

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Барабаш Олега Володимировича на дисертаційну роботу Степанова Дмитра Миколайовича «Методи забезпечення надійності волоконно-оптичних ліній зв'язку на етапах проектування та експлуатації», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі»

Актуальність теми дослідження

Забезпечення якості, достовірності та високої надійності передавання інформації по мережам зв'язку України в дійсний час досягається за рахунок впровадження найбільш перспективних технологій, як правило, на базі волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) з використанням оптичних кабелів (ОК). Особливе місце на транспортній електронній комунікаційній мережі (ТЕКМ) зв'язку займають волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ), що пояснюється їх домінуючим положенням відносно інших способів передавання та цілою низкою переваг у порівнянні із іншими видами ліній.

Тому, одночасно з вдосконаленням ВОЛЗ виникає необхідність створення методів оцінки технічного стану їх елементів та лінії у цілому, їх відповідності прийнятим стандартам через певний термін роботи, а також прогнозування в них відмов та показників надійності.

В той же час оцінка та забезпечення рівня надійності ВОЛЗ та її елементів на етапах проектування та експлуатації ліній в умовах ускладнення електронних комунікаційних мереж унеможливлені в повній мірі через відсутність нових адекватних методів. В дисертації Д.М. Степанова розроблено низку методів забезпечення надійності ВОЛЗ та проведено комплексний аналіз впливу на надійність ліній великого числа факторів: технічної та економічної ефективності конструкції оптичного кабелю під час її обґрунтованого вибору на етапі проектування лінії, термомеханічного впливу умов експлуатації на параметри ОК, вплив кліматичного району експлуатації на значення показників надійності, якості технічного контролю та обслуговування лінійних споруд ВОЛЗ для забезпечення її нормативного терміну служби.

В рамках цього здобувач акцентував достатньо серйозно увагу питанням комплексного підходу забезпечення надійності ВОЛЗ на етапах її проектування та експлуатації.

Варто додати, що про актуальність проблематики роботи свідчить також її зв'язок з пріоритетними напрямками науки та техніки в рамках державних програм, наприклад, в межах Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки». Тема дослідження пов'язана з науковими напрямами, сформульованими в п. 1.2.7 «Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук національної академії наук України на 2024 – 2028 роки», затвердженого постановою Президії НАН України від 10.01.2024 №8 та ін.

ДУІТЗ
01-33/453
"10" 11 2025р

Таким чином, виходячи з актуальності зазначеної тематики, дисертаційна робота Степанова Д.М. присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми щодо розробки методів забезпечення надійності волоконно-оптичних ліній зв'язку на етапах їх проєктування та експлуатації в умовах дестабілізуючих впливів.

Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота Степанова Д.М. присвячена забезпеченню надійності ВОЛЗ на етапах проєктування та експлуатації, що дозволить поліпшити якість та безвідмовність функціонування ліній фрагментів транспортної електронної комунікаційної мережі зв'язку та забезпечення норм показників її надійності протягом запланованого життєвого терміну.

Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 294 сторінках. Перелік використаних джерел включає 213 найменувань.

У вступі сформульоване протиріччя між практичною необхідністю забезпечення надійності ВОЛЗ та відсутністю для цього наукових підходів, доведена актуальність теми, сформульовані задачі та мета дослідження, обґрунтована наукова новизна отриманих результатів і їх практична цінність. Розглянуті зв'язок роботи з науковими темами, реалізація і впровадження результатів роботи. Дані відомості про апробацію роботи та публікації, структуру і зміст роботи.

У першому розділі дисертації виконано аналіз сучасного стану проблеми та визначено складові забезпечення надійності волоконно-оптичних ліній зв'язку. Наведено відомі підходи до розрахунку параметрів модульних конструкцій оптичних кабелів, показників надійності ВОЛЗ, тощо. Показані складові забезпечення надійності ВОЛЗ та на основі цього сформульовано напрями і задачі подальших наукових досліджень й практичних розробок.

У другому розділі дисертації розглянуті чинні вимоги нормативно-технічних документів з обґрунтованого вибору конструкцій оптичних кабелів на етапі проєктування ВОЛЗ. Доведено та реалізовано, що для забезпечення технічної та економічної ефективності ліній зв'язку необхідно розвинути теорію проєктування та оптимізації конструкцій оптичних кабелів для транспортних та абонентських волоконно-оптичних мереж зв'язку. Розроблені два методи багатокритеріальної оптимізації модульної конструкції оптичного кабелю дозволяють здійснювати на етапі проєктування ВОЛЗ обґрунтований прискорений вибір ОК оптимальної конструкції одночасно: – перший за технічною ефективністю осердя кабелю та зменшення їх матеріаломісткості; – другий за критерієм мінімальної собівартості. Результати досліджень за допомогою вказаних методів показали, що їх застосування під час вибору марки ОК на етапі проєктування ВОЛЗ дозволить при забезпеченні заданої технічної ефективності зменшити собівартість кабелю до 8,75 %.

У третьому розділі дисертації розвинуті підходи до забезпечення надійності ВОЛЗ при проєктуванні та експлуатації за оцінкою необхідної

конструкції ОК. Виконано дослідження термомеханічного впливу умов експлуатації ВОЛЗ на параметри конструкції ОК, що дозволяє врахувати дії фізико-кліматичних факторів умов експлуатації на етапі проектування лінійних споруд. На основі цього в роботі розроблено метод оцінки термомеханічного впливу умов експлуатації ВОЛЗ на геометричні розміри та параметри осердя ОК. Проаналізовано причини порушень технологій виробництва ОК та будівництва ВОЛЗ та надані рекомендації з їх недопущення.

У четвертому розділі дисертації удосконалено послідовність проектування сумарних показників якості роботи ВОЛЗ або ВОСП за рахунок обробки статистичних даних про пошкодження ліній за 13 років у всіх кліматичних районах України та отримано більш достовірні середні значення експлуатаційних показників якості роботи ліній ТЕКМ зв'язку (інтенсивність відмов (λ), її максимальні та мінімальні значення ($\lambda_{\text{макс}}$, $\lambda_{\text{мін}}$), середній час відновлення зв'язку ($t_{\text{счвз}}$). Це дозволило більш точно проводити оцінку параметрів надійності ВОЛЗ або ВОСП при проектуванні та експлуатації і розробити практичні рекомендації щодо мінімізації ризику пошкоджень ліній та забезпечення норм показників їх надійності.

П'ятий розділ дисертації присвячено контролю технічного стану елементів ВОЛЗ.

З огляду на це в розділі розроблено:

- метод контролю ймовірнісних показників надійності (щільності відмов, середнього часу напрацювання на відмову, середнього часу відновлення зв'язку та коефіцієнта готовності) лінійних споруд на початковому терміні експлуатації. Він дозволяє здійснювати контроль технічного стану елементів та оптимізацію технічного обслуговування ліній фрагментів ТЕКМ зв'язку;

- метод оцінки механічного стану оптичного волокна в осерді діелектричного самоутримного оптичного кабелю (ДСОК) при експлуатації. Він дозволив здійснювати моніторинг змін механічного стану волокна та кабелю в цілому задля недопущення появи недопустимих розтягувальних зусиль та виходу через це з ладу лінії зв'язку.

У шостому розділі дисертації проведено обґрунтування підходів до забезпечення надійності ВОЛЗ комплектами запасних частин, інструментів і приладдя (ЗІП). З огляду на це в розділі розроблено:

- метод визначення оптимального місця розташування ЗІП за відстанню між вузлами та інтенсивністю відмов ВОЛЗ;

- метод визначення оптимального місця розташування ЗІП за сумарним часом відновлення зв'язку та коефіцієнтом готовності.

Розроблені методи дозволили зменшити сумарну складову коефіцієнта простою на прикладі ВОЛЗ фрагменту транспортної мережі Одеської області в 1,25 рази.

У висновках дисертації підсумовано наукову новизну та практичну цінність проведених наукових досліджень.

Список використаних джерел містить 213 найменувань та свідчить про використання широкого кола сучасних результатів наукових досліджень.

В додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи; довідникові дані до проєктування та оптимізації модульних конструкцій оптичних кабелів та забезпечення надійності ВОЛЗ на етапах виробництва ОК та її будівництва; програмний код для визначення оптимального місця розташування ЗІП на ТЕКМ зв'язку; список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

Ступінь обґрунтованості, достовірності та новизни наукових положень

У дисертаційній роботі Степанова Д.М. здійснено наукові та прикладні дослідження в галузі волоконно-оптичних ліній зв'язку, що дозволило дисертанту створити низку нових методів забезпечення їх надійності в життєвому циклі. Дисертація виконана на високому науково-теоретичному рівні із застосуванням сучасних підходів теорій ліній зв'язку, пружності, ймовірності, надійності та графів. Сформульовані наукові положення, висновки й рекомендації відзначаються повнотою, достатністю та належною аргументованістю.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів підтверджуються:

- чітким формулюванням завдань;
- адекватним вибором методів їх розв'язання;
- співставленням отриманих теоретичних даних із експлуатаційними даними у процесі досягнення мети.

У процесі досліджень здобувач повністю досяг поставленої мети та розв'язав усі задачі. Кожен розділ містить чіткі висновки, що дозволяють стисло та змістовно відобразити виконанні дослідження, встановлені факти, ключові результати, підкреслити їх теоретичну новизну та практичну значущість.

У завершальній частині роботи наведено узагальнені висновки, які в повній мірі відображають та систематизують результати всього дисертаційного дослідження.

Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

Наукова новизна одержаних результатів роботи полягає в комплексному підході до забезпечення надійності ВОЛЗ на етапах проєктування та експлуатації.

У цілому це забезпечено такими науковими результатами:

1. Вперше розроблено два методи багатокритеріальної оптимізації модульної конструкції оптичного кабелю, які відмінні від наявних сформульованими критеріями структурної та параметричної оптимізації моделей багатоповивного осердя кабелю, що дозволили здійснювати на етапі проєктування ВОЛЗ обґрунтований прискорений вибір оптичного кабелю оптимальної конструкції одночасно за технічною ефективністю осердя кабелю та мінімальною собівартістю.

2. Вперше розроблено метод удосконалення вибору силових елементів одноповивної конструкції оптичного кабелю, який відрізняється від існуючих

встановленими залежностями допустимих розтягувальних навантажень діелектричних центрального та периферійного силових елементів від геометричного розміру центрального елемента осердя, що дозволяє на етапі проектування ВОЛЗ виконувати прискорений вибір оптичного кабелю з оптимальними силовими елементами.

3. Вперше розроблено метод оцінки термомеханічного впливу умов експлуатації на геометричні розміри і параметри осердя оптичного кабелю, який відмінний від наявних тим, що враховує відносні зміни довжин оптичного волокна та кабелю при дії на них температури. Це дозволяє оцінити на етапі проектування ВОЛЗ зміни механічних параметрів кабелю при його експлуатації.

4. Удосконалено метод контролю ймовірнісних показників надійності лінійних споруд ВОЛЗ на початковому терміні експлуатації за рахунок визначення законів розподілу випадкових величин, що дозволяє здійснювати контроль технічного стану їхніх елементів та оптимізацію технічного обслуговування ліній фрагментів транспортної комунікаційної мережі зв'язку.

5. Вперше розроблено метод контролю механічного стану оптичного волокна діелектричного самоутримного оптичного кабелю при експлуатації, який відмінний від наявних встановленим зв'язком фактичної механічної напруги в конструкції діелектричного самоутримного оптичного кабеля, що виникає під дією фізико-кліматичних впливів умов підвішування кабелю, та відносного видовження оптичного волокна. Це дозволяє здійснювати моніторинг змін механічного стану оптичного волокна і кабелю в цілому задля недопущення додаткової появи недопустимих розтягувальних зусиль та виходу з ладу лінії зв'язку.

6. Набув подальшого розвитку метод визначення місця розташування ЗІП за відстанню між вузлами мережі ВОЛЗ за рахунок врахування інтенсивності відмов ділянок лінії. Він враховує тяжіння розташування ЗІП до максимально уразливих фрагментів мережі та дозволяє скорегувати місця розташування ЗІП для удосконалення технічного обслуговування мережі зв'язку.

7. Вперше розроблено метод визначення місця розташування ЗІП за сумарним часом відновлення зв'язку та коефіцієнтом готовності, який вимагає визначення часу затримки доставки ЗІП та його складових, коефіцієнта готовності. Він дозволяє підрозділам технічної експлуатації оптимально розміщувати ЗІП на мережі зв'язку для забезпечення більшого значення коефіцієнта готовності.

Практичне значення дисертаційної роботи

1. Розвиток теорії забезпечення надійності сучасних ВОЛЗ або ВОСП на етапах проектування та експлуатації дозволив:

– отримати уточнені значення середніх експлуатаційних показників якості роботи ВОЛЗ (λ , $\lambda_{\text{макс}}$, $\lambda_{\text{мін}}$, $t_{\text{счвз}}$) ТЕКМ зв'язку для різних кліматичних районів країни. Це дозволило розробити рекомендаційні матеріали для проєктантів та лінійного персоналу підприємств зв'язку для підвищення точності розрахунку

показників надійності ВОЛЗ. Це можливо також використовувати для створення державних стандартів;

– оптимізувати показники надійності ВОЛЗ при проєктуванні та експлуатації і розробити рекомендації щодо мінімізації ризику їх пошкоджень та забезпечення норм показників надійності.

2. Удосконалені теоретичні підходи з обґрунтованого вибору та оптимізації конструкції кабелю на етапі проєктування ВОЛЗ можливо використовувати для уточнення чинної нормативної документації з проєктування ліній зв'язку.

3. Запропонований метод оцінки термомеханічного впливу на геометричні розміри та параметри осердя ОК при експлуатації дозволяє виявляти появу надмірних сил розтягу або стискання на ОВ та на основі цього здійснювати обґрунтований вибір матеріалів елементів кабелю й контроль механічної ефективності його конструкції.

4. Результати аналізу основних порушень технології виробництва ОК та будівництва ВОЛЗ можуть бути використані підприємством-виробником кабельної техніки та організаціями-замовниками будівництва ВОЛЗ для належної організації контролю якості конструктивно-виробничих процесів і будівельних робіт, а також недопущення цих порушень.

5. Особливі практичні значення для підприємств експлуатації лінійних споруд ВОЛЗ у цілому мають:

– метод контролю механічного стану оптичного волокна ДСОК при експлуатації. Він дозволяє здійснювати моніторинг змін механічного стану ОВ і кабелю в цілому задля недопущення додаткової появи недопустимих розтягувальних зусиль та виходу з ладу лінії зв'язку;

– методи визначення місця розташування ЗІП за: відстанню між вузлами та інтенсивністю відмов; сумарним часом відновлення зв'язку та коефіцієнтом готовності ВОСП.

Одержані в результаті виконаного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень методи дозволили розвинути процес забезпечення надійності ВОЛЗ, що підтверджено актами впровадження результатів дисертаційної роботи у:

1) роботі лабораторії випробувального центру ДП «Одеський науково-дослідний інститут зв'язку», що дозволило визначати параметри оцінки технічного стану елементів ВОЛЗ «Білгород-Дністровський – Шабо» Одеської області на базі кабелів ОКСБ-0,2-50-1,0/1,3-4 та ОКСП-0,1-50-1,0/1,3-4. Контроль технічного стану її лінійних споруд дозволив покращити технічне обслуговування;

2) роботі регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця», що дозволило оцінювати температурний вплив умов експлуатації ВОЛЗ на геометричні розміри та параметри конструкції ОК при виборі марки та оцінки механічних характеристик кабелю на етапі проєктування лінії зв'язку;

3) роботі Львівської філії АТ «Укртелеком», що дозволило вибирати оптимальну конструкцію ОК за масо-габаритними та економічними

показниками при проектуванні ВОЛЗ, особливо, в умовах браку місця в міській кабельній каналізації, а також використати теоретичні розробки та практичні рекомендації для прискореного вибору марки ОК оптимальної та економічно ефективної конструкції при проектуванні ВОЛЗ Західного макрорегіону АТ «Укртелеком»;

4) роботі ТОВ «Атраком» для покращення якості та надійності роботи ВОЛЗ при експлуатації і організації роботи її лінійних підрозділів, зокрема, проведення контролю технічного стану лінійних споруд ВОЛЗ при експлуатації в різних фізико-кліматичних умовах;

5) навчальному процесі Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку: при оновленні змісту освітньої програми «Телекомунікації та радіотехніка» першого (бакалаврського) рівня освіти за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка», виданні методичних посібників та монографій, проведенні лекційних, практичних та лабораторних занять низки дисциплін.

Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертація написана сучасною науково-технічною мовою, послідовно та логічно. Оформлення дисертації відповідає вимогам, що пред'являються до дисертаційних робіт. Автореферат повно розкриває зміст дисертації та висвітлює зміст всієї роботи. Стиль викладу результатів наукових досліджень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття. Назва дисертації в цілому відповідає її змісту та відображає суть розглянутих та вирішених наукових завдань.

Оформлення дисертаційної роботи відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40.

Оцінка наукового рівня і повнота викладення дисертації у наукових публікаціях

Дисертація здобувача являє собою кваліфікаційну наукову працю, яка містить нові наукові результати, що подаються автором вперше для їх публічного захисту.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 50 наукових працях, з яких 21 стаття у наукових журналах, включених до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук. Із них, 3 наукові статті проіндексовані у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science. Додатково результати досліджень висвітлені у 2 колективних монографіях, 26 тезах доповідей на науково-практичних конференціях та 1 патенті України на корисну модель.

Основні наукові результати, що виносяться на захист, отримані автором особисто і достатньо повно відображені в опублікованих наукових статтях у фахових виданнях, що відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 23 вересня 2019 року № 1220.

Основні зауваження по роботі

1. У другому розділі дисертації автор обґрунтовує підходи забезпечення технічної і економічної ефективності проєктування й експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) оптимальними модульними конструкціями оптичних кабелів. На основі цього розроблені методи оптимізації конструкцій оптичних кабелів, що дозволяють здійснити обґрунтований вибір оптичних кабелів на етапі проєктування ВОЛЗ. Однак, їх можливо застосувати тільки для багатомодульних моделей, а обґрунтований вибір одномодульних конструкцій кабелів залишився поза увагою. На мою думку, це дещо обмежує можливість застосування розроблених методів до всієї номенклатури таких оптичних кабелів вітчизняного виробництва.
2. В першому науковому результаті автором задекларовано два методи багатокритеріальної оптимізації модульної конструкції оптичного кабелю, які відрізняються від існуючих сформульованими критеріями структурної та параметричної оптимізації моделей багатоповивного осердя кабелю. При викладенні цих методів достатньо детально та обґрунтовано описуються всі обчислення та рекомендації щодо вибору оптичного кабелю. Проте, на мою думку, некоректно називати ці методи методами багатокритеріальної оптимізації. Відсутня математична формалізація багатокритеріальної оптимізаційної задачі, немає чіткого формулювання обмежень складових критеріїв. В наслідок цього, не визначено спосіб розв'язання багатокритеріальної задачі – зведення до одного критерію, або застосування згортки критеріїв з відповідними ваговими коефіцієнтами, або побудову множини Парето-оптимальних розв'язки.
3. У розділі 5 дисертації для контролю технічного стану елементів волоконно-оптичних ліній зв'язку під час експлуатації автором запропоновано розроблений метод контролю механічного стану оптичного волокна діелектричного самоутримного оптичного кабелю. Проведено апробацію цього методу для кабелю марки ОКЛ-3-Д2А14 в умовах одеської кліматичної зони на довжинах прольотів 50, 75 та 100 м. Водночас не досліджено, як зміняться результати застосування методу при інших вхідних даних – марці кабелю, довжинах прольоту та кліматичних районах країни.
4. В дисертації з метою корекції ефективності розміщення запасних частин у вузлах мережі автор запропонував метод визначення місця розташування ЗПП за відстанню та інтенсивністю відмов. Разом із тим, в дисертації не пояснено, як зміниться результат застосування цього методу у випадку необхідності доставки запасних частин, інструментів та приладь не до віддаленого об'єкта технічної експлуатації, а безпосередньо до аварійно-відновлювальної бригади в місці пошкодження лінії. Відсутність такого аналізу створює певні труднощі для оцінювання часу доставки ЗПП.
5. Для забезпечення заданого рівня надійності волоконно-оптичних ліній зв'язку автором дисертації сформульовані практичні рекомендації для етапів їх проєктування та експлуатації, що необхідні для лінійного персоналу організацій зв'язку. Проте, не проведено їх систематизацію та узагальнення.

На мою думку, це створює додаткові труднощі при формулюванні вимог, які необхідно включити в нормативно-технічну документацію з проєктування та експлуатації ВОЛЗ.

Разом із тим, вказані недоліки не носять принциповий характер і суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

Загальний висновок щодо дисертації

Дисертаційна робота Степанова Дмитра Миколайовича є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують сформульовану в дисертації актуальну науково-прикладну проблему щодо розробки методів забезпечення надійності волоконно-оптичних ліній зв'язку на етапах їх проєктування та експлуатації.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі». Основні результати дисертаційних досліджень достатньо повно оприлюднені у 21 науковій статті та 2 колективних монографіях.

За своєю актуальністю, науковим рівнем, ступенем новизни та обґрунтованості, теоретичним та практичним значенням отриманих результатів дисертація Степанова Д.М. відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 (зі змінами, внесеними постановами Кабінету міністрів України № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015, № 567 від 27.07.2016 № 943 від 20.11.2019, № 607 від 15.07.2020), які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор, Степанов Дмитро Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі».

Офіційний опонент

професор кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці
навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики

Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, професор

«1» листопада 2025 року

