

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії – Станіслав ШИХОВ, 1999 року народження, громадянин України, освіта – вища: у 2022 році закінчив Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» і отримав повну вищу освіту за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», аспірант кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Разова спеціалізована вчена рада утворена рішенням Вченої ради Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», МОН України, м. Дніпро від « 30 » червня 2026 року, протокол № 18, наказ від «30» червня 2026 року № 111 у складі:

Голова разової ради: Бешта Олександр Степанович, член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, професор кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Рецензенти:

1. Ципленков Дмитро Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

2. Бородай Валерій Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Офіційні опоненти:

1. Бойченко Сергій Валерійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації електротехнічних і мехатронних комплексів Навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

2. Коцур Михайло Ігорович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричних та електронних апаратів Національного університету «Запорізька політехніка».

Відомості про членів разової спеціалізованої вченої ради додаються.

На засіданні «11» серпня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» Станіславу Шихову на підставі відкритого публічного захисту дисертації «Електротехнічна система катодного захисту підземного сталевих газопроводу з неоднорідною структурою» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Дисертацію виконано на кафедрі електропривода у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка», МОН України, м. Дніпро.

Науковий керівник:

– Азюковський Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри електропривода НТУ «Дніпровська політехніка».

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису, українською мовою.

У дисертації вирішено **актуальне наукове питання**, що полягає у подальшому вдосконаленні законів керування і практичних напрацювань зі використання електротехнічних систем катодного захисту підземних сталевих трубопроводів з урахуванням неоднорідності їх структури, стану ізоляційного покриття, фізико-хімічних властивостей ґрунту а також особливостей роботи випрямлячів сусідніх станцій катодного захисту для мінімізації негативних впливів, що провокують утворення надмірних струмів стікання через ізоляцію та струмів перетікання трубопроводом.

Наукова новизна роботи полягає у розроблені методу керування силовими ключами випрямлячів у мережевих електротехнічних системах катодного захисту за рахунок формування керуючих впливів для мінімізації різниці потенціалів, що утворюються сусідніми станціями, на границях між відрізками із значно відмінними електротехнічними параметрами, що, на відміну від відомих алгоритмів придушення струмів перетікання трубопроводом, усуває ризики виникнення локальних анодних зон на ділянках неоднорідностей при зміні структури трубопроводу; удосконаленню математичної моделі електротехнічної системи «станція катодного захисту – ґрунт – трубопровід» за рахунок врахування індуктивної та ємнісної складових, опору кабельних ліній, розтікання аноду, власного потенціалу споруди та параметрів неоднорідних вставок, що, на відміну від відомих суто резистивних моделей, забезпечує урахування параметрів несинусоїдальної форми вихідної напруги при живленні від перетворювачів. Це дозволило формалізувати метод оцінки ефективності формування захисного потенціалу трубопроводів за рахунок врахування спектрального аналізу потужності вихідних сигналів височастотних інверторних перетворювачів, що, на відміну від попередніх підходів, які ігнорували вищі гармоніки, дозволяє визначати вплив імпульсних складових струму на параметри електрохімічного захисту в умовах реактивного характеру навантаження.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджено у виробничу діяльність ТОВ «Дайвер» при проектуванні систем електрохімічного захисту на підводних переходах магістральних нафтогазопроводів (зокрема МН «Кременчук – Херсон», МГ «Прогрес»), що забезпечило подовження їх експлуатаційного ресурсу. У роботі створено інженерну методику вибору та конфігурування силових перетворювачів СКЗ залежно від електротехнічних характеристик трубопроводу. Запропоновані алгоритми керування дозволяють мінімізувати шкідливі струми перетікання між сусідніми станціями, що знижує витрати електричної енергії та запобігає прискореній локальній корозії.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 13 наукових праць, у тому числі 2 статті у виданнях, що індексуються наукометричною базою даних Scopus, 3

статті у фахових наукових виданнях з переліку МОН України, 7 публікацій у матеріалах міжнародних наукових, міжнародних науково-практичних, міжнародних науково-технічних конференцій та 1 патент на корисну модель.

1. O. Aziukovskyi, S. Shykhov Formation of the protective potential of underground steel pipelines in the context of the development of modern converter technologies, Coll.res.pap.nat.min.univ. Dnipro, 2024. №79. P. 210–221. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/79.210>

2. Азюковський, О. О., Шихов, С. К. Станції катодного захисту підземних сталевих трубопроводів як джерела полігармонійних сигналів. Електротехнічні та інформаційні системи. Дніпро, 2024. №106. С. 15–19. <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-106-3>

3. Aziukovskyi O., Papaika Y., Podoltsev O., Babenko M., Shykhov S. Simulation of the operation modes of the cathodic protection complex of pipelines in the approach of overhead power lines. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. Dnipro, 2024. № 6. P. 73 - 78. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-6/073>

4. Aziukovskyi, O O; Pivniak, H H; Babenko, M V; Shykhov, S K Influence of the protective potential distribution of a steel underground pipeline on electrochemical corrosion processes. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. Dnipro, 2025. № 2. P. 155 – 163. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-2/155>

5. Азюковський, О. О., & Шихов, С. К. Симетричні і несиметричні режими роботи суміжних станцій катодного захисту. Електротехнічні та інформаційні системи. Дніпро, 2026 № 109. С. 91–96. <https://doi.org/10.32782/EIS/2026-109-11>

6. Шихов С. К. Вплив стану ізоляції підземних сталевих трубопроводів на рекомендований тип випрямляча в складі станції катодного захисту. XVI Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна», м. Дніпро, 04–06 березня 2026 р. Дніпро: НТУ «ДП», 2026. С. 245-247. Посилання: https://ecology.nmu.org.ua/ua/Studies/Scientific_Spring_2026.pdf

7. О.О. Азюковський, С.К. Шихов методи мінімізації корозійних ризиків викликаних роботою суміжних станцій катодного захисту. Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XX міжнар. конф., м. Дніпро, 5 грудня 2025 р. Дніпро: НТУ "ДП", 2025. С. 21-25. Посилання: https://pzks.nmu.org.ua/ua/science/2025_fin.pdf

8 Шихов С. К. Моделювання підземного сталевих трубопроводу з урахуванням його електротехнічних параметрів, XV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна», м. Дніпро, 26–28 березня 2025 р. Дніпро: НТУ «ДП», 2025. С. 168-169. Посилання: https://ecology.nmu.org.ua/ua/Studies/Scientific_Spring_2025.pdf

9. Aziukovskyi, O., Shykhov, S., & Babenko, M. (2025). Development of Protective Potential for Underground Steel Pipelines in the Context of Modern Converter Technologies. Physical and Chemical Geotechnologies, 9(1), 091002. Посилання: https://pcgt.in.ua/archives/2025/PCGT_2025_091002.php

10. Азюковський О. О., Шихов С. К. Сучасні тренди катодного захисту підземних сталевих трубопроводів. Міжнародна науково-практична конференція

енергозбереження та енергоефективність – 2023. м. Дніпро, 15 грудня 2023 р. Дніпро: НТУ «ДП», 2023. С. 24-26. Посилання: https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/EE_2023.pdf

11. S. K. Shykhov., DC rectifiers as a part of cathodic protection systems of underground steel gas pipelines. The Seventh International Scientific Multidisciplinary Conference of Students and Beginner Scientists «Modern Technologies: Improving the Present and Impacting the Future», Dnipro, November 23-24, 2023. Дніпро: Український державний університет науки і технологій; 2023. Р. 91. Посилання: <https://crust.ust.edu.ua/items/abb93fc9-5526-4240-bc90-438a004e4fbc>

12. Азюковський О. О., Шихов С. К., Бабенко М.В. Станція катодного захисту підземних сталевих трубопроводів як джерело полігармонійних сигналів. Міжнародна науково-практична конференція енергозбереження та енергоефективність – 2022. м. Дніпро. 25 грудня 2022 р. Дніпро: НТУ «ДП», 2022. С. 52-54. Посилання: https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/EE_%202022.pdf

13. Расцветаев В. О., Азюковський, О.О., Коровяка, Є.А., Ігнатов А.О., Пащенко О. А., Хоменко В.Л., Бабенко М.В., Шихов С.К. (2025). Пристрій для регулювання температурного режиму в трубопроводах. Патент на корисну модель № 161729, Україна. Посилання: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1891913/>

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради та присутні на захисті фахівці.

Рецензент, доцент Дмитро Ципленков.

Запитання. Які вихідні параметри та припущення були покладені в основу побудови моделей у середовищі MATLAB/Simulink?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. Імітаційне моделювання в середовищі MATLAB (Simulink) виконано на основі еквівалентної схеми заміщення системи «станція катодного захисту – ґрунт – трубопровід», що включає індуктивність трубопроводу, ємність ізоляції, опір кабельних ліній, опір розтікання анода та власний потенціал підземної споруди. Прийняті під час моделювання припущення включають: відсутність зовнішніх збурень в системі; незмінність параметрів навколишнього середовища під час моделювання; як власний потенціал підземної споруди прийнято природний потенціал сталі у сухому ґрунті, який також розглядається постійним і дорівнює -0,3 В.

Запитання. Які напрями подальших досліджень Ви вважаєте найбільш перспективними для розвитку запропонованих математичних моделей і алгоритмів керування?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. Подальші дослідження планується спрямувати на розширення та поглиблення запропонованих засобів підвищення енергоефективності катодного захисту за рахунок більш повного врахування електротехнічних параметрів системи «станція катодного захисту – ґрунт – трубопровід». Одним із таких напрямків є доповнення наведеної моделі джерелами прогнозованих зовнішніх збурень по типу рейкового електротранспорту, що особливо актуально для газопроводів в межах міст.

Професор Олександр Бешта.

Дмитро Володимирович, чи задоволені Ви відповідями здобувача?

Доцент Дмитро Ципленков.

Так, цілком задоволений.

Рецензент, доцент Валерій Бородай.

Запитання. Які основні переваги та недоліки діодних, тиристорних і транзисторних випрямлячів були встановлені за результатами проведених досліджень?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. За результатами моделювання встановлено, що класичні мостові (діодні) випрямлячі забезпечують найменше поширення потужності вихідного сигналу у високочастотну область, тому є найбільш доцільними при якісному ізоляційному покритті трубопроводу. Транзисторні випрямлячі забезпечують широкі можливості керування, однак формують значні високочастотні складові, які збільшують струми стікання/натікання через ізоляцію та прискорюють деградацію трубопроводу, особливо в місцях неоднорідностей. Тиристорні випрямлячі займають проміжну позицію, оскільки забезпечують можливості керування вихідною напругою випрямляча, однак мають більш розподілений спектр ніж діодні випрямлячі.

Запитання. Які результати дисертаційної роботи, на Вашу думку, мають найбільше практичне значення для підвищення ефективності експлуатації систем катодного захисту газотранспортної системи України?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. Найбільше практичне значення мають: удосконалення математична модель системи «станція катодного захисту – ґрунт – трубопровід», яка враховує індуктивні та ємнісні складові, опір кабельних ліній, розтікання аноду, власного потенціалу споруди та параметрів неоднорідних вставок; пропонування методу керування силовими ключами випрямлячів за рахунок врахування спектрального аналізу потужності вихідних сигналів високочастотних інверторних перетворювачів для мінімізації різниці потенціалів між суміжними станціями та зменшення струмів перетікання; представлення методики вибору та технічного забезпечення станцій катодного захисту залежно від стану ізоляції трубопроводу; наведення технічних рекомендації щодо компенсації взаємного впливу суміжних станцій катодного захисту. Практична цінність цих результатів підтверджується їх впровадженням на базі ТОВ «Дайвер» під час проектування та обслуговування систем електрохімічного захисту підводних переходів магістральних нафтогазопроводів.

Професор Олександр Бешта.

Валерію Анатолійовичу, чи задоволені Ви відповідями здобувача?

Доцент Валерій Бородай.

Так, цілком задоволений.

Офіційний опонент, професор Сергій Бойченко.

Запитання. За результатами досліджень найкращі показники продемонстрували класичні мостові випрямлячі, тоді як випрямлячі з ШІМ характеризуються появою високочастотних складових. За яких умов, відповідно до результатів Вашої роботи, використання транзисторних випрямлячів із ШІМ є доцільним?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. Вибір типу випрямляча здійснюється залежно від електротехнічних характеристик трубопроводу, насамперед стану ізоляційного покриття та величини її ємнісної складової. Для випрямлячів із ШІМ характерні значні високочастотні складові, які провокують значні струми стікання через ізоляцію. Тому їх застосування є доцільним лише у випадку значно пошкодженій ізоляції, виходячи із міркувань подовження експлуатаційного ресурсу трубопроводу до проведення робіт із відновлення ізоляційних покривів та мінімізації фінансових витрат на протикорозійний захист. Сучасні транзисторні випрямлячі, наприклад від зварювальних апаратів, задовольняють таким вимогам за рахунок низької ціни та значної потужності.

Запитання. Чи зміняться результати дослідження у випадку використання сучасних високочастотних SiC- або GaN-ключів замість традиційних кремнієвих?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. В роботі окремо не розглядається застосування SiC- або GaN-ключів. Запропонована математична модель не прив'язана до конкретної елементної бази силового перетворювача. Однак оскільки SiC- або GaN-прилади, забезпечують вищі частоти комутації та менші комутаційні втрати, найімовірніше спектральний склад їх вихідної напруги, також буде значно розподіленим в зону високих частот. Оскільки принцип роботи запропонованої математичної моделі та алгоритму вибору силового перетворювача не змінюється — необхідно лише використовувати спектральні характеристики нового типу випрямляча як вхідні дані.

Запитання. Які із запропонованих технічних рішень уже можуть бути використані під час проектування або модернізації систем катодного захисту без суттєвої зміни їх конструкції?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. Серед запропонованих рекомендацій значного апаратного втручання вимагає заміна схеми випрямляча в складі станції катодного захисту. Як наслідок, серед можливих засобів мінімізації негативних впливів залишаються: узгодження фаз живлення випрямлячів та керування силовими ключами випрямляча із вираховуванням частотного спектру. Перше потребує мінімального електротехнічного втручання з боку джерела змінного струму. Друге стосується програмного забезпечення самої СКЗ. Саме такі рішення впроваджено у виробничу практику ТОВ «Дайвер».

Професор Олександр Бешта.

Сергію Валерійовичу, чи задоволені Ви відповідями здобувача?

Професор Сергій Бойченко.

Так, цілком задоволений.

Офіційний опонент, доцент Михайло Коцур.

Запитання. Чому у роботі досліджувалися саме однофазні схеми силових випрямлячів, а не трифазні?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. У дисертації розглянуто типові схеми випрямлячів, що входять до складу станцій катодного захисту для трубопроводів малого і середнього тиску. Найчастіше такі трубопроводи зустрічаються в межах населених

пунктів, де підключення станції до побутової мережі 220 В, 50 Гц є поширеним і легко доступним.

Запитання. Приймаючи до уваги негативний вплив високочастотних складових вихідної напруги випрямлячів на ефективність катодного захисту, чи не було б більш доцільним застосування джерел постійного струму замість випрямлячів, щоб повністю виключити вплив гармонічних складових?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. Дійсно, використання джерел постійного струму, які забезпечують практично незмінну вихідну напругу без гармонічних складових, є можливим методом. Як правило, такими джерелами виступають акумуляторні батареї та/або автономні системи електроживлення на основі відновлюваних джерел енергії. І цей напрям активно розвивається, однак переважно орієнтований на забезпечення електроживлення станцій катодного захисту у важкодоступних, віддалених та малонаселених районах, де відсутня або недостатньо надійна централізована електромережа. У роботі досліджувалися переважно системи катодного захисту газопроводів малого та середнього тиску, які експлуатуються в межах населених пунктів. Загальна протяжність таких мереж може становити тисячі кілометрів, а станції катодного захисту в більшості випадків живляться від існуючих мереж змінного струму через силові випрямлячі. За таких умов повна заміна випрямлячів автономними джерелами постійного струму є економічно та технічно недоцільною.

Професор Олександр Бешта.

Михайло Ігоровичу, чи задоволені Ви відповідями здобувача?

Доцент Михайло Коцур.

Так, цілком задоволений.

Професор Олександр Бешта.

Запитання. Як саме в роботі враховуються неоднорідності?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. Сучасний трубопровід може бути відновлений як і новою сталевією трубою із еталонною ізоляцією так і трубою із поліетилену, і будь-чим між цим двома прикладами. Відповідно електротехнічні параметри відрізка трубопроводу починають варіюватись, що в свою чергу накладається на несинхронізовану роботу сусідніх станцій катодного захисту, наявність високочастотних складових на виході СКЗ, впливи яких показані в роботі. На ділянках неоднорідностей виникають локальні анодні зони і провокується поява корозійних струмів, що формують наскрізні отвори за порівняно незначний час. При цьому врахування ємнісної складової, залежить від типу перетворювача, і його частотного розподілу. Так у випадку транзисторних випрямлячів струм через ізоляцію є значно більшим порівняно із класичними перетворювачами. А отже ємність є показником якості і стану ізоляції аж до нової вставки пластикової труби, які представляють ступінчасту зміну електротехнічних параметрів вздовж трубопроводу. При цьому чим більшої є ця зміна тим небезпечнішою стає корозійна ситуація.

Запитання. В чому удосконалення моделі, що використовується в роботі? Чому прийнято саме таку модель?

Відповідь здобувача Станіслава Шихова. У роботі уточнено модель системи «СКЗ – ґрунт – трубопровід», за рахунок врахування в схемі заміщення електротехнічних параметрів системи, які включають: опір кабельних ліній, опір розтікання аноду та природний потенціал підземної споруди – в даному випадку сталевого трубопроводу. Взята за основу модель підземного сталевого трубопроводу попередників, розглянута та уточнена, елементами системи «СКЗ – ґрунт – трубопровід». І може використовуватись для дослідження впливів випрямлячів на роботи системи за рахунок наявності індуктивності трубопроводу та ємності ізоляції. Оскільки, це дозволяє враховувати ефекти затягування струму на силових ключах та зростання струмів стікання через ізоляцію за рахунок зміни її опору із частотою вихідного сигналу випрямляча в складі СКЗ.

Професор Олександр Бешта.

Я цілком задоволений Вашими відповідями.

Зауваження рецензента доц. Дмитра Ципленкова за результатами вивчення дисертації.

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 частину графічного матеріалу доповнити 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 розповсюдження засобів дистанційного моніторингу в реальному часі?

Відповіді здобувача Станіслава Шихова на зауваження рецензента доц. Дмитра Ципленкова.

Перше зауваження є обґрунтованим. У дисертації окремий пункт присвячено аналізу сучасних тенденцій використання поліетиленових трубопроводів у газових мережах. Головною ідеєю цього пункту, було обґрунтування актуальності проблеми формування неоднорідної структури сучасних трубопровідних систем. Поліетиленова вставка в такому контексті є яскравим прикладом. Однак, ви праві, в тексті дисертації

їх детальний аналіз надалі не є окремим предметом дослідження, що дещо порушило логіку викладення матеріалу.

Щодо другого зауваження: в дисертації розглядаються різні чинники, що впливають на електропровідність ґрунту, як наприклад його тип, техногенні впливи й сезонні коливання. Водночас у запропонованій математичній моделі ці фактори не досліджуються як окремі змінні. Наведене зауваження є перспективним напрямом дослідження, і мій колега по науковому напрямку саме зараз працює за цією темою. Сподіваюсь ми всі зможемо побачити його досягнення найближчим часом.

Третє зауваження є слушним. Результати дослідження переважно представлені у вигляді графіків, часових залежностей, спектральних характеристик та результатів імітаційного моделювання, що пов'язано зі специфікою дослідження електротехнічних процесів і аналізом розподілу захисного потенціалу. Доповнення окремих розділів узагальнюючими таблицями або порівняльними характеристиками могло б покращити сприйняття отриманих результатів, однак відсутність таких таблиць не впливає на достовірність зроблених висновків.

Четверте зауваження – у роботі запропоновано інженерні рекомендації щодо технічного забезпечення СКЗ, що враховують впливи сусідніх станцій, їх спектральний розподіл та фазу підключення. Їх практичне впровадження здійснюється безпосередньо на рівні СКЗ, що зазвичай знаходиться в доступі відповідних організацій. Це означає, що питання модернізації існуючого обладнання, залежить від їх технологічних можливостей і може варіюватись від заміни прошивки контролера СКЗ до повної заміни типу випрямляча.

Щодо п'ятого зауваження – у дисертації згадується поширення систем дистанційного моніторингу та керування СКЗ. Це є логічним розвитком електрохімічного захисту в контексті епохи індустрії 4.0. І хоча, робота зосереджена на математичному моделюванні, аналізі режимів роботи випрямлячів, розробленні алгоритмів керування та інженерних рекомендацій для станцій катодного захисту, їх впровадження повністю синергує із системами дистанційного моніторингу та керування. Збір і обробка даних електрохімічного захисту в реальному часі дозволить оперативно реагувати на зміни системи і приймати необхідних заходів.

Зауваження рецензента доц. Валерія Бородая за результатами вивчення дисертації.

1. У першому розділі достатньо повно проаналізовано сучасний стан розвитку систем катодного захисту, однак огляд небезпечних чинників обмежено лише звітом однієї профільної організації. Доцільно було б доповнити перелік розглянутих матеріалів за рахунок баз даних пошкоджень трубопроводів від інших представників галузі.

2. У третьому розділі досить детально досліджено спектральний склад вихідних сигналів різних типів випрямлячів. Разом із тим доречно було б доповнити, ці данні реальними вимірюваннями на станціях катодного захисту.

3. У тексті дисертації зустрічаються окремі стилістичні неточності, повтори та незначні редакційні огріхи.

4. Чому для дослідження було обрано саме спектральний аналіз, а не часові або статистичні методи оцінювання ефективності роботи випрямлячів?

5. Які параметри математичної моделі найбільше впливають на точність результатів моделювання?

Відповіді здобувача Станіслава Шихова на зауваження рецензента доц. Валерія Бородая.

Перше зауваження є слушним. У першому розділі для аналізу причин пошкодження трубопроводів використано статистичні дані Європейської бази даних з інцидентів на газопроводах, що включає дані від дев'ятнадцяти європейських постачальників газу. Ці дані застосовано для обґрунтування актуальності проблеми електрохімічної корозії. І хоча крім представленої, існують інші бази даних, вони відрізняються за критеріями аварій, об'ємом накопичених даних, режимами доступу та регіональними відмінностями. База даних EGIG була обрана через наочність представленої інформації, чіткий зв'язок із газотранспортною галуззю, та близькість до України. Окремого порівняльного аналізу статистичних баз інших міжнародних або галузевих організацій в роботі не проводилось, однак усі з досліджених баз розглядають корозію, яка одну із найнебезпечніших причин аварій.

Щодо другого зауваження: так, в роботі дослідження спектрального складу вихідних сигналів різних схем випрямлячів виконано виключно засобами математичного та імітаційного моделювання в середовищі MATLAB. І хоча результати моделювання відповідають поведінці випрямлячів, проведення натурних вимірювань спектральних характеристик на діючих станціях катодного захисту, були б доречним доповненням цього розділу. Дякую за зауваження, буду працювати над цим в подальшій роботі.

Погоджуюся із третім зауваженням. У тексті дійсно трапляються повтори, помилки та стилістичні неточності. Дякую за зауваження, буду розвивати свій стиль наукового письма, щоб такого в майбутніх роботах було менше.

По четвертому зауваженню. Однією із особливостей сучасної ГТС є зростання поширення високочастотних транзисторних випрямлячів. Що і приводить до визначення одного із завдань дисертації, а саме дослідження впливу форми вихідної напруги та спектрального складу силових випрямлячів на закономірності розподілу захисного потенціалу вздовж трубопроводу. Використання перетворення Фур'є є типовим методом аналізу високочастотних електричних сигналів, який забезпечує достатню інформацію для перевірки висунутих гіпотез, тому саме спектральний аналіз був обраний як основний інструмент дослідження.

Щодо п'ятого зауваження: математична модель враховує опір кабельних ліній, параметри анодного заземлення, індуктивну та ємнісну складові трубопроводу та власний потенціал споруди. Для аналізу роботи випрямлячів в складі СКЗ, і наведених рекомендацій найбільш важливими елементами схеми заміщення є індуктивність трубопроводу та ємність ізоляції, оскільки саме вони найбільш істотно впливають на струму стікання \ натікання та струми, що перетікають трубопроводом.

Зауваження офіційного опонента, проф. Сергія Бойченко за результатами вивчення дисертації.

1. У роботі запропоновано удосконалену математичну модель системи «станція катодного захисту – ґрунт – трубопровід», однак недостатньо детально наведено її порівняння іншими відомими моделями, які застосовуються у сучасних дослідженнях.

2. В пункті 2.6 наведені характеристики роботи різноманітних схем випрямлячів, проте автор не наводить умови і параметри за яких проводяться вимірювання цих характеристик.

3. Автор представляє моделювання систем «станція катодного захисту – ґрунт – трубопровід» за різний конфігурацій, проте не наводить налаштувань моделі в MATLAB/Simulink.

4. У моделі враховано електротехнічні параметри системи, проте недостатньо досліджено вплив сезонної зміни питомого опору ґрунту, його вологості та температури на ефективність запропонованих алгоритмів керування.

5. У роботі не розглядається вплив зовнішніх джерел електромагнітних завад. Доцільно було б детальніше проаналізувати вплив високовольтних ліній електропередач, тягових мереж або інших сторонніх джерел блукаючих струмів на роботу запропонованої системи.

6. Наскільки запропоновані алгоритми керування залишаються ефективними при одночасній роботі більше трьох станцій катодного захисту?

7. Чи можна поширити запропоновану математичну модель на системи катодного захисту нафтопроводів, резервуарів або морських трубопроводів?

8. У тексті роботи присутні помилки та неточності.

Відповіді здобувача Станіслава Шихова на зауваження офіційного опонента проф. Сергія Бойченко.

Погоджуюсь з першим зауваженням. У дисертації наведено аналіз декількох існуючих моделей підземних сталевих трубопроводів та описані їх відмінності та обмеження. На цій основі запропоновано удосконалену модель, яка додатково враховує індуктивну та ємнісну складові, опір кабельних ліній, розтікання анода та власний потенціал споруди. Разом з тим, зауваження є слушним, оскільки доцільно було б надати більш наочне їх порівняння. Дякую за зауваження, воно буде виправлено при подальшій роботі над темою.

На друге зауваження, зазначаю, що у розділі 2.6 наведено принципи роботи різних схем випрямлячів, їх регульовальні характеристики та математичні залежності. Дослідження їх вихідних характеристик виконано за допомогою імітаційного моделювання в MATLAB/Simulink із параметрами опору – 1 Ом; індуктивність – 1 мГн; ємність – 100 мкФ. Значення були обрані із міркувань найбільш наочної демонстрації залежностей, що описуються в розділі.

Третє зауваження є слушним. Як уже було зазначено, для імітаційного моделювання використано програмне середовище MATLAB (Simulink). В роботі наведено схеми моделей та результати моделювання, однак повного переліку

параметрів середовища в тексті не надається. Використовуються блоки із спеціалізованої бібліотеки Simulink – Simscape / Electrical / Specialized Power Systems. Для моделювання схеми використовується дискретне моделювання із кроком в 50 мікросекунд.

Щодо четвертого зауваження: питомий опір ґрунту істотно залежить від вологості, фізико-хімічного складу та сезонних змін кліматичних умов. Так, сезонні коливання можуть збільшувати струм, що споживає СКЗ майже в три рази. В контексті роботи необхідність урахування сезонних змін параметрів ізоляції та ґрунту згадується, однак не розглядається детально. Наведене зауваження є одним із напрямків розвитку дослідження.

З п'ятим зауваженням погоджуюсь. Наявність блукаючих струмів, від зовнішніх джерел, наприклад ліній електропередачі, електротранспорту та інших підземних комунікацій викликає електричне втручання в роботу систем катодного захисту та зміну рівня захисного потенціалу. Для протидії цим впливам застосовуються додаткові станції катодного захисту та інші заходи. Проте в контексті проведеного дослідження ці впливи не розглядаються. Їх урахування буде проводитись під час подальшої роботи над темою.

Щодо шостого зауваження: у роботі проведено моделювання спільної роботи двох та трьох станцій катодного захисту, зокрема симетричні та несиметричні режими, а також випадки відключення окремих станцій. Саме такі конфігурації забезпечують подальше масштабування наведеної методики на всю нитку трубопроводу, оскільки досліджується робота сусідніх станцій, впливи яких один на одну є найбільш істотними.

По сьомому зауваженню: дослідження безпосередньо присвячене підземним сталевим газопроводам, що відображається і в структурі наведеної математичної моделі. Для її поширення на інші типи трубопроводів, особливо нафтопроводів або морських трубопроводів вона потребує додаткового доопрацювання і перевірки.

З восьмим зауваженням погоджуюсь. Дякую за зауваження, буду працювати над цим.

Зауваження офіційного опонента, доц. Михайла Коцура за результатами вивчення дисертації.

1. Потребує уточнення формулювання назви дисертаційної роботи, в напрямку більш повного розкриття проведеної автором роботи.

2. Потребують уточнення вихідні дані для побудови еквівалентні схеми заміщення системи «станція катодного захисту – ґрунт – трубопровід».

3. Чи приймались до уваги джерела блукаючих струмів при перетині трас трубопроводів з іншими інженерними комунікаціями?

4. Уточнити критерії вибору схеми випрямлячів в складі станції катодного захисту.

Відповіді здобувача Станіслава Шихова на зауваження офіційного опонента доц. Михайла Коцура.

Погоджуюсь з першим зауваженням. Запропонована назва дисертації відображає її основну мотивацію, оскільки саме ситуація із газопроводами, їх відновленням та поява неоднорідностей призвели до появи цього дослідження. Водночас погоджуюся, що назву можна було б зробити більш конкретною, акцентувавши увагу на дослідженні режимів роботи суміжних станцій катодного захисту та методах керування ними. Проте, на мою думку, це не впливає на зміст, постановку наукової задачі та отримані результати дослідження.

Щодо другого зауваження: Еквівалентна схема заміщення формувалася на основі параметрів типової ланки газопроводу. До них належать геометричні розміри трубопроводу, параметри матеріалів із яких виготовлені трубопровід, його ізоляція, кабельні лінії, анод та параметри навколишнього середовища. Числові значення цих параметрів визначалися відповідно до технічних характеристик системи, довідкової та професійної літератури, а також комунікації із професіоналами в галузі електрохімічного захисту підприємства ТОВ «Дайвер» та відділу ЕХЗ дніпровської філії Нафтогазу.

По третьому зауваженню: на формування захисного потенціалу впливають зовнішні електричні чинники, особливо при перетині трубопроводів з іншими металевими спорудами. Однак, при роботі впливи джерел блукаючих струмів від тягових мереж, високовольтних ліній електропередач або інших інженерних комунікацій у межах дисертаційної роботи не розглядалися. Урахування таких впливів буде виконано під час подальшої роботи.

Щодо четвертого зауваження: Запропонована інженерна методика передбачає вибір типу силового випрямляча залежно від електротехнічних характеристик трубопроводу. Основними критеріями є стан ізоляційного покриття, величина її ємнісної складової, частотний спектр вихідного сигналу станції катодного захисту. Результати спектрального аналізу показали, що високочастотні складові вихідної напруги транзисторних випрямлячів можуть збільшувати струми стікання через ізоляцію, тому вибір схеми випрямляча повинен здійснюватися з урахуванням технічного стану трубопроводу та вимог до енергоефективності системи катодного захисту.

Результати
голосування: відкритого

«За» 5 членів ради,
«Проти» 0 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує *Шихову Станіславу Кириловичу* ступінь доктора філософії у галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Голова разової
спеціалізованої
вченої ради



Олександр БЕШТА