

ВІДГУК

рецензента ЦИПЛЕНКОВА Дмитра Володимировича

на дисертаційну роботу Шихова Станіслава Кириловича

«Електротехнічна система катодного захисту підземного сталевих газопроводу з неоднорідною структурою» що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю

141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Актуальність теми

Підвищення надійності та енергоефективності систем електрохімічного захисту підземних сталевих газопроводів, які є важливою складовою критичної інфраструктури України, є актуальною задачею для підтримки її енергетичної безпеки. Значна частина вітчизняних газопроводів експлуатується протягом тривалого часу, що супроводжується погіршенням технічного стану ізоляційного покриття, розвитком корозійних процесів та появою неоднорідностей структури трубопроводів унаслідок ремонтів, реконструкцій і заміни окремих ділянок. За таких умов підвищуються вимоги до ефективності функціонування станцій катодного захисту та до методів керування ними.

Важливим аспектом є врахування особливостей взаємодії суміжних станцій катодного захисту, електротехнічних параметрів трубопроводу, параметрів ізоляції та частотних характеристик силових випрямлячів, які в існуючих підходах здебільшого розглядаються окремо або спрощено. Дослідження наведених характеристик системи «станція катодного захисту – ґрунт – трубопровід» забезпечує підвищення ефективності розподілу захисного потенціалу, сповільнення руйнування існуючих трубопроводів, що набувають неоднорідної структури, та зниження енергетичних витрат систем електрохімічного захисту, що відповідає сучасним тенденціям розвитку електротехнічних систем і засобів протикорозійного захисту.

З огляду на викладене, розвиток законів керування та напрацювань для електротехнічних систем катодного захисту є актуальною науковою задачею, вирішенню якої і присвячено дисертаційну роботу Шихова С.К.

У дисертаційній роботі вирішено наукову задачу створення рекомендацій, методів і алгоритмів керування системами протикорозійного захисту підземних сталевих газопроводів, що модифікують їхні режими роботи з урахуванням наявності аномалій трубопроводу, пошкоджень ізоляції, схемотехнічного виконання випрямляча в складі станцій катодного захисту та взаємовпливів випрямлячів сусідніх станцій. Таким чином, досягається зменшення корозійних впливів від надмірних струмів стікання через ізоляцію та струмів, що перетікають трубопроводом в зонах, де варіюються електротехнічні параметри трубопроводу.

Положення, висновки і рекомендації, наведені в дисертаційній роботі Шихова Станіслава, в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного погляду.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Відповідно до поданих дисертаційних матеріалів, результати досліджень є складовою частиною науково-дослідних робіт, виконаних на кафедрі електроприводу НТУ «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро, Україна) у період 2022–2026 роки. Шихов С.К. був виконавцем білаторального науково-дослідного проєкту «Model Predictive Dynamic Energy Efficient Control in Rotating Field Machines» (№ 0124U003745), а також є виконавцем науково-дослідницької роботи молодих вчених за темою «Models and means of improving the energy efficiency and reliability of microgrid systems in the context of Industry 4.0 and GreenTech concepts» (№ 0126U001138). Участь здобувача – виконавець окремих розділів.

Достовірність результатів досліджень підтверджується застосуванням апробованих методів математичного моделювання, теорії електричних кіл, спектрального аналізу, диференціального числення та теорії несинусоїдальних струмів. Поставлені наукові задачі вирішено з використанням сучасних засобів комп'ютерного моделювання, що забезпечило обґрунтованість отриманих результатів. Адекватність запропонованих моделей і сформульованих висновків підтверджується їх узгодженістю з характеристиками реальних об'єктів газотранспортної системи України, що засвідчується актами впровадження та свідчить про достовірність отриманих наукових результатів, основних положень дисертаційної роботи та практичних рекомендацій.

Основні результати отримані Шиховим С.К. в дисертаційній роботі, які мають суттєву наукову новизну

– Удосконалено математичну модель електротехнічної системи катодного захисту підземного сталевого трубопроводу, яка, на відміну від існуючих, враховує індуктивні та ємнісні властивості трубопроводу, параметри кабельних ліній, характеристики ізоляційного покриття, власний потенціал споруди, а також електротехнічні неоднорідності газотранспортної системи. Це дозволяє підвищити точність визначення розподілу захисного потенціалу та адекватність моделювання режимів роботи станцій катодного захисту.

– Отримало подальший розвиток урахування закономірностей впливу спектрального складу вихідної напруги силових випрямлячів на процес формування захисного потенціалу підземного трубопроводу. Це дало змогу оцінити роль гармонічних складових у виникненні додаткових втрат енергії та визначити режими роботи перетворювачів, які забезпечують найбільш ефективне функціонування системи катодного захисту.

– Подальшого розвитку набуло моделювання взаємодії суміжних станцій катодного захисту, що враховує електротехнічні характеристики трубопроводу, параметри силових перетворювачів і технічний стан ізоляційного покриття. Завдяки цьому вдалося дослідити процеси виникнення струмів перетікання між

сусідніми станціями та оцінити їхній вплив на розподіл захисного потенціалу вздовж трубопроводу.

– Вперше розроблено алгоритми керування силовими випрямлячами станцій катодного захисту, які, на відміну від існуючих, забезпечують узгодження режимів роботи суміжних станцій шляхом мінімізації різниці потенціалів між ними та зменшення струмів, що перетікають трубопроводом. Запропонований підхід сприяє підвищенню енергоефективності системи електрохімічного захисту та зменшенню ризику виникнення локальних корозійно небезпечних зон.

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 143 джерел та 2 додатків. Обсяг дисертації складає 237 сторінок.

У *першому розділі* проведено аналіз сучасного стану проблеми електрохімічного захисту підземних сталевих трубопроводів. Розглянуто особливості функціонування газотранспортної системи України, причини виникнення корозійних процесів, сучасні методи захисту металевих трубопроводів, нормативну базу та технічні засоби реалізації катодного захисту. На підставі проведеного аналізу визначено основні недоліки наявних підходів до розрахунку та експлуатації станцій катодного захисту, що стало підґрунтям для формування мети й завдань дисертаційного дослідження.

У *другому розділі* сформовано теоретичні основи дослідження та запропоновано удосконалену математичну модель електротехнічної системи катодного захисту. Розглянуто особливості електротехнічних процесів, що протікають у системі «станція катодного захисту – трубопровід – ґрунт», проаналізовано вплив параметрів трубопроводу, ізоляційного покриття, кабельних ліній та силових перетворювачів на формування захисного потенціалу. Значну увагу приділено побудові схем заміщення, які більш повно відображають реальні умови експлуатації.

У *третьому розділі* наведено результати досліджень режимів роботи силових випрямлячів станцій катодного захисту, отримані із застосуванням

методів спектрального аналізу та комп'ютерного моделювання. Встановлено вплив гармонічного складу вихідної напруги на розподіл захисного потенціалу, досліджено особливості роботи транзисторних перетворювачів із широтно-імпульсною модуляцією, а також проаналізовано вплив електротехнічних параметрів трубопроводу та стану ізоляційного покриття на ефективність електрохімічного захисту.

У четвертому розділі розглядається питання взаємодії суміжних станцій катодного захисту при їхньої одночасній роботі на спільний трубопровід. За допомогою розробленої математичної моделі досліджено процеси виникнення струмів перетікання між станціями, визначено закономірності залежності цих струмів від параметрів системи та режимів роботи силових випрямлячів. На основі отриманих результатів запропоновано алгоритми керування силовими перетворювачами та рекомендації щодо вибору їхніх параметрів, спрямовані на підвищення енергоефективності систем катодного захисту та забезпечення необхідного рівня захисного потенціалу вздовж трубопроводу.

Повнота викладення результатів дисертаційного дослідження в опублікованих працях є достатньою. Основні наукові результати, що виносяться на захист, оприлюднено у 5 наукових працях: 3 статті опубліковано у фахових виданнях України, а 2 – у виданнях, що індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus. Крім того, результати дослідження доповідалися та обговорювалися на 7 міжнародних наукових конференціях. Практична значущість отриманих результатів підтверджується патентом України на корисну модель.

Академічна доброчесність

У дисертаційній роботі та наукових публікаціях, у яких представлено основні результати дослідження, фактів порушення академічної доброчесності не встановлено.

Наукові результати, подані здобувачем до захисту, отримані ним самостійно та відображені у відповідних опублікованих працях. У публікаціях, виконаних у співавторстві, використано лише ті наукові ідеї, теоретичні положення, методи та результати розрахунків, які є особистим внеском здобувача. Усі використані матеріали, ідеї, наукові результати та тексти інших авторів супроводжуються посиланнями на відповідні джерела.

По дисертаційній роботі Шихова С.К. є зауваження

1. У першому розділі значну увагу приділено аналізу використання поліетиленових трубопроводів у газових мережах. Разом із тим, у подальших розділах поліетиленові вставки розглядаються лише як один із видів неоднорідностей трубопроводу. Це дещо порушує логіку викладення матеріалу та створює враження надмірної деталізації окремого аспекту оглядового розділу.
2. При побудові математичної моделі системи «станція катодного захисту – ґрунт – трубопровід» було б доцільно окремо проаналізувати вплив сезонної зміни питомого опору ґрунту, температури та вологості на функціонування запропонованої моделі.
3. Деякі рисунки та результати моделювання мають значну кількість параметрів, що дещо ускладнює їх сприйняття. Доцільно було б доповнити частину графічного матеріалу узагальнюючими таблицями або порівняльними характеристиками.
4. Які можливі труднощі інтеграції запропонованих алгоритмів у вже існуючі станції катодного захисту?
5. Які перспективи практичного впровадження запропонованих методів керування станціями катодного захисту в контексті поширення засобів дистанційного моніторингу в режимі реального часу?

Зазначені недоліки і зауваження не є принциповими і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи Шихова С.К., її наукової новизни та практичної цінності.

ВИСНОВОК

Враховуючи актуальність теми, отримані результати та наявну практичну значимість вважаю, що дисертаційна робота Шихова Станіслава Кириловича на тему *«Електротехнічна система катодного захисту підземного сталевого газопроводу з неоднорідною структурою»* відповідає спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44. Отже, здобувач Шихов Станіслав Кирилович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензент:

професор кафедри електропривода

Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка»,

кандидат технічних наук, доцент

Дмитро ЦИПЛЕНКОВ