

До спеціалізованої ради ДФ 17.052.002  
в Національному університеті «Запорізька політехніка»  
вулиця Жуковського, 64, Запоріжжя, Запорізька область, 69063

## ВІДГУК

Офіційного опонента Сиченко Віктора Григоровича, доктора технічних наук, професора кафедри електропостачання залізниць, заступника начальника структурного підрозділу Проектно-конструкторське, технологічне бюро автоматики, телекомунікацій та енергетики Науково-дослідного конструкторсько-технологічного інституту залізничного транспорту АТ Укрзалізниця на дисертаційну роботу  
Доморощина Сергія Вікторовича на тему:

«Удосконалення методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», галузь знань 14 – «Електрична інженерія»

### **1. Актуальність теми дисертації**

На розгляд офіційному опоненту були надані наступні матеріали:  
– дисертація загальним об'ємом 233 сторінки машинописного тексту, що включає 154 сторінки основного тексту включаючи 45 таблиць, 43 ілюстрації, список використаних джерел зі 165 найменувань, а також 7 додатків на 39 сторінках.

Більша частина активів електроенергетичних підприємств, як генеруючих так і тих, що експлуатують магістральні і міждержавні мережі 220-750 кВ, має дуже велику ступінь зносу. Значна кількість ліній електропередач та основного електротехнічного устаткування підстанцій та станцій відпрацювало номінальний технічний ресурс.

Стійкість роботи об'єднаної електроенергетичної системи в великій мірі залежить від надійної роботи електрообладнання розподільчих пристроїв високої напруги, на що має вплив спрацьований ресурс обладнання. В обставинах підвищеного ризику відмови електрообладнання електроенергетичних систем, контроль поточного технічного стану та не допущення аварійних випадків, що супроводжуються знеструмленням електроспоживачів різних категорій, становлять задачі діагностики. Висока аварійність електрообладнання розподільчих пристроїв високої напруги, обумовлює важливість моніторингу спрацьованого ресурсу відповідального обладнання.

В процесі експлуатації, електрообладнання розподільчих пристроїв зазнає впливу різних, за своєю природою походження чинників, що впливають на ресурс та на надійність його роботи. Тому, актуальним є розроблення математичних моделей для систем, які характеризуються виключною складністю, невизначеністю, не лінійністю та слабкою визначеністю зв'язків між вхідними змінними. Найкраще для вирішення цієї задачі підходять методи нечіткої логіки в поєднанні з експертним методом, який базується на експертних знаннях, що є особливо актуально в умовах неповноти або відсутності інформації щодо функціонування певного типу електрообладнання розподільчих пристроїв.

Тому робота, яка спрямована на розроблення методу прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги та удосконалення методів контролю поточного технічного стану в умовах невизначеності та слабкою вивченістю зв'язків між вхідними змінними, є актуальною.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі «Електричні та електронні апарати» НУ «Запорізька політехніка» в рамках науково-дослідної роботи «Дослідження системи прогнозування енергоефективності та діагностики високовольтного обладнання» (№03418), яка співпадає з постійно діючою

державною науково-технічною програмою «Ресурс», затвердженою Постановою КМУ від 08.10.2004 №1334.

## **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій**

Дисертація складається зі вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та додатків.

Дисертаційну роботу написано грамотно, застосована в роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує достатній рівень доступності їх сприйняття та використання. Наукові положення, розроблені та викладені дисертантом в науковій роботі, забезпечені опрацюванням значної кількості сучасних літературних джерел та досліджень зарубіжних і вітчизняних вчених. Математична обробка отриманих в ході досліджень даних, здійснювалась з використанням сучасного програмного забезпечення. Експериментально-модельні дослідження виконувались за даними систем моніторингу технічного стану електрообладнання у промислових умовах.

Висновки і рекомендації автора є логічними, обґрунтованими результатами досліджень технічного стану електрообладнання електроенергетичних об'єктів України.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів дослідження підтверджено впровадженням, в рамках дослідної експлуатації, при виробництві системи моніторингу обладнання розподільчих пристроїв для ПС – 500 кВ «Нура» (Республіка Казахстан), що підтверджено актом впровадження.

У першому розділі проведено аналіз відмов високовольтного електрообладнання ОЕС України, проаналізовані методи визначення ризиків порушення роботи електроенергетичних об'єктів, досліджені методи контролю технічного стану та прогнозування спрацьованого ресурсу

електрообладнання. Відповідно до проведеного аналізу сформульовані основні задачі наукового дослідження.

У другому розділі визначена номенклатура відповідального обладнання розподільчих пристроїв високої напруги. Проаналізовані вимоги нормативної документації щодо діагностичних параметрів, за якими визначається технічний стан відповідального обладнання. Досліджені системи моніторингу технічного стану відповідального обладнання розподільчих пристроїв вітчизняних та зарубіжних фірм виробників. За побудованою діаграмою Ісікави, визначені основні чинники впливу на надійність роботи розподільчого пристрою. За визначеними чинниками впливу, розроблена узагальнена нечітка математична модель, для уніфікації вхідних параметрів, які впливають на ресурс відповідального обладнання, з метою її інтегрування в систему моніторингу.

У третьому розділі розкритий принцип нечіткого моделювання, показано спроможність теорії нечітких множин в поєднанні з експертним методом вирішувати складні задачі параметризації вхідних чинників впливу на технічний стан електрообладнання. Сформована теоретична база щодо вирішення задач за допомогою нечіткої логіки.

У четвертому розділі розроблені нечіткі математичні моделі для оцінки технічного стану електрообладнання розподільчих пристроїв: апарату для захисту від перенапруг, елегазового вимикача, трансформатора струму, роз'єднувача. В моделях використані діагностичні параметри, які обумовлені нормативною документацією, доступні для вимірювання та спостереження системою моніторингу технічного стану. При налаштуванні функцій приналежності лінгвістичних змінних нечіткої моделі застосовано експертний метод.

У п'ятому розділі запропоновано експертно-статистичний метод прогнозування залишкового ресурсу електрообладнання розподільчих пристроїв. Метод ґрунтується на експертному досвіді щодо встановлення зв'язків між технічним станом та ймовірністю відмови, та ретроспективних

даних щодо генеральної сукупності подій, які мали вплив на даний тип електрообладнання. Сформовано загальний підхід щодо застосування експертного методу визначення причинно-наслідкових зв'язків між технічним станом та ймовірнісними показниками надійної роботи досліджуваної одиниці обладнання. Запропоновано модифікацію статистичної функції ймовірності відмов визначеної одиниці обладнання розподільчого пристрою за поточними діагностичними даними щодо технічного стану.

У шостому розділі розраховано експертно-статистичним методом ймовірність відмови, на інтервалі 1 рік, електрообладнання розподільчого пристрою: апарату для захисту від перенапруг, елегазового вимикача, трансформатора струму, роз'єднувача. Запропонований метод визначення ймовірності відмови комірки в цілому, як відповідального елемента розподільчого пристрою. В запропонованому методі враховано вплив технічного стану кожної одиниці обладнання, на надійність роботи комірки в цілому.

У сьомому розділі розроблений ймовірнісно-топологічний метод прогнозування порушення роботи розподільчого пристрою, який враховує вплив технічного стану та топологічне положення кожного елемента схеми на роботу електроустановки в цілому. За розробленим методом виконаний прогноз ризику порушення роботи розподільчого пристрою високої напруги підприємства ОЕС України.

У висновках викладені найбільш важливі наукові та практичні результати, одержані в дисертаційному дослідженні.

### **3. Наукова новизна результатів досліджень**

Наукова новизна роботи полягає у синтезі нових підходів пов'язаних з удосконаленням методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги за даними щодо поточного

технічного стану кожної одиниці відповідального обладнання, які включають:

– Розроблена узагальнена нечітка математична модель, яка інтегрує різні за своєю природою походження параметри, що впливають на технічний стан електрообладнання. Уніфікація вхідних параметрів дає можливість універсального застосування узагальненої нечіткої моделі для всієї номенклатури відповідального обладнання розподільчих пристроїв високої напруги.

– На базі узагальненої нечіткої математичної моделі, розроблені нечіткі математичні моделі для визначення технічного стану відповідального обладнання розподільчих пристроїв, такого як: елегазовий вимикач, роз'єднувач, трансформатор струму, апарат для захисту від перенапруг.

– Застосований експертно-статистичний метод визначення ймовірності відмови елемента схеми розподільчого пристрою на інтервалі часу. Метод враховує вплив поточних показників технічного стану на ймовірність відмови, а також враховує ймовірність відмови від дії зовнішніх збурень (людський, природний фактор, режим мережі тощо), згідно функції розподілення ймовірності відмов даного типу обладнання, за ретроспективними даними.

– Запропонований новий спосіб прогнозування порушення роботи розподільчого пристрою, який пропонує визначати ймовірність відмови комірки в цілому, що дозволяє врахувати вплив технічного стану кожної одиниці обладнання комірки, на надійність роботи в цілому.

– Розроблений ймовірнісно-топологічний метод прогнозування ризиків порушення роботи РПВН, який враховує вплив технічного стану та топологічне положення кожного елемента в схемі, на порушення роботи розподільчого пристрою.

– Запропонований спосіб визначення загального ризику порушення роботи розподільчого пристрою, як добуток матриці окремих ймовірнісних складових ризиків всієї номенклатури однотипного обладнання і матриці

фінансових збитків від кожної складової ризику, що дозволяє розраховувати фінансові збитки для однотипного обладнання в цілому.

#### **4. Практична цінність результатів дослідження**

Отримані в процесі дослідження висновки та результати є особистим внеском автора щодо удосконалення методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги ОЕС України.

Наукові положення, висновки та рекомендації автора використані підприємством ТОВ «Енергоавтоматизація» при виробництві системи моніторингу обладнання розподільчих пристроїв для ПС – 500 кВ «Нура» (Республіка Казахстан).

#### **5. Повнота відображення в опублікованих роботах наукових положень, висновків та результатів**

Основний зміст дисертаційної роботи викладено в 9 наукових працях, з них: 6 статей у наукових фахових виданнях України (серед них 1 – у науково-метричній базі Scopus).

Апробацію результатів дисертації проведено на 3 міжнародних науково-практичних конференціях.

Вказані публікації, в цілому, відображають основний зміст дисертації, об'єм та характер проведених теоретичних та експериментальних досліджень.

#### **6. Оцінка академічної доброчесності**

Дисертаційна робота була написана автором самостійно, експериментальна частина роботи була проведена з залучення програмно-апаратного комплексу ТОВ «Енергоавтоматизація». На всі літературні джерела, якими користувався автор під час написання роботи, є відповідні посилання.

## 7. Загальні зауваження по роботі

- 1) При оцінці технічного стану елегазового вимикача п.4.2.1, механічний ресурс визначається однією лінгвістичною змінною «Спрацьований механічний ресурс», яка відповідає контрольованому експлуатаційному параметру – кількість виконаних механічних циклів вкл./відкл. Але механічний ресурс залежить від більшої кількості параметрів стану, таких як: час замикання головних контактів, середній час руху контактів, різночасовість замикання контактів, динамічні навантаження тощо. Доцільно механічний ресурс описати більшою кількістю відповідних лінгвістичних змінних.
- 2) Більша кількість високовольтних вимикачів, які експлуатуються в ОЕС України, є повітряні вимикачі, але в дисертації розроблено нечітку модель визначення технічного стану елегазового вимикача, що ускладнює застосування розробки в ОЕС України.
- 3) В роботі є посилання на нормативний документ СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 «Норми випробування електрообладнання» який вже не діючий, на заміну якого вийшов СОУ-Н ЕЕ 20.302:2020.
- 4) Згідно СОУ-Н ЕЕ 20.577:2007 «Техническое диагностирование электрооборудования и контактных соединений электроустановок и воздушных линий электропередачи средствами инфракрасной техники» прийняті наступні класи дефектів: дефект в початковій стадії розвитку, дефект який розвивається, аварійний дефект. Доцільно описати вхідну лінгвістичну змінну «Надлишкова температурна різниця» термами відповідними до класів дефектів.
- 5) В п.6.1 надається приклад відбраковування розрядника типу РВМК – 750М за даними обстеження засобами інфрачервоної техніки, але про те як проводилося дефектування, згідно виявленої температурної аномалії, нічого не сказано.
- 6) В моделі оцінки технічного стану апарату захисту від перенапруг, одним із вхідних параметрів є кількість спрацьовань апарату, що не є принциповим



для обмежувача перенапруг. Доцільніше контролювати величину та кількість імпульсних струмів, комутованих апаратом, в якості одного з вхідних параметрів.

7) До складу електрообладнання розподільчих пристроїв високої напруги входять такі апарати, як вимірювальні трансформатори напруги, опорна та підвісна ізоляція. До номенклатури відповідального обладнання, яке розглядається в дисертаційній роботі, дане обладнання розподільчих пристроїв не входить. З тексту дисертації не зрозуміло, як відбувається контроль технічного стану даного типу обладнання, та чи пристосовані розроблені нечіткі моделі визначати технічний стан даного типу обладнання?

8) При розрахунку спрацьованого ресурсу елегазового вимикача, роз'єднувача, трансформатора струму, в якості вхідного параметра, використовуються дані обстеження засобами інфрачервоної техніки. Температурні показники даного типу обладнання значно залежать від струму навантаження в мережі. В роботі нічого не сказано про перерахунок до номінального навантаження, за яким визначаються прогнозовані температурні параметри.

## **8. Висновок**

В цілому дисертаційна робота Доморощина Сергія Вікторовича «Удосконалення методів прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги» є самостійна завершена наукова праця, яка має теоретичне і прикладне значення. Дисертаційна робота містить одержані автором науково обґрунтовані результати, які дозволяють вирішити важливу наукову задачу прогнозування ризиків порушення роботи розподільчих пристроїв високої напруги за даними про поточний технічний стан електрообладнання та топології мережі.

Відмічені зауваження і побажання не применшують загальної високої оцінки рівню виконання дисертаційної роботи, її теоретичної цінності та практичної значущості.

Дисертація рекомендована до захисту у відповідності до постанови Кабінету Міністрів У країни від 6 березня 2019 р. №167 (Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії).

Виконана робота повною мірою відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 №40 щодо дисертаційних робіт, а її автор, Доморощин Сергій Вікторович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Офіційний опонент  
заступник начальника структурного  
підрозділу Проектно-конструкторське,  
технологічне бюро автоматики,  
телекомунікацій та енергетики  
Науково-дослідного  
конструкторсько-технологічного  
інституту залізничного транспорту  
АТ Укрзалізниця,  
професор кафедри  
електропостачання залізниць,  
доктор технічних наук, професор

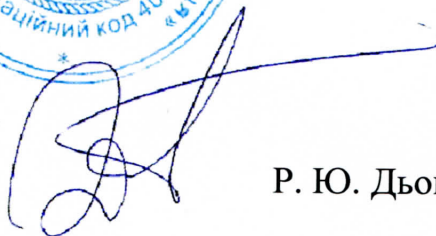
  
26.08.21р.

В.Г. Сиченко



Підпис В.Г. Сиченка засвідчую.

Перший заступник директора



Р. Ю. Дьомін