

ВІДГУК

офіційного опонента Болюха Володимира Федоровича на дисертаційну роботу Ткаченка Олександра Олеговича «Магнітне поле високовольтних кабельних ліній при двосторонньому заземленні екранів кабелів», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.05 – теоретична електротехніка

Актуальність теми. При будівництві сучасних міських високовольтних електромереж все більш широко використовуються трифазні кабельні лінії (ТКЛ) із трьох одножильних кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену. Проте такі ТКЛ створюють істотне магнітне поле (МП), індукція якого може перевищувати діючі екологічні норми. Тому при проектуванні трас прокладання ТКЛ обов'язковим є ретельний розрахунок їх МП на території житлової забудови. Розрахунок МП відповідно до діючих нормативних документів виконується за допомогою інженерних методик, отриманих на основі аналітичних розв'язків. Однак при двосторонньому заземленні екранів кабелів, яке застосовується відповідно до нормативних документів для обмеження наведеного на екранах електричного потенціалу, екрани кабелів утворюють замкнені контури, в яких індуються повздовжні струми. Струми в екранах кабелів створюють МП, яке істотно змінює МП кабелів, що необхідно враховувати при проектуванні ТКЛ.

Задачі моделювання та розрахунку МП при двосторонньому заземленні екранів кабелів ТКЛ можуть бути вирішені чисельними методами. Однак при проектуванні ТКЛ переваги мають аналітичні методи, які відрізняються більш доступною методикою розрахунку та прозорою фізичною інтерпретацією результату. Проте методи рішення зазначених задач за допомогою аналітичних розв'язків на сьогодні досліджені недостатньо.

Так, основна увага розробників ТКЛ прикута до розрахунку діючих значень струмів в екранах кабелів для визначення їх теплового впливу на обмеження пропускної спроможності ТКЛ. Однак ці струми коректно визначені тільки для схеми прокладання кабелів «у трикутник» і не визначені для схеми прокладання «у площині». Крім того, залишаються невизначеними необхідні для роз-

рахунку МП ТКЛ комплексні амплітуди цих струмів в екранах кабелів, і особливо в разі несиметричного прокладання кабелів «у площині».

Таким чином, відсутність теоретично обґрунтованих методів визначення комплексних амплітуд струмів в екранах ТКЛ та методів розрахунку МП при схемах прокладання кабелів «у площині» та «у трикутник» не дозволяє коректно вирішувати задачі моделювання та розрахунку МП високовольтних ТКЛ на основі аналітичних розв'язків при двосторонньому заземленні екранів кабелів. Про це також свідчить методика розрахунку МП ТКЛ СОУ-Н ЕЕ 20.179: 2008 (редакція 2008 р.), що мала істотну похибку, і дія якої була відмінена у 2016 році, в тому числі завдяки результатам дисертаційної роботи, що розглядається.

Актуальність теми роботи підтверджується й тим, що вона пов'язана з виконанням тематичного плану Державної установи «Інститут технічних проблем магнетизму НАН України» (ДУ «ІТПМ НАН України», м. Харків). Так, основні результати теоретичних та експериментальних досліджень кандидатської дисертації Ткаченка О.О. отримано при виконанні науково-дослідних робіт ДУ «ІТПМ НАН України» за темами наукових досліджень «Розвиток методів моделювання та нормалізації зовнішнього магнітного поля ліній електропередачі» (Шифр «МЕРЕЖА», ДР № 0111U010332, 2016 р.) та «Розроблення основних положень нормативного документу з проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ зі зменшеним магнітним полем» (Шифр «Метод-К», ДР № 0116U002817, 2016 – 2018 рр.), в яких здобувач був виконавцем окремих розділів.

Тому рішення наукової задачі розвитку методів математичного моделювання та розрахунку магнітного поля кабельних ліній при двосторонньому заземленні екранів кабелів є актуальним.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Ткаченка О.О. є високим й базується на аналізі літературних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, і якісному формулюванні отриманих висновків. Теоре-

тичні дослідження виконано з використанням фундаментальних положень теорії електромагнітного поля та теоретичної електротехніки, перетворення Кларк, методів комплексних амплітуд та методу скінчених елементів.

Отримані здобувачем результати перевірені шляхом критичних переходів отриманих формул до відомих раніше результатів, а також результатів чисельних та натурних експериментів, що підтверджує обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень забезпечується коректністю постановок математичних задач, застосуванням стандартних процедур моделювання МП ТКЛ, відповідністю змісту математичних моделей фізичній суті описуваних об'єктів. Отримані результати, висновки і рекомендації логічно і математично аргументовані. Достовірність також забезпечується коректною математичною постановкою задачі розвитку методів вирішення задач моделювання та розрахунку МП високовольтних ТКЛ при двосторонньому заземленні їх екранів за допомогою аналітичних розв'язків.

Усі методи, що запропоновані в дисертаційній роботі, обґрунтовані строгими математичними викладками і підтверджуються результатами чисельних комп'ютерних експериментів, а також шляхом співставлення отриманих результатів з натурними експериментальними дослідженнями.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

1. Вперше, на основі використання аналітичних розв'язків, розроблено узагальнену математичну модель МП високовольтних ТКЛ при двосторонньому заземленні власних екранів кабелів, що дозволяє застосовувати її при будь-яких схемах прокладання кабелів.

2. Вперше отримані аналітичні співвідношення, які дозволяють визначати МП та струми в екранах кабелів при їх двосторонньому заземленні у разі прокладання кабелів «у площині».

3. На основі розробленої математичної моделі та застосуванні перетворення Кларк запропоновано компактне співвідношення для інженерного розрахунку коефіцієнта екранування МП ТКЛ при двосторонньому заземленні екра-

нів у разі прокладання кабелів «у площині», яке дозволяє виконувати розрахунок з методичною похибкою до 5%.

4. Розвинено математичну модель МП ТКЛ при двосторонньому заземленні екранів кабелів для випадку охоплення кабелів феромагнітними осердями та вперше, на основі використання аналітичних розв'язків, отримано співвідношення, що дозволяють виконувати інженерний розрахунок коефіцієнтів екранування магнітного поля кабельних ліній з феромагнітними осердями.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання полягає в можливості використання розробленої і експериментально верифікованої методики розрахунку МП ТКЛ і струмів в екранах кабелів при двосторонньому заземленні екранів кабелів, яка дозволяє на етапі проектування кабельних ліній здійснювати розрахунок МП для будь-якої схеми прокладання кабелів і забезпечує оцінку відповідності рівня МП екологічним нормам.

Результати, які отримані в ході виконання дисертаційної роботи використовуються:

- в ДУ «ІТПМ НАН України» при виконанні фундаментальних і прикладних досліджень в рамках тематичного плану, про що складено відповідний акт;
- в НЕК «Укренерго» при розробці нових нормативних документів з проектування кабельних ліній і розрахунку їх магнітного поля, про що складено відповідний акт;

- у введених в дію нормативних документах Міненерговугілля: «СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008. Розрахунок електричного і магнітного полів ліній електропередавання. Методика (зі змінами). – Київ: Міненерговугілля України, 2016. – 37 с» та «СОУ-Н-МЕВ40.1-37471933-49:2011.2. Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ: Настанова (зі змінами). – Київ: Міненерговугілля України, 2017. – 139 с», в розділах присвячених проектуванню та розрахунку магнітного поля кабельних ліній при двосторонньому заземленні екранів кабелів.

- в новій методиці розрахунку діючих значень струмів в екранах кабелів при їх прокладанні «у площині», що передана для впровадження в НЕК «Укренерго» і дозволяє зменшити похибку розрахунку.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях є достатньою. Результати дисертаційної роботи досить повно відображені у 12 наукових працях, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України (2 статті включено до наукометричної бази даних Scopus, 4 статті – до наукометричної бази даних Web of Science) та 6 тез доповідей на міжнародних конференціях (2 тези доповідей включено до бази даних Scopus).

Основні результати роботи доповідались та обговорювались на XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної електротехніки» (Київ, 2016 р.), міжнародній конференції «2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering» (Львів 2017 р.), міжнародній конференції «IEEE 17th International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory» (Київ, 2018 р.), міжнародних науково-технічних симпозиумах «Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика» (SIEMA) (Харків, 2015 – 2018 рр.), міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD) (Харків, 2016 р., 2017 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Удосконалення енергоустановок методами математичного і фізичного моделювання» (Харків 2017 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування» (Харків 2017 р.), а також на 6 семінарах ДУ «Інститут технічних проблем магнетизму НАН України» (Харків, 2016 – 2018 рр.).

Оцінка змісту дисертаційної роботи. Дисертаційна робота Ткаченка О.О. складається з анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 144 сторінки; з них 57 рисунків по тексту; 14 таблиць по тексту; список використаних джерел зі 106 найменувань на 12 сторінках; 4 додатки на 15 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі наукового дослідження, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами та темами, викладено наукову новизну, практичне значення, наведено відомості про їх апробацію, публікації та впровадження.

У першому розділі проаналізовано відомі методи моделювання та розрахунку зовнішнього магнітного поля технічних об'єктів в цілому та ліній електропередачі зокрема. Розглянуто особливості ТКЛ як джерел МП при двосторонньому заземленні власних екранів кабелів та проведено аналіз можливості використання відомих методів і методик для моделювання та розрахунку їх МП. Виконано постановку задач досліджень.

У другому розділі отримано аналітичний розв'язок задачі моделювання МП ТКЛ при двосторонньому заземленні власних екранів кабелів, визначено комплексні амплітуди струмів в екранах і коефіцієнти екранування МП при різних схемах прокладання кабелів, в тому числі для кабелів, охоплених феромагнітними осердями.

У третьому розділі виконано верифікацію розробленої математичної моделі МП ТКЛ при двосторонньому замиканні власних екранів кабелів на основі експериментальних досліджень і чисельного моделювання.

У четвертому розділі представлено верифіковану методику розрахунку МП ТКЛ і струмів в екранах кабелів при їх двосторонньому заземленні та наведені результати впровадження дисертаційної роботи в нормативних документах Міненерговугілля.

В додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, Накази Міненерговугілля, щодо впровадження результатів дисертаційної роботи, Протокол лабораторних випробувань кабельної лінії з 3-х одножильних кабелів типу АПвЕгаПу-110 1×240/70 за параметрами магнітного поля, а також наведено список публікацій здобувача за темою дисертації.

Висновки до розділів за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 106 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

Відповідність дисертації вимогам ДАК України. Матеріал дисертації наданий досить логічно і обґрунтовано. Кожен з чотирьох розділів має свою специфіку, котра у сукупності свідчить про цілісність та завершеність дисертаційної роботи.

Таким чином, представлена дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, яка написана науковою мовою і повністю відповідає паспорту спеціальності 05.09.05 – теоретична електротехніка. Зміст дисертації, структура, послідовність та повнота розв’язаних задач цілком відповідають темі дисертаційної роботи.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В дисертації розглянуто занадто широке для кандидатської дисертації коло питань, що включають дослідження МП ТКЛ при двосторонньому заземленні екранів кабелів, а також дослідження цього поля при охопленні кабелів феромагнітними осердями і розвиток методів розрахунку діючих значень струмів в екранах кабелів. Однак останні два питання заслуговують окремого і більш детального розгляду.

2. В роботі [90] представлена математична модель електромагнітних процесів в кабельних лініях з двосторонньо-замкненими екранами та отримані вирази для амплітуд струмів в екранах при прокладанні кабелів «у трикутник», що підтверджується здобувачем на с. 26 і 27 дисертації. Бажано пояснити, чим запропонована здобувачем математична модель краща ніж відома [90].

3. В дисертації розглядаються магнітні поля в ідеалізованих прямолінійних кабельних лініях безкінечної довжини. Але на практиці між кабелями можуть бути різні відстані, або вони знаходяться не в одній площині, або має місце поворот кабелів, або вони мають кінцеву довжину, де з’єднуються муфтами та ін. Запропонована математична модель не враховує цих «не ідеальних» факторів, але вони можуть суттєво впливати на магнітне поле.

4. В результаті використання польової математичної моделі (рис.3.14) густина струму у всіх трьох кабелях при прокладанні «у трикутник» однакова, тобто не враховує фазовий зсув між струмами. Внаслідок цього розподіл індукованих струмів в екранах утворює симетричну картину, що при різних струмах в

кабелях в кожний момент часу неможливо. Необхідно уточнити, це розподіл миттєвих значень струмів, або у якийсь конкретний проміжок часу, або якийсь усереднений за період розподіл струмів?

5. При розгляді кабельних ліній з феромагнітними осердями припускається, що їх магнітна проникливість постійна. Але не зрозуміло, яким чином вибирається це значення.

6. Багато формул в дисертації повторюються, наприклад (2.8) та (2.27), (2.17) та (4.3) та ін., що, на мій погляд, недоцільно.

7. Зауваження по оформленню дисертації:

- Різні параметри позначені однаковими літерами, наприклад на с. 40 L – це власна індуктивність, а на рис. 3.1 – це геометричні розміри;
- Посилання на рис. 3.1 відбувається на с. 65, а сам рисунок представлено на с. 67;
- На рис. 1.4 відсутні пояснення скорочень;
- Рис. 3.11 виконаний з недотриманням вимог до оформлення;
- Ряд літературних джерел представлені не в повному обсязі, наприклад № 62, 64, 79;
- Присутні описки, наприклад, жилаї (с.40).

Вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Ткаченка Олександра Олеговича на тему «Магнітне поле високовольтних кабельних ліній при двосторонньому заземленні екранів кабелів», за змістом відповідає паспорту спеціальності 05.09.05 – теоретична електротехніка. Вона є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу математичного моделювання та розрахунку магнітного поля високовольтних трифазних кабельних ліній при двосторонньому заземленні їх екранів.

В дисертації отримані науково обґрунтовані результати подальшого розвитку методів теоретичної електротехніки з моделювання електромагнітних

процесів в кабельних лініях електропередачі та розробки на їх основі верифікованих методик розрахунку магнітного поля, необхідних для санітарно-гігієнічної оцінки рівня магнітного поля при проектуванні нових та модернізації діючих кабельних ліній.


Оформлення роботи відповідає вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертацій, а автореферат повністю відображає основні положення дисертації. Зроблені зауваження принципово не знижують високого наукового і практичного рівня дисертаційної роботи, яка в повній мірі відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, а її автор Ткаченко Олександр Олегович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.05 – теоретична електротехніка.

Офіційний опонент,
професор кафедри загальної електротехніки
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
доктор технічних наук, професор
13.05.2019



Болюх В.Ф.

Підпис проф. Болюха В.Ф. засвідчую
Вчений секретар НТУ «ХПІ»,
доктор технічних наук, професор



Заковоротний О.Ю.