

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Вишнівського Віктора Вікторовича на дисертацію Степанова Дмитра Миколайовича «Методи забезпечення надійності волоконно-оптичних ліній зв'язку на етапах проектування та експлуатації», подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

**Актуальність теми дисертації.** Інтеграція України у світовий простір потребує успішного розвитку інфокомунікаційних мереж на основі сучасних волоконно-оптичних систем передавання (ВОСП).

Особливістю сучасних ВОСП є великий об'єм трафіку, що передається між сусідніми проміжними регенераційними пунктами волоконно-оптичної ліній зв'язку (ВОЛЗ). Головною рисою ВОЛЗ є висока вартість. Невпинний процес науково-технічного розвитку лінійних споруд ВОЛЗ мереж зв'язку дозволив сформулювати напрямки їх перспектив технологічного розвитку. Отже визначивши у якості предмету досліджень методи, способи та підходи забезпечення надійності ВОЛЗ при проектуванні та експлуатації, необхідно врахувати економічні та технічні чинники.

Саме тому в дисертації сформульована актуальна наукова проблема розробка методів забезпечення надійності ВОЛЗ на етапах проектування та експлуатації. В загальному, процес забезпечення надійності ВОЛЗ передбачає використання дієвих методів реалізації цього процесу. Варто відзначити, що в рамках концепції загального підвищення якості транспортної електронної комунікаційної мережі (ТЕКМ) зв'язку автор виділяє надзвичайно важливі напрямки зі створення при проектуванні високонадійних ВОЛЗ та підтримки норм показників надійності при експлуатації лінії:

- розвиток теорії забезпечення надійності сучасних ВОЛЗ на етапі життєвого циклу ВОСП;

- вирішення ряду задач та розробка методів з:

- а) багатокритеріальної оптимальної модульної конструкції оптичного кабелю (ОК) на основі виявлених критеріїв структурної та параметричної оптимізації моделей багатоповивного осердя кабелів, що дозволяє здійснювати на етапі проектування ВОЛЗ обґрунтований прискорений вибір ОК оптимальної конструкції одночасно за технічною та економічною ефективністю;

- б) удосконалення контролю ймовірнісних показників надійності лінійних споруд ВОЛЗ за рахунок визначення законів розподілу випадкових величин, які описують реальні процеси виникнення відмов цих споруд на початковому терміні експлуатації, та дозволяє здійснювати контроль технічного стану їхніх

ДУІТЗ  
01-33/455  
"10" 11 2025 р

елементів та оптимізацію технічного обслуговування ліній фрагментів ТЕКМ зв'язку;

в) контролю механічного стану оптичного волокна діелектричного самоутримного ОК (ДСОК) при експлуатації, який відмінний від наявних встановленим зв'язком фактичної механічної напруги в конструкції ДСОК, що виникає під дією фізико-кліматичних впливів умов підвішування кабелю, та відносного видовження оптичного волокна (ОВ). Це 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;

г) визначення місця розташування ЗПП за:

– відстанню між вузлами мережі ВОЛЗ за рахунок врахування інтенсивності відмов ділянок лінії;

– сумарним часом відновлення зв'язку та коефіцієнтом готовності.

Саме тому, дисертаційна робота оптимально поєднала концептуальну наукову спрямованість та науково-практичний підхід до вирішення найбільш важливих задач забезпечення надійності ВОЛЗ. Постановка наукової проблеми та підходи до її вирішення, що висвітлені в даній дисертаційній роботі є власними науковими здобутками автора, тому дослідження з фахових публікацій за даною тематикою невідомі.

Таким чином, дисертаційна робота Степанова Д.М. є актуальною, оскільки спрямована на вирішення важливої для науки та народного господарства проблеми підвищення надійності ВОЛЗ.

**Загальна характеристика роботи.** Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 294 сторінках друкованого тексту. Перелік використаних джерел складає 213 найменувань.

У вступі розкрито суть і стан проблеми. Наведено базові положення дисертаційної роботи, обґрунтовано її актуальність та доцільність, відображено її зв'язок з галузевими та державними програмами, визначено мету роботи й коло вирішених завдань, показано її наукову новизну й практичну значимість для галузі зв'язку і виробництва засобів зв'язку, наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію та впровадження результатів роботи, публікації, структуру і зміст роботи.

У першому розділі дисертації наводиться аналіз стану проблеми та визначається, що розширення функцій сучасних ВОСП потребує підвищеної уваги до їх надійності. На основі комплексного підходу до складових надійності ВОСП, в першу чергу, лінійних споруд ВОЛЗ сформульовано задачі наукових досліджень та практичних розробок.

У другому розділі дисертації на основі наявних вимог чинної нормативно-технічної документації з вибору ОК на етапі проектування лінійних споруд ВОЛЗ знайшли розвиток теорія проектування та оптимізації багатомодульних конструкцій кабелів для ТЕКМ зв'язку. Для забезпечення ефективних проектування та експлуатації лінійних споруд ВОЛЗ у розділі розроблено методи оптимізації багатомодульної моделі осердя конструкції.

У третьому розділі дисертаційної роботи отримала розвиток теорія забезпечення надійності ВОЛЗ на етапах виробництва ОК та її будівництва. У процесі досліджень вирішені задачі з:

- оцінки температурного впливу на оптичні волокна при виготовленні ОК і в умовах експлуатації лінії;

- аналізу основних порушень технологій виробництва кабелю та будівництва ВОЛЗ;

- розробки рекомендацій з їх недопущення.

Певну увагу приділено розробці методу оцінки температурного впливу умов експлуатації ВОЛЗ на геометричні розміри та параметри осердя ОК.

У четвертому розділі дисертаційної роботи проведені дослідження розвитку та обґрунтуванню підходів до визначення показників експлуатаційної надійності ліній зв'язку ВОСП з:

- розвитку та обґрунтування підходів до визначення експлуатаційних показників надійності ВОЛЗ або ВОСП при проектуванні або їх роботі;

- отримання розрахункових значень середніх експлуатаційних показників якості роботи ВОЛЗ ( $\lambda$ ,  $\lambda_{\text{макс}}$ ,  $\lambda_{\text{мін}}$ ,  $t_{\text{счвз}}$ ) ТЕКМ зв'язку країни за 13-річний період.

У п'ятому розділі отримав розвиток контроль технічного стану елементів ВОЛЗ при експлуатації для підтримки належної надійності її елементів ділянки регенерації ВОСП та оптимізації технічного обслуговування лінії. Контроль технічного стану цих елементів потребує спостережень за параметрами якості та безвідмовності роботи ліній з урахуванням процесу їх старіння і дії екстремальних температур експлуатації. З огляду на це в розділі вирішуються комплекс задач, пов'язаних з:

- дослідженням статистичних даних розподілу часу напрацювання на відмову лінійних споруд ВОЛЗ в Закарпатській, Донецькій та Одеській областях;

- розробкою методів контролю:

- а) ймовірнісних показників надійності лінійних споруд ВОЛЗ на початковому терміні експлуатації;

- б) механічного стану волокон ДСОК при експлуатації;

- розробкою способу визначення параметрів оцінки технічного стану елементів ВОЛЗ ділянки регенерації ВОСП.

У шостому розділі проведені дослідження з забезпечення надійності ВОЛЗ комплектами запасних частин, інструментів і приладдя (ЗІП) в рамках яких викладено:

- 1) – стратегію поповнення запасів комплектів ЗІП лінії; – удосконалену послідовність розрахунку показників достатності одиночного, ремонтного та групового комплектів ЗІП; – узагальнення підходів до забезпечення норм надійності ВОЛЗ запасними елементами ЗІП; – склад розрахунку показників достатності комплектів ЗІП на мережах ВОЛЗ; – основи оптимального проектування комплектів та системи ЗІП складної структури; – основи використання теорії графів для розробки математичних моделей фрагмента ТЕКМ зв'язку; – оптимізація підходів до визначення місця розташування комплектів ЗІП фрагмента ТЕКМ зв'язку, в рамках якої розроблено методи

визначення місця розташування ЗІП;

2) розробку вибору математичних моделей визначення оптимального місця розташування запасних частин фрагменту мережі ВОЛЗ.

В додатках надані: акти впровадження результатів дисертаційної роботи; довідникові дані до проектування та оптимізації модульних конструкцій оптичних кабелів; довідникові дані до забезпечення надійності ВОЛЗ на етапах виробництва ОК та її будівництва; результати розрахунку ймовірнісних характеристик та перевірки відповідності закону розподілу кількості пошкоджень та часу напрацювання на відмову лінійних споруд ВОЛЗ в різних кліматичних районах; програмний код для визначення місця розташування ЗІП на ТЕКМ зв'язку та результати обробки даних; список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність.** Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Степанова Д.М. «Методи забезпечення надійності волоконно-оптичних ліній зв'язку на етапах проектування та експлуатації», виливають із наступного:

- теоретичні дослідження базуються на фундаментальних положеннях теорії ліній зв'язку, теорії пружності, математичної статистики, теорії ймовірності, цифрового моделювання;

- достовірність отриманих здобувачем нових результатів з теорії забезпечення надійності ВОЛЗ при проектуванні та експлуатації і проектування оптимальних конструкцій ОК підтверджена експериментально і актами впровадження;

- розвиток та обґрунтування підходів до визначення експлуатаційної надійності ліній зв'язку ВОСП доведена результатами 13-річних випробувань в умовах різних кліматичних районів країни;

- розробка методу контролю ймовірнісних показників надійності лінійних споруд ВОЛЗ на початковому терміні експлуатації підтверджена експериментальними дослідженнями на мережах ВОЛЗ Одеської області;

- розробка методу контролю механічного стану ОБ ДСОК при експлуатації підтверджена дослідженнями для повітряних ВОЛЗ (ПВОЛЗ) в кліматичних умовах причорноморського кліматичного району (в Одеській області);

- розробка способу визначення параметрів оцінки технічного стану елементів ВОЛЗ ділянки регенерації ВОСП підтверджена на лінійних спорудах в Закарпатській, Донецькій та Одеській областях;

- розробка методів забезпечення надійності лінійних споруд ВОЛЗ комплектами ЗІП підтверджена дослідженнями пошкоджень фрагмента ЕКМ зв'язку в Одеській області, що дозволило виконати корекцію ефективності розміщення запасних частин по мережі нерівномірно розташованих та наближених до ділянок з найбільшою пошкоджуваністю;

- отримані нові теоретичні матеріали повністю узгоджуються з експериментальними даними, гармонійно розвивають теоретичні положення та

практичні здобутки;

– матеріали дисертації доповідалися і обговорювалися на 26 науково-технічних конференціях, переважно міжнародних, та семінарах.

**Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі.** Наукова новизна одержаних результатів роботи з розробки методів, способів та підходів до забезпечення надійності ВОЛЗ полягає у наступному:

1. Запропонований комплексний підхід до вирішення проблеми забезпечення надійності ВОЛЗ під час проектування та експлуатації.

2. Розвинуто теорію розробки оптимальних за геометричними параметрами та економічною собівартістю багатомодульних конструкцій сучасних ОК.

3. Розвинуто теорію забезпечення надійності ВОЛЗ на етапах виробництва ОК та її будівництва.

4. Розвинуто теорію підходів до визначення показників експлуатаційної надійності підземних ліній зв'язку ВОСП з метою забезпечення норм надійності на етапах проектування та експлуатації.

5. Розроблені методи контролю технічного стану елементів ВОЛЗ при експлуатації.

6. На основі вперше розроблених методів запропоновані підходи до забезпечення надійності ВОЛЗ комплектами запасних частин, інструментів та приладдя.

**Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях.** Основні результати, які отримані в дисертаційній роботі, опубліковано в 50 наукових публікаціях, в тому числі: 2 колективні монографії, 21 стаття у фахових виданнях, рекомендованих МОН України для опублікування наукових праць здобувачів та 26 матеріалах і тезах доповідей на конференціях. Опубліковані праці повністю висвітлюють матеріали дисертаційної роботи.

Основні результати дисертаційної роботи здобувача пройшли всебічну апробацію на значному числі семінарів та конференцій, в тому числі міжнародних і дістали схвалення провідних спеціалістів.

Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, висвітлює всі отримані результати, зроблені висновки та запропоновані рекомендації.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам.** Дисертація написана сучасною науково-технічною мовою, послідовно та логічно. Оформлення дисертації відповідає вимогам, що пред'являються до дисертаційних робіт, та вимогам Постанови КМУ від 24.07.2013 р. за № 567, а також змінами і доповненнями до цієї Постанови. Автореферат достатньо повно та ідентично розкриває зміст дисертації. Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

## **Важливість для науки і підприємств господарства країни одержаних результатів та шляхи їх використання.**

1. Розвиток теорії забезпечення надійності сучасних ВОЛЗ або ВОСП на етапах життєвого циклу дозволив:

- розробити рекомендаційні матеріали для проєктантів та лінійного персоналу підприємств зв'язку на основі отриманих значень середніх експлуатаційних показників якості роботи ВОЛЗ: інтенсивності відмов ( $\lambda$ ), її максимальних та мінімальних значень ( $\lambda_{\text{макс}}$ ,  $\lambda_{\text{мін}}$ ), середнього часу відновлення зв'язку ( $t_{\text{счвз}}$ ) ТЕКМ зв'язку для кліматичних районів країни за 13-річний період. Це можливо використовувати до виходу державних стандартів;

- оптимізувати показники надійності ВОЛЗ або ВОСП при проєктуванні та експлуатації і розробку рекомендацій щодо мінімізації ризику їх пошкоджень та забезпечення норм показників надійності в життєвому циклі.

2. Практичне значення виконаних автором розробок в галузі зв'язку та кабельної техніки щодо:

- удосконалених теоретичних підходів з обґрунтованого вибору та оптимізації конструкції кабелю на етапі проєктування ВОЛЗ можливо використовувати для уточнення чинної нормативної документації з проєктування ліній зв'язку;

- здійснення структурної та параметричної оптимізації модульних конструкцій кабелів, що покращує доцільність їх вибору, технічну та економічну ефективність. Важливість останнього пояснюється повною відсутністю науково-дослідних установ кабельної промисловості.

3. Метою розробленого методу оцінки термомеханічного впливу умов експлуатації на геометричні розміри і параметри осердя ОК, який відмінний від наявних тим, що враховує відносні зміни довжин ОВ та кабелю при дії температури, що дозволяє оцінити на етапі проєктування ВОЛЗ зміни механічних параметрів кабелю при його експлуатації.

4. Особливі практичні значення для підприємств експлуатації лінійних споруд або ВОСП у цілому мають:

- метод контролю механічного стану оптичного волокна ДСОК при експлуатації, який відмінний від наявних встановленим зв'язком фактичної механічної напруги в конструкції ДСОК, що виникає під дією фізико-кліматичних впливів умов підвішування кабелю, та відносного видовження ОВ. Це 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 ЗПП за:

- а) відстанню між вузлами та інтенсивністю відмов;

- б) сумарним часом відновлення зв'язку та коефіцієнтом готовності ВОСП.

5. Одержані в результаті виконаного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень математичні співвідношення, методи та математичні моделі дозволили розвинути теорію та методи оптимізації забезпечення надійності ВОЛЗ, що підтверджено актами впровадження

результатів дисертаційної роботи у:

1) Роботі лабораторії випробувального центру ДП «ОНДІЗ» в галузі волоконної оптики. До таких результатів відносяться: а) метод контролю ймовірнісних показників надійності лінійних споруд ВОЛЗ при початковому етапі експлуатації; б) спосіб визначення параметрів оцінки технічного стану елементів ВОЛЗ ділянки регенерації ВОСП за загасанням сигналу; в) реалізована 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 та апаратури ВОСП 30/120. Контроль технічного стану її лінійних споруд дозволив покращити технічне обслуговування.

2) Роботі регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця». До таких результатів відносяться: а) метод оцінки температурного впливу умов експлуатації ВОЛЗ на геометричні розміри та параметри конструкції ОК, взятий за основу при виборі марки та оцінки механічних характеристик кабелю на етапі проектування лінії; б) теоретичні розробки та практичні рекомендації при проектуванні ПВОЛЗ на опорах контактної мережі транспортної залізниці між станціями Одеса Головна та Пересип з використанням кабелю ОКЛ-3-Д2А-14 для умов експлуатації Причорноморської кліматичної зони.

3) Роботі Львівської філії АТ «Укртелеком». До таких результатів відносяться: а) методи вибору оптимальної конструкції ОК за масогабаритними та економічними показниками при проектуванні ВОЛЗ, що було взято за основу при забезпеченні одночасно технічної та економічної ефективності лінії, особливо, в умовах браку місця в міській кабельній каналізації; б) 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. До таких результатів відносяться: а) метод контролю технічного стану лінійних споруд ВОЛЗ при експлуатації в різних географічних та кліматичних умовах; б) практичні рекомендації з оцінки ймовірнісних показників надійності лінійних споруд ВОЛЗ.

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 монографії, проведенні лекційних, практичних та лабораторних занять ряду дисциплін.

Результати досліджень, пов'язаних з проблемою забезпечення високої надійності ВОЛЗ та її елементів, увійшли до складу 9 науково-технічних звітів низки науково-дослідних робіт.

**Зауваження до дисертаційної роботи.** В цілому оформлення дисертації та автореферату відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць. Необхідно зауважити:

1. У пункті 1.4.2. дисертаційного дослідження проведено аналіз сучасного стану підходів щодо розрахунку конструкцій ОК. Доцільно було б навести порівняльний аналіз переваг та недоліків зазначених підходів.

2. Проведені теоретичні дослідження з забезпечення надійності ВОЛЗ необхідно було б перевірити не тільки на базі оптимальних за геометричними параметрами та економічної ефективністю ОК, але і на інших елементах лінійних споруд лінії (муфт, пігтейлів, патчкордів та кінцевих пристроїв).

3. У другому розділі роботи розроблено методи багатокритеріальної оптимізації модульних конструкцій оптичних кабелів. Проте доцільно було б провести дослідження, яким чином це вплине на ефективність роботи інших елементів ВОЛЗ.

4. Метод контролю механічного стану оптичних волокон діелектричного самоутримного оптичного кабелю при експлуатації на повітряних волоконно-оптичних лініях зв'язку пройшов перевірку тільки в умовах причорноморського кліматичного району. Проте доцільно було б провести дослідження і в інших кліматичних районах.

Зазначені зауваження не зменшують наукового рівня та цінності дисертаційної роботи в цілому та не ставлять під сумнів отримані в ній наукові результати.

#### **Загальні висновки.**

1. Дисертаційна робота Степанова Дмитра Миколайовича є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, важливі на сучасному етапі для подальшого розвитку ТЕКМ зв'язку і різних варіантів ліній абонентського доступу і вдосконалених технологічних та економічних концепцій. В роботі викладено науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні дослідження, спрямовані на розробку методів, способів та підходів з забезпечення надійності ВОЛЗ, як найбільш вразливої пошкодженнями складової ВОСП.

2. Дисертація відповідає спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

3. Матеріали дисертації достатньо апробовані, доповідались на українських і міжнародних конференціях, висвітлені в 50 наукових публікаціях, з них 2 колективні монографії, 21 стаття у фахових виданнях, що відповідають вимогам МОН України, 26 матеріалів і праць конференцій, 1 патент на корисну модель.

4. Автореферат об'єктивно і з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації.

5. Структура дисертації (поділ на розділи та підрозділи) є обґрунтованою.

6. Наведені зауваження не змінюють загальну позитивну оцінку наукової значимості та практичної цінності дисертаційної роботи.

7. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертація 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

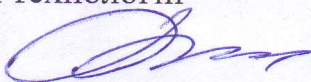
постановами Кабінету міністрів України № 656 від 19.08.2015, №1159 від 30.12.2015, №567 від 27.07.2016 №943 від 20.11.2019, №607 від 15.07.2020), які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційних систем та мереж.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри комп'ютерних наук

Державного університету

інформаційно-комунікаційних технологій



Віктор ВИШНІВСЬКИЙ

Підпис д.т.н., професора Вишнівського Віктора Вікторовича засвідчую

Підпис

*В. Вишнівського*

ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар

Державного університету

інформаційно-комунікаційних технологій



*Т. Ємева*