розробленої

нечіткої моделі з врахуванням діагностичних параметрів, зазначених в нормативній та заводській документаціях. Високий спрацьований ресурс (90,1%) підтвердився результатами обстеження, при виведенні обладнання (розрядника РВМК – 750М) для ТО на протязі прогнозованого періоду.

Звертається увага на те, що в роботі розраховано експертно-статистичним методом ймовірність відмови, на інтервалі 1 рік, комірки елегазового вимикача одного з енергетичних об'єктів ЕЕС. Розрахунок проводився за результатами обстеження ТС апаратів, які входять до складу дослідженої комірки елегазового вимикача. ТС вимикача визначався за побудованими нечіткими моделями по діагностичним параметрам, визначеним нормативною та заводською документацією. Похибка розрахунку склала 6,6% – відмова комірки відбулась в прогнозований період.

В сьомому розділі розроблений новий ймовірно-топологічний метод визначення ризиків порушення обладнання роботи РПВН, який поєднує матричний метод побудови топології мережі з ймовірнісним методом прогнозування залишкового ресурсу електрообладнання.

В цьому розділі для оцінювання ризику порушення роботи РПВН досліджується ймовірність відмови окремого типу обладнання і вплив топології розподільних електричних мереж. Ймовірність відмови на інтервалі часу визначається експертно-статистичним методом за результатами оцінювання ТС обладнання. ТС обладнання РПВН визначається з використанням розроблених нечітких моделей їх моделей. Це дає можливість оцінювати ризики порушення роботи РПВН в реальному часі на прогнозованому інтервалі в 1 рік.

Звертається увага на те, що застосування удосконаленого методу визначення ризиків порушення роботи РПВН дозволить оптимізувати розподілення фінансових активів електроенергетичних підприємств. Ймовірно-топологічний метод ґрунтується на ТС окремої одиниці обладнання, за яким визначається спрацьований ресурс, на відміну від існуючих, які базуються на узагальнених ймовірнісних показниках електрообладнання.

В додатках приведені: побудова функцій належності термів вхідних лінгвістичних змінних нечіткої моделі для оцінки ТС елегазового вимикача; побудова ФП термів вхідних лінгвістичних змінних нечіткої моделі для оцінки ТС трансформатора струму, роз'єднувача, високовольтного вимикача; акти впровадження.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій. Достовірність наукових положень підтверджується коректним застосуванням методів математичного, комп'ютерного моделювання, експериментально-модельних досліджень під час прогнозування ймовірності відмови відповідального обладнання РПВН на об'єктах ЕЕС. Методи та засоби досліджень, обґрунтування, реалізація запропонованих в роботі рекомендацій дозволили використати їх в СБК ТОВ «Енергоавтоматизація».

Достовірність висновків та рекомендацій забезпечується коректністю постановки завдання, адекватним застосуванням методів математичного моделювання, що базуються на теорії нечітких множин, теорії прогнозування та прийняття рішень, а також підтверджується збігом результатів імітаційного моделювання, виконаного у даній роботі, з результатами діагностування під час експериментальних досліджень досліджуваного високовольтного обладнання.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному:

– розроблений ймовірно-топологічний метод прогнозування ризиків порушення роботи РПВН, який на відміну від відомих враховує топологічний вплив ймовірнісних показників надійності кожного елемента схеми на ризики порушення роботи РПВН, що дозволило удосконалити визначення загального ризику порушення роботи електроустановки, який визначається як добуток матриці ймовірнісних складових ризиків наслідків аварії, невідпуску електроенергії та витрат на відновлення функційного стану обладнання і матриці фінансових збитків та дозволяє розраховувати фінансові ризики для цього обладнання в цілому;

– запропоновано застосовувати експертно-статистичний методу визначення ймовірності відмови елемента схеми РПВН на інтервалі часу, що дає можливість модифікувати статистичну функцію розподілу ймовірностей відмови, за даними поточного контролю СБК та за результатами моделювання з використанням нечітких моделей, що дозволяє корегувати прогноз порушення в роботі ЕЕС у реальному часі;

– розроблена узагальнена нечітка математична модель залишкового ресурсу елегазових вимикачів, трансформаторів струму, роз'єднувачів, апаратів захисту від перенапруг, для уніфікації вхідних діагностичних параметрів обладнання РПВН, яка відрізняється від відомих моделей можливістю інтегрувати різні за своєю природою походження діагностичні параметри, на базі якої розроблені нечіткі математичні моделі для визначення ТС: елегазового вимикача, роз'єднувача, трансформатора струму, ОПН;

– набула подальшого розвитку теорія прогнозування та прийняття рішень шляхом застосування експертно-статистичного методу прогнозування ресурсу електрообладнання, ймовірнісно-топологічного методу визначення ризиків порушення роботи РПВН та застосування нових нечітких моделей визначення ТС електрообладнання, що дозволяє більш якісно визначати прогнозні значення залишкового ресурсу роботи обладнання ОЕС.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Значення одержаних результатів для науки.

Запропоновані в роботі ймовірнісно-топологічний метод прогнозування ризиків порушення роботи РПВН, а також обґрунтування необхідності застосування експертно-статистичного методу визначення ймовірності відмови елемента схеми РПВН на інтервалі часу, дають можливість модифікувати статистичну функцію розподілу ймовірностей відмови, за поточними даними СБК, з застосуванням нечітких моделей.

Результати теоретичних досліджень, досвід використання розроблених за участю автора методів та моделей свідчить про те, що їх варто використати під час визначення технічного стану високовольтного обладнання розподільних пристроїв, а також під час розробки та експлуатації систем безперервного контролю діагностичних параметрів та технічного стану високовольтного обладнання.

Практичне значення отриманих результатів.

За розробленими нечіткими моделями визначення ТС електрообладнання експертно-статистичним методом розраховано ймовірність відмови елементів РПВН на інтервалі часу, що дозволило підвищити точність прогнозування ризиків порушення роботи РПВН, за даними поточного ТС елементів електроустановки, в умовах неповноти ретроспективної інформації про діагностичні параметри. За результатами застосування розроблених нечітких моделей точність прогнозування ризиків досягає 90-95%, що перевищує цю точність, визначену іншими відомими методами на 15-20%.

– підвищення обґрунтованості рішень щодо розподілення матеріально-фінансових активів підприємств ОЕС з урахуванням прогнозованого ресурсу елементів РПВН електроенергетичних об'єктів;

– можливість впровадження розроблених моделей оцінки поточного ТС в СБК (Smart Grids), для підвищення ефективності заходів, спрямованих на забезпечення сталого режиму роботи ОЕС.

Зауваження, що стосуються матеріалів дисертаційної роботи.

Зауваження 1. Потребує додаткового пояснення те, як постійний моніторинг покращує статичну та динамічну стійкість ЕЕС. Адже причиною порушення статичної та динамічної стійкості є не лише погіршення ТС обладнання а і помилки персоналу, недосконалість конструкції, природні фактори і т. п.

Зауваження 2. Чому в роботі аналізується лише високовольтне обладнання ОЕЕС, а не аналізується високовольтне обладнання РП промислових підприємств, залізничних підстанцій, енергопостачальних компаній?

Зауваження 3. Чому в дисертації не аналізуються оливні, вакуумні та повітряні вимикачі?

Зауваження 4. В роботі мова йде про контроль діагностичних параметрів високовольтного обладнання, а саме про ізоляцію, (струм витоку, ємність ізоляції, діелектричні втрати), про температуру електричних апаратів та їх контактних з'єднань, про тиск елегазу та про кількість спрацьовань елегазових вимикачів, але чому нічого не сказано про швидкісні та часові їх характеристики цих вимикачів?

Зауваження 5. Третій розділ перенасичений загально відомою інформацією (в роботах Володимира Валерійовича Літвінова, Миколи Володимировича Костерева, Євгена Івановича Бардика, Олега Миколайовича Агамалова, Сергія Дмитровича Штовби, Петра Дем'яновича Лежнюка, Ротштейна Олександра Петровича, Мітюшкіна Юрія Ігоровича, та інш.), яку можна привести в додатку.

Зауваження 6. Чому вибрані трапецієподібні функції належності термів? Та як вибирався вид функцій приналежності вхідних термів різних лінгвістичних змінних (4.32-4.44) та нечітких термів лінгвістичних змінних, показаних на рис. 4.2-4.5?

Зауваження 7. У третьому висновку (стор. 157) до шостого розділу зазначено: «Порівняльний аналіз методів розрахунку спрацьованого ресурсу показав більш високу точність застосування нечітких моделей (на 15-20%), за рахунок оцінки технічного стану електрообладнання РПВН по декільком параметрам (незалежно від своєї природи походження), які впливають на залишковий ресурс», але не написано яких саме методів та за рахунок оцінювання технічного стану якого електрообладнання РПВН.

Зауваження 8. В тексті дисертаційної роботи мають місце некоректні вирази «працездатний стан» (стор. 123, 124, 159 і т.д.) – потрібно «роботоспроможний стан» (Російсько-український словник технічної термінології, авт. І. Шелудько, Т. Садовський), «не допущення аварійних випадків ..., становлять задачі діагностики» (стор. 17) – не допущення аварійних випадків не є задачею діагностування, та мають місце описки, наприклад: «мають вику точність», «які впливають» та стор. 157 і т.п.

Наведені вище зауваження частково мають дискусійний характер і не впливають на загальний позитивний висновок щодо дисертаційної роботи.


Висновок

Дисертація Доморошина Сергія Вікторовича на тему: «Удосконалення методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги» є завершеною науковою роботою в якій отримані нові, науково обґрунтовані результати, що у сукупності розв'язують актуальну науково-прикладну задачу розроблення нових моделей і методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільних пристроїв високої напруги розвитку систем моніторингу основного електротехнічного обладнання високовольтних підстанцій напругою 110-750 кВ, розробки моделей залишкового ресурсу високовольтного обладнання та методів визначення ризиків його експлуатації з метою покращення надійності експлуатації та ефективності експлуатації РПВН. Отримані результати мають важливе значення для надійної та безпечної експлуатації обладнання енергосистеми України.


Дисертаційна робота Доморошина Сергія Вікторовича на тему: «Удосконалення методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги» за своїм змістом відповідає вимогам п. 10, 11, 12 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанови Кабінету Міністрів України №167 від 06 березня 2019 року), а сам автор Доморошин Сергій Вікторович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Офіційний опонент, професор, кандидат технічних наук,
професор кафедри електричних станцій та систем
Вінницького національного технічного університету



 Олександр РУБАНЕНКО

25.08.20р.

Підпис 
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією 