

СТАТИСТИЧНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

THE STATISTICAL DATA FOR COLCULATION OF RELIABILITIES PARAMETERS OF UNDERGROUND OPTICAL FIBRE COMMUNICATION LINES

Анотація. У роботі отримані статистичні дані середньої інтенсивності відмов і середнього часу відновлення волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) за результатами збирання, оброблення і аналізу їх пошкоджень протягом п'яти років експлуатації в різних кліматичних районах України.

Аннотация. В данной работе получены статистические данные средней интенсивности отказов и среднего времени восстановления подземных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) по результатам сбора, обработки и анализа их повреждений на протяжении пяти лет эксплуатации в разных климатических районах Украины.

Summary. In this project statistical data is obtained concerning the average failure rate and the average recovery time of underground fiber-optic communication lines (FOLC) as a result of collection, processing and analysis of their malfunctions during five years of operation in different climatic regions of Ukraine.

Необхідність розрахунку надійності кабельних ВОЛЗ виникає з різних причин: для визначення надійності роботи кабельної магістралі з метою виявлення її відповідності поставленим до неї вимог, для порівняльної оцінки якості роботи окремих магістралей, якості роботи різних типів кабелів у певних умовах, для виявлення очікуваної надійності заново проєктованих магістралей тощо.

У свою чергу розрахунок параметрів надійності діючих чи проєктованих ВОЛЗ стає можливим на основі збирання й оброблення експлуатаційних статистичних даних про кількість, характер та причини їхніх пошкоджень. Ці дані дозволяють встановити три основні показники надійності: щільність пошкоджень, середню довготривалість пошкоджень і час переривання зв'язку.

У початковий період використання ВОЛЗ, до 2010 року, в Росії та в ряді інших країн СНД поки що не отримані достовірні показники надійності ВОЛЗ [1]. Крім того, навіть їх використання для різних кліматичних районів України є недопустимими.

Нині в технічній літературі відсутні вихідні матеріали для розрахунку надійності кабельних ВОЛЗ України.

Метою даної роботи є отримання вихідних даних для розрахунку параметрів надійності ВОЛЗ на основі оброблення статистичних значень інтенсивності відмов та часу відновлення кабельних ВОЛЗ транспортних телекомунікаційних мереж України.

Для численного вираження надійності ВОЛЗ доводиться використовувати різноманітні характеристики, сукупність яких дозволяє найбільш повно оцінити її надійність як системи чи оптичного кабелю (ОК) як виробу. Надійність кабельної лінії, що буде в експлуатації, залежить не тільки від якості кабелю, але також від якості усіх інших пристроїв та елементів, що входять до її складу [2]. Значною мірою надійність ВОЛЗ залежить від якості її проєктування, будівництва, монтажу й експлуатаційного обслуговування. Так, наприклад, надійність захисту кабелю від зовнішніх електромагнітних впливів залежить від цілого ряду факторів: розташування траси по відношенню до джерел завад, провідності ґрунту, глибини закладки кабелю, додаткових захисних пристроїв, встановлених на лінії і т.п. Наведений приклад показує, що якщо для кабелю характеристика надійності, з точки зору захисту від зовнішніх завад, може бути надана відносно просто, то для кабельної лінії електрозв'язку доводиться мати справу з більш значними труднощами. Ці труднощі пов'язані з тим, що характеристики надійності лінії залежать від значно більшого числа факторів, які ускладнюють чисельне вираження надійності.

Основною особливістю підземних кабельних ліній електрозв'язку, що відрізняє їх від інших технічних пристроїв волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) і, зокрема, від апаратури, є їхня велика довжина та залежність режиму роботи від місцевих умов експлуатації, а також від легкої

доступності несанкціонованому доступу зловмисників. Різноманітні умови місцевості, що впливають на режим роботи ВОЛЗ, призводять до необхідності застосування на окремих її ділянках різних конструкцій кабелю та різних методів його прокладки.

Як правило, в зонах за межами населених пунктів прокладається броньований кабель безпосередньо у ґрунті або неброньований (полегшеної конструкції) кабель в поліетиленовій трубі. В населених пунктах є можливим застосування як броньованих кабелів для прокладки в ґрунті або в кабельній каналізації, так і неброньованих кабелів для прокладки в кабельній каналізації та у субканалах кабельної каналізації.

Для однієї й тієї самої місцевості умови роботи підземних кабелів суттєво залежать від пори року, що вносить помітну нерівномірність розподілу пошкоджень протягом року, з чим слід рахуватися при оцінці їх надійності.

При оцінці надійності ОК в залежності від місця прокладки їх групують за типами.

Для обліку впливу кліматичних умов на надійність роботи підземних ВОЛЗ транспортних телекомунікаційних мереж територію України умовно можливо поділити на три райони:

- 1) гірські райони Карпат;
- 2) рівнинні;
- 3) узбережжя Чорного та Азовського морів.

У даній роботі для кожного з перелічених районів України наведені отримані в рамках науково-дослідної роботи ОНАЗ середньостатистичні характеристики надійності (інтенсивність відмов (λ) та час відновлення ($t_{сч}$) кабельних ліній електрозв'язку). Результати цієї роботи надані в проекті Рекомендаційного документа ВАТ «Укртелеком» – «Визначення показників надійності проєктованих волоконно-оптичних ліній зв'язку».

Згідно до [2, 3] інтенсивність відмов при пошкодженнях або аваріях ВОЛЗ на 1 кілометр траси за 1 годину визначається із виразу:

$$\lambda = \frac{m}{8760 \cdot 100}, \quad (1)$$

де λ – інтенсивність відмов на 1 км траси ВОЛЗ, 1/год; m – щільність пошкоджень або аварій ВОЛЗ, що припадає на 100 кілометрів траси за рік; 8760 – кількість годин в одному році; 100 – довжина лінії в км, на якій визначається m .

Ця щільність відмов згідно з [2,3] може бути надана формулою:

$$m = \frac{N}{L} \cdot 100, \quad (2)$$

де N – кількість відмов на ВОЛЗ протягом року; L – довжина лінії, км.

З урахуванням (1) та (2) інтенсивність відмов на 1 км траси ВОЛЗ за 1 годину подається у вигляді:

$$\lambda = \frac{N}{8760 \cdot L}. \quad (3)$$

Середній час відновлення зв'язку згідно до [2, 3] визначається із виразу:

$$t_{сч} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{vi}}{N}, \quad (4)$$

де $t_{сч}$ – середній час відновлення зв'язку, год; t_{vi} – час відновлення зв'язку при i -му пошкодженні (аварії), год; N – кількість відмов на ВОЛЗ протягом заданого часу.

Для обліку конструктивних особливостей кабелів, відповідно до сучасних типів підземних кабельних ВОЛЗ транспортних телекомунікаційних мереж, при оцінці надійності кабелі підрозділяються на дві групи: без металевих елементів (діелектричні волоконно-оптичні кабелі) та з металевими елементами (оболонка, броня, жили дистанційного живлення, силові елементи).

Як відзначалось раніше, спостереження показують, що кількість пошкоджень на кабельних лініях значно залежить від пори року та кліматичних умов місцевості, по якій вона проходить. Як правило, найбільше число пошкоджень припадає на весняно-літній період. Це пояснюється великою кількістю земляних робіт, що виконуються в зонах прокладки лінії, струмами блискавки, розмивами ґрунту тощо [2]. В осінньо-зимовий період число таких робіт природньо зменшується.

Як приклад в табл. 1 наданий розподіл пошкоджень з перервою зв'язку ВОЛЗ на базі кабелю типу ОКЛБг, що експлуатується в Донецькій та Луганській областях (рівнинний район). Цей розподіл пошкоджень наданий за місяцями 2001...2005 років.

Таблиця 1 – Розподіл пошкоджень ВОЛЗ з перервою зв'язку за окремими місяцями за 2001...2005 роки

| Рік | Кількість пошкоджень з перервою зв'язку за місяцями | | | | | | | | | | | |
|------|---|-------|----------|---------|---------|---------|--------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | Січень | Лютий | Березень | Квітень | Травень | Червень | Липень | Серпень | Вересень | Жовтень | Листопад | Грудень |
| 2001 | - | 1 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - |
| 2002 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - |
| 2003 | - | - | - | 1 | - | 2 | - | - | - | 1 | - | - |
| 2004 | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - |
| 2005 | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 | - | - | - |

Результати розподілу пошкоджень за місяцями цих років показали, що число відмов у весняно-літній період складає – 8, а в осінньо-зимовий – 2.

Загальна уява про питому вагу відмов ВОЛЗ з перервою зв'язку з різних причин у відсотках від загального числа відмов на транспортній телекомунікаційній мережі України ще не визначена повною мірою. Таке положення значною мірою пояснюється, з одного боку, порівняно пізнім розвитком в Україні ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної мережі та швидким темпом їх зростання, а з іншого – трудомісткістю робіт по збиранню, обробленню й аналізу експлуатаційних статистичних даних. Попереднє спостереження за питоною вагою відмов ВОЛЗ цієї мережі з 2001 року по 2005 рік показало, що найбільше число відмов за рахунок пошкоджень та аварій з'явилося через дію зловмисників (рис. 1). Звісно, що на окремих кабельних лініях електрозв'язку в різні роки відсотки пошкоджень з різних причин можуть суттєво відрізнятися.

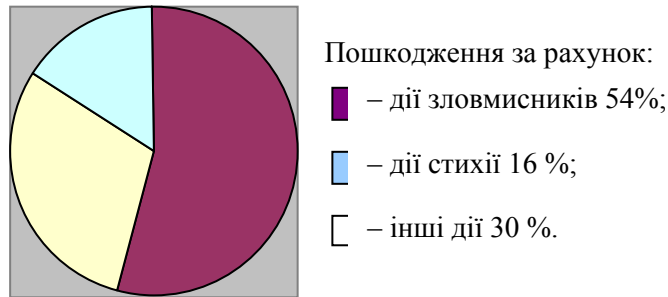


Рисунок 1 – Розподіл питоми ваги пошкоджень на ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної мережі зв'язку України, що сталися з 2001 року по 2005 рік

На основі статистичних даних, отриманих за п'ять років, на рис. 2 та 3 як приклад надані графіки щільності пошкоджень, часу відновлення зв'язку та часу повного усунення пошкоджень ВОЛЗ, реалізованих на броньованих ОК типу ОКЛБг у Донецькій та Луганській областях.

Усереднені значення щільності пошкоджень, часу відновлення зв'язку та часу повного усунення пошкоджень за п'ять років експлуатації ВОЛЗ в Донецькій та Луганській областях складають, відповідно: $m'_c = 4,93$; $t'_{св} = 3,29$ год; $t'_{спв} = 16,32$ год.

У зв'язку з вище наведеним, розрахунок надійності кабельних ліній електрозв'язку необхідно виконувати не тільки згідно з середньорічними, але й згідно з максимальними та мінімальними показниками λ .

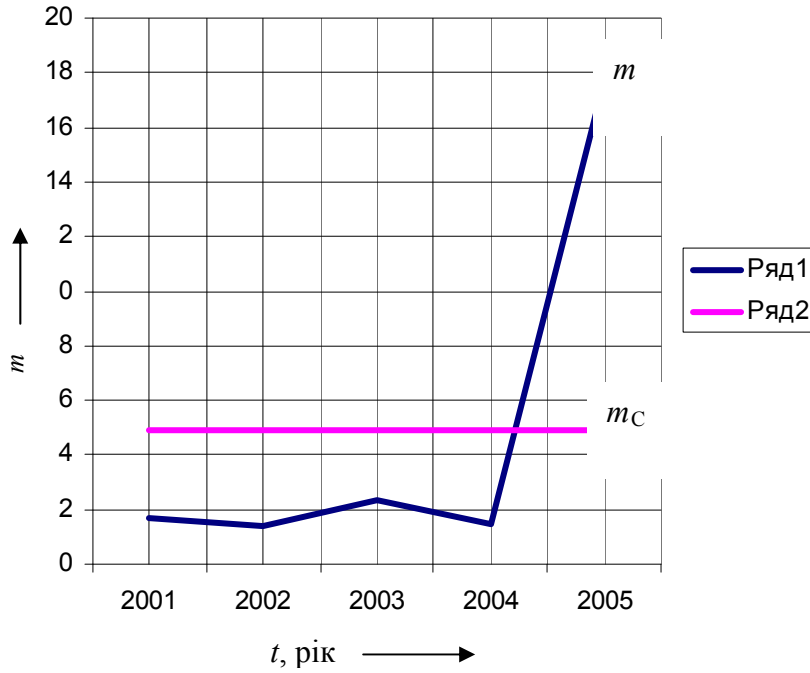
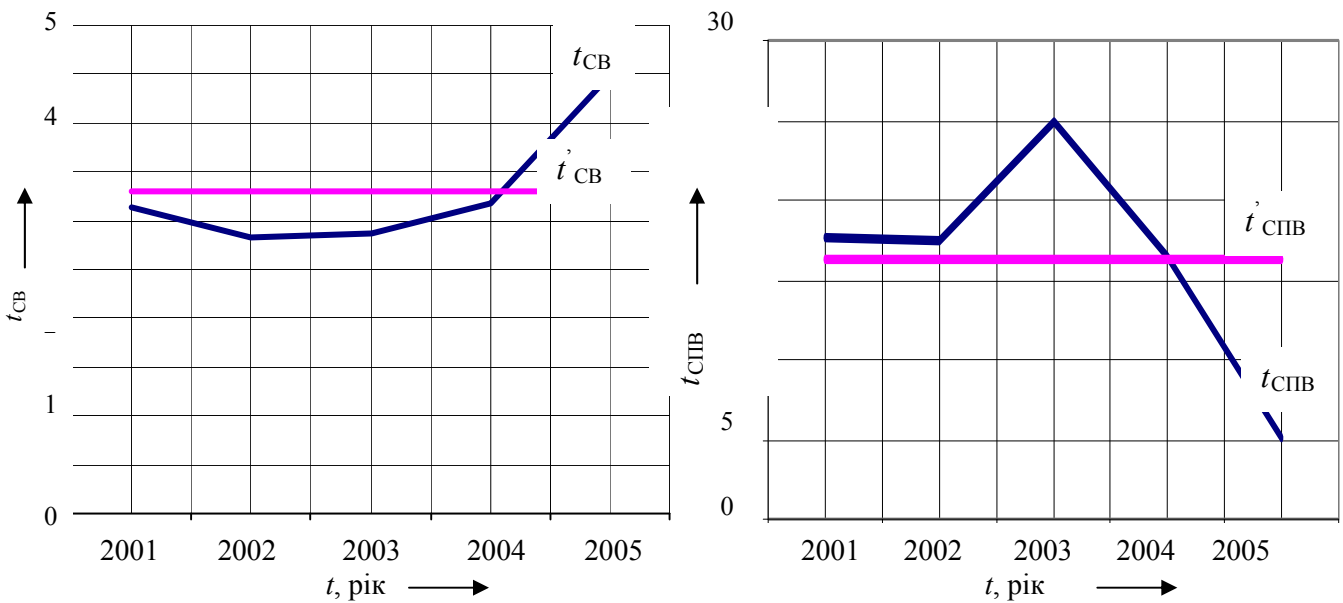


Рисунок 2 – Середня щільність пошкоджень ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної мережі по Донецькій та Луганській областях



а)

б)

Рисунок 3 – Середні значення параметрів надійності, отриманих на ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної мережі по Донецькій та Луганській областях:
а) часу відновлення зв'язку; б) часу повного усунення пошкоджень

У даній роботі по виразу (1) виконані розрахунки середньорічної (λ), максимальної (λ_{\max}) та мінімальної (λ_{\min}) інтенсивностей відмов на основі обробки даних пошкоджень ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної первинної мережі України за п'ятирічний термін з 2001 року по 2005 рік.

За виразами (2) та (4) виконані розрахунки m та $t_{\text{сч}}$.

Значення λ , λ_{\max} , λ_{\min} та $t_{\text{сч}}$, наведені в цій роботі, слід розглядати як деякі вихідні, які за мірою набору статистичних даних будуть уточнюватися.

В табл. 2 наведені середні значення цих показників окремо для броньованих кабелів (без поділу за типами броні), які прокладені у ґрунті, та неброньованих кабелів, прокладених у ґрунті та у субканалі. Через недостатність статистичних даних ці значення наведені тільки для двох районів України: рівнинних і узбережжя Чорного та Азовського морів.

Таблиця 2 – Середні значення інтенсивності відмов на 1 км траси та середнього часу відновлення зв'язку для броньованих та неброньованих підземних ОК

| Район України | Інтенсивність відмов на 1 км траси ($\lambda \cdot 10^{-7}$, 1/год) та середній час відновлення зв'язку ($t_{\text{сч}}$, год) для: | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|------------------|------------------|-----------------|--|------------------|------------------|-----------------|
| | броньованого кабелю у ґрунті | | | | неброньованого кабелю у полімерній трубі (субканалі) | | | |
| | λ | λ_{\max} | λ_{\min} | $t_{\text{сч}}$ | λ | λ_{\max} | λ_{\min} | $t_{\text{сч}}$ |
| Гірські райони Карпат | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Рівнинні | 18,90 | 32,30 | 5,49 | 3,52 | 15,30 | 26,80 | 3,68 | 3,71 |
| Узбережжя Чорного та Азовського морів | 9,22 | 13,90 | 4,54 | 3,85 | 7,45 | 11,40 | 3,52 | 4,93 |

В табл. 3 наведені вище вказані показники надійності кабелів, прокладених у ґрунті і в субканалах в різних районах України та по всій Україні в цілому без поділу кабелів за броньовими покриттями.

Таблиця 3 – Середні значення інтенсивності відмов на 1 км траси та середнього часу відновлення зв'язку для підземних ОК

| Район України | Інтенсивність відмов на 1 км траси ($\lambda \cdot 10^{-7}$, 1/год) та середній час відновлення зв'язку ($t_{\text{сч}}$, год) | | | |
|---------------------------------------|--|------------------|------------------|-----------------|
| | λ | λ_{\max} | λ_{\min} | $t_{\text{сч}}$ |
| Гірські райони Карпат | 23,80 | 30,40 | 17,10 | 4,03 |
| Рівнинні | 17,40 | 29,40 | 5,33 | 6,65 |
| Узбережжя Чорного та Азовського морів | 8,72 | 13,30 | 4,15 | 4,37 |
| уся територія України | 14,70 | 23,80 | 5,60 | 3,86 |

Таким чином, отримані в цій роботі статистичні дані показників надійності ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної мережі України дозволяють виконувати орієнтовні розрахунки надійності кабельних ліній, порівнювати різні типи кабельних ліній поміж собою тощо. У разі виявлення необхідності підвищення надійності ВОЛЗ це дає можливість намітити відповідні заходи щодо її підвищення за рахунок розробки практичних рекомендацій щодо мінімізації ризику пошкоджень та забезпечення норм показників надійності.

Виконані в даній роботі дослідження показників надійності ВОЛЗ дозволяють встановити що:

1. Наведені середні значення інтенсивності відмов та середнього часу відновлення зв'язку ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної мережі, отримані на базі статистичних даних за 5 років експлуатації броньованих та неброньованих ВОК в різних районах України, можуть бути використані як деякі вихідні дані для розрахунків параметрів надійності проєктованих ВОЛЗ, та при порівнянні різних кабельних ліній поміж собою тощо.

2. Наведені значення λ , $t_{сч}$ ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної мережі (табл. 2 та табл. 3) можуть служити основою для розрахунків параметрів надійності ВОЛЗ та розробки практичних рекомендацій щодо мінімізації ризику пошкоджень і забезпечення норм показників надійності ВОЛЗ.

3. Значення λ та $t_{сч}$ наведені в табл. 2 та 3, потребують подальшого уточнення внаслідок збирання статистичних даних при експлуатації ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної мережі України.

Література

1. *Алексеев Е.Б.* Основы проектирования и технической эксплуатации цифровых волоконно-оптических систем передачи: учебное пособие/ Алексеев Е.Б. – М.: ЧПК МТУСИ, 2004. – 120 с.
2. *Гуревич А.С.* Надёжность кабелей связи/ А.С. Гуревич, Н.Д. Курбатов. – М.: Связь, 1968. – 136 с.
3. *Гроднев И.И.* Линейные сооружения связи: учебник для вузов / И.И. Гроднев, Н.Д. Курбатов. – М.: Связь, 1974. – 544 с.