

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

Антонця Юрія Панасовича

на дисертаційну роботу Мірчука Ігоря Анатолійовича

на тему **«Підвищення експлуатаційних характеристик суднових кабелів за рахунок технологічних режимів охолодження та радіаційного опромінення електричної ізоляції»**, представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

### **Актуальність теми.**

Останнім часом на кабельних підприємствах широко впроваджуються нові типи матеріалів для ізоляції і оболонки кабелів, особливо кабелів з підвищеною пожежною безпекою. Такі матеріали відрізняються від тих, що вже досить тривалий час використовуються в кабельній промисловості, як за технічними характеристиками, так і за умовами переробки. Проте особливості таких матеріалів, їх переваги і недоліки не досить широко представлені в наукових публікаціях, що заважає на етапі розробки нової сучасної кабельної продукції оцінити можливість їх ефективної переробки на наявному на підприємстві обладнанні, ефективність впровадження таких матеріалів, а також спрогнозувати характеристики отриманої кабельної продукції, як безпосередньо після виготовлення, так і в процесі експлуатації.

Проблема вибору оптимального режиму виготовлення ізоляції або захисної оболонки кабелів завжди є актуальною на кабельних підприємствах.

Заміна матеріалу, або технологічного обладнання, на якому відбувається його переробка і формування електроізоляційного конструктивного елемента, завжди супроводжується необхідністю внесення коректив в технологічний процес виготовлення кабелю.

Одним з найважливіших параметрів технологічного процесу виготовлення кабелів є режим охолодження ізоляції, адже він прямо впливає на експлуатаційні характеристики кабелю, а також на стабільність цих характеристик в експлуатації.

Важливим також є і оперативний контроль якості виготовленої ізоляції. Виявлення причин виникнення дефектів ізоляції, їх розміру і місця розташування, величини випробувальної напруги за якої починають активізуватися наявні дефекти, має неабияке значення для розуміння процесів, що відбуваються при накладанні і охолодженні ізоляції, а також визначення шляхів налаштування і оптимізації технологічних режимів.

Зважаючи на вищесказане, дисертаційна робота Мірчука Ігоря Анатолійовича на тему «Підвищення експлуатаційних характеристик суднових кабелів за рахунок технологічних режимів охолодження та радіаційного опромінення електричної ізоляції», яка присвячена вдосконаленню існуючих підходів до підвищення експлуатаційних характеристик суднових кабелів, є актуальною і спрямованою на вирішення важливої проблеми – підвищення експлуатаційних характеристик не тільки суднових кабелів, що є дуже важливим для вітчизняної суднобудівної галузі, а і кабельно-провідникової продукції загальнопромислового призначення.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі визначається в системному підході при проведенні теоретичних досліджень, що базується на фундаментальних положеннях теорії теплового та електричного поля, теорії фізики діелектриків, теорії радіаційної хімії, теорії надійності кабелів, а також ґрунтовному аналізу отриманих результатів.

Методи дослідження розглянутих в дисертаційній роботі задач виконано із застосуванням кореляційного і регресійного аналізу електричних, теплових і фізико-механічних характеристик ізоляції; техніки реєстрації часткових розрядів в силових кабелях коаксіальної конструкції; методу дискретних резистивних схем заміщення ємності; методу вузлових потенціалів при моделюванні розподілу температурного поля по товщині екструдованої ізоляції з урахуванням температури підігріву струмопровідної жили і температури охолоджуючої води. Наукові положення, висновки і рекомендації сформульовані у роботі на підставі тісного зв'язку результатів

обчислювальних експериментів та фізичного моделювання процесу охолодження та радіаційного опромінення зразків ізольованих жил і захисної оболонки судових кабелів, виконаних з використанням сучасних електроізоляційних безгалогенних кабельних композицій на основі поліолефінів.

### **Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановки математичної задачі; адекватністю отриманих результатів обчислювального експерименту для визначення довжини ванни охолодження та їх узгодженням з даними, наведеними в літературних джерелах; співставністю визначеного діапазону розміру технологічних дефектів, що активізуються при подачі випробувальної напруги в залежності від місця розташування повітряного включення з реальними результатами, отриманими при випробуванні силових кабелів коаксіальної конструкції.

Наукові результати здобувача використані при розробці і виготовленні кабелів силових, контролю та управління з підвищеними експлуатаційними характеристиками і строком служби для використання на судах, морських бурових платформах і об'єктах, атомних електростанціях.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

В дисертаційній роботі отримано такі нові наукові результати.

1. Удосконалено математичну модель технологічного процесу охолодження ізольованої струмопровідної жили. Під час розрахунку розподілу температури по товщині ізоляції в залежності від температури теплоносія, що охолоджує, враховується температурна залежність теплофізичних характеристик полімерної ізоляції;

2. Вперше запропоновано критерій для визначення технологічних параметрів режиму охолодження силових кабелів, який з урахуванням температури підігріву жили і теплоносія, визначає час перехідного процесу охолодження ізольованої жили для досягнення однакової температури по всій товщині полімерної ізоляції;

3. Вперше експериментально встановлено діапазон оптимальної лінійної швидкості проходження ізольованої жили під пучком електронів при

сталому струмі пучка електронів, що забезпечує підвищення електричного опору ізоляції більш ніж в два рази, а пробивної напруги - в 1,3 рази відносно неопроміненого стану ізоляції;

4. Вперше встановлено оптимальну дозу опромінення захисної оболонки кабелів, яка виконана з наповненої антипіренами безгалогенної композиції, що не поширює полум'я;

5. Вперше експериментально, на підставі прискореного теплового старіння, визначено, що прогнозований строк служби кабелю з радіаційно-модифікованою оболонкою в області робочих температур кабелю майже вдвічі перевищує строк служби кабелю з такою ж, але не модифікованою оболонкою;

6. Вперше доведено можливість експлуатації неекранованого кабелю на основі неекранованих кручених пар з поліетиленовою ізоляцією і оболонкою з полівінілхлоридного пластикату в умовах підвищеної температури навколишнього середовища до 40°C та відносній вологості до 100%.

#### **Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Запропоновану методику та алгоритми розрахунку охолодження полімерної ізоляції кабелів доцільно застосовувати для визначення технологічних режимів охолодження ізоляції, особливо при освоєнні нових матеріалів та при виготовленні кабелів нового конструктивного виконання.

Науково обґрунтованими і важливими є рекомендації щодо ефективності реєстрації часткових розрядів у високовольтній твердій ізоляції для налаштування технологічного процесу охолодження.

Важливими також є результати досліджень надійнісних характеристик кабелів, а саме, строку служби, що дозволяє використовувати пожежобезпечні кабелі з радіаційно-модифікованими ізоляцією і оболонкою на об'єктах з підвищеним прогнозованим терміном експлуатації (судна, морські бурові платформи, електростанції та інше).

Результати дисертаційної роботи впроваджено в ПАТ «Завод «Південкабель» (м. Харків), ТОВ «Азовська кабельна компанія» (м.

Бердянськ), на підприємствах асоціації «Укрелектрокабель»; в навчальний процес кафедри «Електроізоляційна та кабельна техніка» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 141 – спеціалізації «Електроізоляційна, кабельна та оптоволоконна техніка»; використані при розробці і наданні рекомендацій ПрАТ «УкрНДІКП» серійним виробникам кабелів підвищеної пожежної безпеки для морських і річкових суден, атомних електростанцій;

**Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.** Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 18 наукових працях, у тому числі 10 статей у фахових наукових виданнях України, що включені до наукометричних баз даних (2 – у виданні, що включено до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, 4 – у виданні, що включена до міжнародної наукометричної бази Web of Science), 1 – у закордонному періодичному виданні.

Апробація роботи відбулася на 4-х міжнародних симпозіумах та конференціях. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

**Оцінка змісту дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота Мірчука Ігоря Анатолійовича складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та 1 додатку.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено напрям дисертаційних досліджень, сформульовано мету та задачі, означено методи досліджень, розкрито наукову новизну, охарактеризовано практичне значення одержаних результатів роботи, встановлено особистий внесок здобувача, наведено апробацію результатів дисертації та кількість публікацій.

**У першому розділі** на основі аналітичного огляду літературних джерел проведено досить ґрунтовний аналіз вимог, в тому числі міжнародних

стандартів, до сучасних суднових кабелів, а також електроізоляційних безгалогенних матеріалів, які не поширюють полум'я; відзначені їх переваги і недоліки.

Виконано огляд впливу умов охолодження та радіаційного опромінення полімерної ізоляції на характеристики кабельно-провідникової продукції. Розглянуто алгоритми розрахунку процесу охолодження полімерної ізоляції кабелю та проектування ванн охолодження в екструзійних лініях, а також особливості процесу радіаційного опромінення кабельної ізоляції.

На підставі проведеного аналізу сформульовані завдання, що вирішуються в дисертаційній роботі. Обґрунтовано доцільність визначення, за рахунок побудови математичної моделі, розподілу температури по товщині екструдованої ізоляції, що має особливе значення для силових кабелів високої напруги; впливу прискорених електронів з високою енергією на сучасні безгалогенні полімерні композиції для ізоляції і оболонки суднових кабелів; теплової стійкості безгалогенних композицій для прогнозування строку служби кабелів.

Умотивовано необхідність проведення випробувань ізолюваної жили на наявність часткових розрядів безпосередньо після її виготовлення, що дає можливість оперативно визначати коректність проведених розрахунків і необхідність внесення коректив в технологічний режим охолодження; застосування матеріалів з високими теплопровідними властивостями для підвищення пропускну здатності силових кабелів; визначення оптимальної дози опромінення для модифікації ізоляції і оболонки суднових кабелів.

**Другий розділ присвячено** розробці математичної моделі режиму охолодження високовольтної полімерної ізоляції силових суднових кабелів.

Автором досліджено закономірності розподілу температури по товщині ізоляції на основі поліетилену. На підставі розробленої математичної моделі і проведених обчислювальних експериментів показано, що температура охолоджуючого середовища має вирішальне значення для якості ізоляційної системи високовольтних кабелів. Встановлено, що час перехідного процесу, що відповідає досягненню однакової температури по всій товщині ізоляції,

може бути критерієм при визначенні технологічних параметрів охолодження, наприклад при обґрунтуванні довжини першої секції ванни охолодження в залежності від швидкості протяжки жили.

Автором обґрунтовано застосування техніки часткових розрядів для виявлення технологічних дефектів в ізоляції та визначено діапазон розмірів повітряних включень, що активізуються при прикладенні напруги до силового кабелю на напругу 3 кВ.

**Третій розділ** дисертаційної роботи присвячено методам оптимізації конструкції суднових силових кабелів за умови охолодження в експлуатації.

Встановлено, на підставі рішення критеріальних рівнянь природної конвекції, оптимальну товщину полімерної захисної оболонки, яка забезпечує найменший тепловий опір теплопередачі в одножильному силовому кабелі.

Автором показано ефективність застосування матеріалів з високими теплопровідними властивостями для захисної оболонки силових суднових кабелів.

**У четвертому** розділі вивчено вплив радіаційного модифікування безгалогенної полімерної ізоляції на експлуатаційні характеристики суднових кабелів.

Автором вперше експериментально встановлено діапазон оптимальної лінійної швидкості проходження ізольованої жили під пучком електронів при сталому струмі пучка електронів; оптимальну дозу опромінення захисної оболонки кабелю, виконаної з наповненої антипіренами безгалогенної композиції, що не поширює полум'я; розподіл поглиненої дози по периметру і довжині кабелю після опромінення на промисловому прискорювачі електронів.

На основі узагальнення результатів комплексних експериментальних досліджень автором акцентовано, що радіаційне опромінення наповнених безгалогенних композицій забезпечує підвищення їх електроізоляційних характеристик, теплостійкості, стійкості до дії хімічних речовин.

**У п'ятому** розділі на підставі прискореного теплового старіння виконано прогнозування строку служби суднових кабелів.

Автором виконано прогнозування строку служби суднового кабелю управління з радіаційно-модифікованою ізоляцією та оболонкою. Показано, що кабель з радіаційно-модифікованою оболонкою має більший прогнозований ресурс в порівнянні з кабелями з такою ж оболонкою, але яка не піддавалась впливу прискорених електронів.

Експериментально за результатами прискореного старіння обґрунтовано можливість застосування кабелів на основі кручених пар з термопластичною поліетиленовою ізоляцією в захисній полімерній оболонці на основі полівінілхлоридного пластикату в середовищах з підвищеною вологою та температурою.

**Висновки** до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо послідовно, аргументовано і виразно, та відповідають змісту дисертаційної роботи.

**Список використаних джерел** досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 161 найменування.

**В додатках** до дисертаційної роботи наведено акти впровадження її результатів і патенти на корисну модель.

### **Зауваження по дисертаційній роботі.**

1. У другому розділі «Математична модель режиму охолодження високовольтної полімерної ізоляції силових суднових кабелів» не вказано в якій програмі виконані розрахунки системи лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення температурного поля.

2. Розрахунки розподілу температури по товщині ізоляції виконані для значень температури охолоджуючого середовища 90 °С, 60 °С і 30 °С (рис. 2.10 – 2.12). На якій підставі взяті саме ці значення?

3. На рисунку 2.18 (стор. 86) приведено розподіл напруженості електричного поля по товщині ізоляції одножильного силового кабелю з перерізом струмопровідної жили 25 мм<sup>2</sup> на лінійну напругу 6 кВ, хоча доцільніше було б привести розрахунок для кабелю на лінійну напругу 3 кВ, адже подальші розрахунки напруги початку виникнення часткових розрядів приведені для кабелю на напругу 3 кВ.

4. У третьому розділі «Оптимізація конструкції суднових силових кабелів за умови охолодження в експлуатації» діаметр кабелю оптимізованої за величиною лінійної щільності теплового потоку конструкції становить більше 40 см. Наскільки кабель таких розмірів може бути ефективним, враховуючи його розміри і матеріаломісткість?

6. В розділі 5 виконано прогнозування можливості використання неекранованого кабелю для передачі даних на основі неекранованих кручених пар в умовах підвищеної вологості і температури. Доцільніше було б в якості зразка для дослідів використати екранований кабель, оскільки кабелі для передачі даних, як правило, мають індивідуальні, загальний, або обидва варіанти екранів для захисту від взаємного і зовнішнього електромагнітного впливу.

Слід зазначити, що наведені зауваження не є принциповими і не впливають на загальне позитивне враження від роботи.

## **ВИСНОВОК**

Дисертаційна робота Мірчука Ігоря Анатолійовича на тему «Підвищення експлуатаційних характеристик суднових кабелів за рахунок технологічних режимів охолодження та радіаційного опромінення електричної ізоляції» є завершеною науково-дослідною працею, яка розв'язує важливе науково-практичне завдання щодо підвищення експлуатаційних характеристик суднових кабелів, і є актуальною не тільки

для суднових кабелів, а і для сучасних кабелів загальнопромислового призначення.

На підставі результатів математичного та фізичного моделювання технологічних процесів охолодження та радіаційно-опромінення безгалогенної ізоляції суднових кабелів встановлені критерій для визначення технологічних параметрів охолодження в залежності від температури на жилі і температури охолоджуючої води; діапазон розмірів повітряних включень, що активізуються при прикладенні випробувальної напруги до силового кабелю; доза опромінення кабелю за якої досягається підвищення електроізоляційних характеристик кабелю, теплостійкості, стійкості до дії хімічних речовин.

За результатами лабораторних досліджень виконано прогноз строку служби кабелю з радіаційно-модифікованими ізоляцією і оболонкою з наповнених антипіренами безгалогенних композицій, що не поширюють полум'я.

Отримані в дисертаційній роботі результати в сукупності складають істотний внесок у вирішення науково-прикладної задачі створення суднових кабелів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Надані здобувачем дисертація та наукові публікації відповідають вимогам пунктів 10, 11, 12 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, а її автор, Мірчук Ігор Анатолійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент

технічний директор - головний інженер  
ПАТ «Завод «Південкабель»  
кандидат технічних наук



Юрій АНТОНЕЦЬ

25.11.2020

Підпис Антонця Ю.П. засвідчую:  
Начальник відділу кадрів



Є.О. Селіверстова