

*Бондаренко О.В., Костік Б.Я., Кіфоруку С.В., Степанов Д.М., Слободянюк І.А.  
Бондаренко О.В., Костік Б.Я., Кіфоруку С.В., Степанов Д.Н., Слободянюк І.А.  
Bondarenko O.V., Kostik B.Y., Kiforuk S.V., Stepanov D.M., Slobodianiuk I.A.*

## КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ В РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

## QUANTITATIVE INDICATORS OF RELIABILITY OF FIBER-OPTICAL COMMUNICATION LINES IN DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS

**Анотація.** В даній статті надано результати експлуатаційних досліджень надійності роботи підземних волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ), що експлуатуються в різних кліматичних умовах України, на основі обробки статистичних даних про кількість, причину і характер пошкоджень. Дослідження проведені для ВОЛЗ на броньованих та неброньованих кабелях в умовах Донецької (рівнинна частина), Львівської (гірська частина) та Одеської (причорноморська частина) областей за період з 2001 по 2010 роки, а також виконано порівняння аналогічних показників, отриманих за період експлуатації з 2001 по 2005 рік.

**Аннотация.** В данной статье приводятся результаты эксплуатационных исследований надежности работы подземных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), эксплуатирующихся в различных климатических условиях Украины, на основе обработки статистических данных о количестве, причине и характере повреждений. Исследования проведены для ВОЛС на бронированных и небронированных кабелях в условиях Донецкой (равнинная часть), Львовской (горная часть) и Одесской (причерноморская часть) областей за период с 2001 по 2010 годы, а также выполнено сравнение аналогичных показателей, полученных за период эксплуатации с 2001 по 2005 год.

**Summary.** In this work, given the results of operational research reliability of underground fiber-optic communication lines (FOCL), operating in different climatic conditions of Ukraine, on the basis of statistical data on the number, nature and cause of the damages. Research implemented for armored and non-armored optic cables in conditions of Donetsk (plain region), Lviv (mountain region) and Odessa (Black Sea region) regions from 2001 to 2010, and also performed a comparison of similar data, taken during the period of operation from 2001 to 2005.

Забезпечення надійності та безперервності роботи волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) є безсумнівно актуальним і вимагає визначення параметрів (критеріїв) надійності її складових елементів. До одного з таких важливих складових елементів відносяться ВОЛЗ, які вносять до 95 % усіх пошкоджень у ВОСП [1]. У свою чергу, ВОЛЗ перебувають у різноманітних кліматичних умовах місцевості, що приводить до необхідності застосування на окремих її ділянках різних конструкцій оптичних кабелів (ОК), кабельних муфт, нерознімних з'єднань оптичних волокон (ОВ) та інших елементів лінійних споруд (ЛС). Тобто, надійність волоконно-оптичних ліній зв'язку залежить не тільки від якості їх елементів, методів проектування, будівництва, монтажу, але й від кліматичних умов місцевості експлуатації [2, 3].

Саме тому, для кількісної оцінки надійності ВОЛЗ доводиться використовувати різноманітні характеристики, сукупність яких дозволяє найбільш повно визначити її надійність як системи або, наприклад, оптичного кабелю як виробу. Як правило, на практиці визначають не всі параметри надійності, а лише ті, що визначаються умовами експлуатації.

Розрахунок параметрів надійності діючих або проєктованих волоконно-оптичних ліній зв'язку стає можливим на основі збирання та оброблення експлуатаційних статистичних даних про час, тривалість, кількість, характер та причини їх пошкоджень. Ці дані дозволяють встановити, у першу чергу, середньостатистичні кількісні показники надійності ВОЛЗ [1, 2, 4]:

1. У випадку перерви зв'язку: щільність пошкоджень з перервою зв'язку ( $m$ ), середній час відновлення зв'язку ( $t_{\text{вс}}^{\text{ср}}$ ) та середній час повного усунення пошкодження ( $t_{\text{вс}}^{\text{ср}}$ ).

2. У випадку пошкоджень без перерви зв'язку (несправність): щільність пошкоджень без перерви зв'язку ( $M$ ) та середній час повного усунення пошкодження ( $t_{\text{вс}}^{\text{ср}}$ ).

Використовуючи вищенаведені показники надійності ВОЛЗ можна визначити інші кількісні

показники надійності, зокрема: інтенсивність відмов ( $\lambda$ ), час напрацювання на відмову  $O_0$  та коефіцієнт готовності  $E_a$ .

Наразі в низці робіт, наприклад [2 – 4], наведені та обґрунтовані підходи до визначення статистичних показників якості роботи волоконно-оптичних ліній зв'язку. В роботі [1, 2] наведені експлуатаційні показники якості роботи ( $m$ ,  $t_{ac\ddot{a}\delta}$ ,  $t_{\dot{\iota}\sigma\tau\eta\alpha\delta}$ ) та інтенсивність відмов ( $\lambda$ ) за п'ятирічний термін експлуатації з 2001 року по 2005 рік підземних ВОЛЗ на базі броньованих та неброньованих оптичних кабелів, що прокладені в Донецькій та Луганській областях. В [1, 2] вказано, що ці дані можливо використовувати у першому наближенні для розрахунку кількісних показників надійності підземних ВОЛЗ Донецької, Луганської областей. Проте також вказано, що достовірність цих кількісних характеристик, що характеризують надійність ВОЛЗ, не є остаточною, оскільки потребує збирання та аналізу статистичних даних про кількість, причини та характер пошкоджень ВОЛЗ за більш тривалий час.

Останнє має велике значення, тому що на сьогодні у технічній та науковій літературі відсутні вихідні матеріали з інтенсивності відмов, часу напрацювання на відмову для розрахунку кількісних показників надійності ВОЛЗ у різних кліматичних умовах України.

Тому, **метою даної статті** є отримання більш достовірних кількісних характеристик надійності підземних ВОЛЗ на основі оброблення статистичних даних їх експлуатації без та з перервою зв'язку, наприклад, в Донецькій, Львівській та Одеській областях за більший період часу, а саме за десятирічний термін – (2001 – 2010) роки.

При оцінці надійності ВОЛЗ в залежності від місця прокладання їх групують за типами: броньовані, що прокладаються безпосередньо в ґрунті поза межами міста або в міській кабельній каналізації, та неброньовані, що прокладаються в захисній поліетиленовій трубіці [2]. Як правило, поза межами населених пунктів прокладається броньований кабель безпосередньо у ґрунті або неброньований кабель в поліетиленовій захисній трубіці. В населених пунктах є можливим застосування як броньованих кабелів для прокладання в ґрунті або в кабельній каналізації, так і неброньованих кабелів для прокладання в кабельній каналізації.

Згідно з [1, 2, 4] в табл. 1 наведені вирази розрахунку кількісних показників надійності ВОЛЗ.

Облік та аналіз часу відновлення зв'язку та повного усунення пошкодження дозволяють виявити причини, що ускладнюють ліквідацію пошкоджень та визначити заходи по їх усуненню. За цими характеристиками можна зробити висновки про покращення або погіршення роботи ВОЛЗ. Аналіз характеру та причин відмов і несправностей дає можливість вжити відповідні заходи по їх зменшенню та скороченню часу їх ліквідації.

В даній статті за виразами (1)...(7) виконані розрахунки експлуатаційних показників надійності роботи ВОЛЗ з перервою та без перерви зв'язку на основі оброблення статистичних даних пошкоджень транспортної телекомунікаційної первинної мереж зв'язку України (ТПМЗ) в Донецькій, Львівській та Одеській областях, які відносяться відповідно до різних кліматичних районів країни, за десятирічний термін з 2001 року по 2010 рік. Результати даних розрахунків наведені в табл. 2.

Як видно з табл. 2, у випадку наявності пошкоджень значення інтенсивності відмов та середнього часу відновлення зв'язку, отриманих за період з 2001 по 2010 рік, менші, ніж аналогічні параметри, отримані за 2001 – 2005 роки. Так, інтенсивність відмов зменшилася у гірських районах України – на 41,8 %, у рівнинних районах – на 57,4 %, у причорноморських районах – на 25,4 %. Значення середнього часу відновлення зв'язку зменшилося у гірських районах України – на 29 %, у рівнинних районах – на 30,6 %, у причорноморських районах – на 17,2 %. Значення середнього часу повного усунення пошкодження у гірських районах України – зменшилася на 40,2 %, у рівнинних районах – збільшилося на 10 %, у причорноморських районах – зменшилася на 28 %.

На рис. 1 представлено графіки інтенсивності відмов з перервою зв'язку  $\lambda$ , середнього часу відновлення зв'язку  $t_{\alpha\eta\alpha\delta}$  ВОЛЗ вказаних областей за періоди (2001 – 2005) роки та (2001 – 2010) роки.

Таблиця 1 – Вирази розрахунку кількісних показників надійності ВОЛЗ

Назва кількісного показника	Кількісні показники надійності
-----------------------------	--------------------------------

надійності	при пошкодженнях ВОЛЗ з перервою зв'язку	при пошкодженнях ВОЛЗ без перерви зв'язку
Щільність відмов з перервою зв'язку, 1/ (рік·км)	$m = \frac{N}{kL} \cdot 100, \quad (1)$	$M = \frac{H}{kL} \cdot 100, \quad (6)$
Інтенсивність відмов $\lambda$ , 1/год	$\lambda = \frac{m}{8760 \cdot 100}; \quad (2)$ $\lambda = \frac{N}{8760 \cdot L}. \quad (3)$	–
Середній час відновлення зв'язку, год	$t_{\text{вн}} = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N t_{\text{вн}}^s, \quad (4)$	–
Середній час повного усунення пошкодження, год	$t_{\text{вн}}^i = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N t_{\text{вн}}^i, \quad (5)$	$t_{\text{вн}}^{\text{вн}} = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N t_{\text{вн}}^{\text{вн}}, \quad (7)$

**Примітка.** У виразах прийняті такі позначення:  $N$  – кількість відмов з перервою зв'язку на ВОЛЗ протягом року;  $k$  – кількість років, за яких відбулося  $N$  пошкоджень;  $L$  – довжина лінії, км;  $H$  – кількість відмов без перерви зв'язку на ВОЛЗ протягом року; 8760 – кількість годин в одному році; 100 – довжина лінії в км, на якій визначається  $m$ ;  $t_{\text{вн}}$  – середній час відновлення зв'язку, год;  $t_{\text{вн}}^s$  – час відновлення зв'язку при  $i$ -му пошкодженні (аварії), год;  $t_{\text{вн}}^i$  – середній час повного усунення пошкодження з перервою зв'язку, год;  $t_{\text{вн}}^{\text{вн}}$  – середній час повного усунення пошкодження без перерви зв'язку, год;  $t_{\text{вн}}^i$  – час усунення пошкодження при  $i$ -му пошкодженні з перервою зв'язку (аварії), год;  $t_{\text{вн}}^{\text{вн}}$  – час усунення пошкодження при  $i$ -му пошкодженні без перерви зв'язку, год.

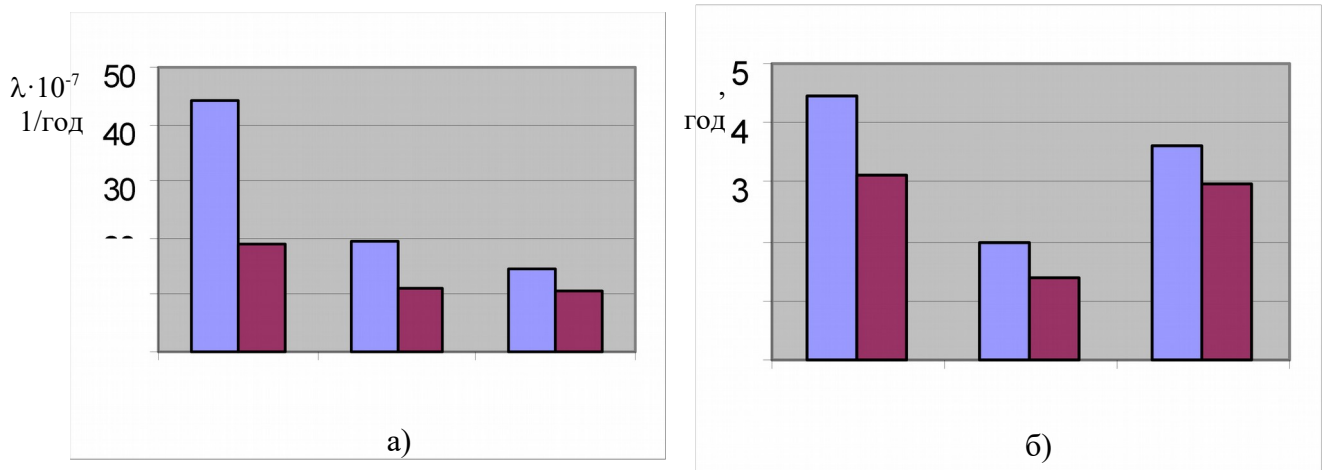


Рисунок 1 – Графіки інтенсивності відмов  $\lambda$  (а), середнього часу відновлення зв'язку  $t_{\text{вн}}$  (б) ВОЛЗ: 1 – Донецької, 2 – Львівської, 3 – Одеської областей за періоди (2001 – 2005) роки (■) та (2001 – 2010) роки (■)

Таблиця 2 – Кількісні показники надійності ВОЛЗ ТТІМЗ України в Донецькій, Львівській та Одеській областях за (2001...2010) роки

	Кількісні показники надійності ВОЛЗ України за областями за період з 2001 – 2005 р.р. / 2001 – 2010 р.р
--	---

Тип захисних покривів ОК та спосіб його прокладання	при пошкодженнях з перервою зв'язку				при пошкодженнях без перерви зв'язку	
	щільність пошкоджень з перервою зв'язку $m$ , 1/ (рік·км)	Інтенсивність відмов $\lambda \cdot 10^{-7}$ , 1/год	середній час відновлення зв'язку $t_{\text{авар}}^i$ , ГОД	середній час повного усунення пошкодження $t_{\text{іоіпао}}^i$ , ГОД	щільність пошкоджень без перерви зв'язку $M$ , 1/ (рік·км)	середній час повного усунення пошкодження $t_{\text{іоіпао}}^{\text{аі}}$ , ГОД
<b>Донецька (рівнинні райони)</b>						
Броньований кабель у ґрунті	$\frac{2,86}{-}$	$\frac{32,6}{-}$	$\frac{3,16}{-}$	$\frac{7,0}{-}$	$\frac{1,43}{-}$	$\frac{10,1}{-}$
Броньований кабель у кабельній каналізації	$\frac{3,85}{0,43}$	$\frac{44,0}{4,9}$	$\frac{4,47}{3,1}$	$\frac{4,66}{3,25}$	-	-
Неброньований кабель в кабельній каналізації або субканалі	-	-	-	-	$\frac{1,56}{-}$	$\frac{4,66}{-}$
Середнє значення показника по області	$\frac{3,85}{1,64}$	$\frac{44,00}{18,75}$	$\frac{4,47}{3,13}$	$\frac{4,66}{5,13}$	$\frac{2,99}{-}$	$\frac{7,38}{-}$
<b>Львівська (гірські райони)</b>						
Броньований кабель у ґрунті	$\frac{1,70}{0,98}$	$\frac{19,4}{11,3}$	$\frac{1,96}{1,39}$	$\frac{6,76}{4,04}$	$\frac{0,42}{-}$	$\frac{0,83}{-}$
Броньований кабель у кабельній каналізації	-	-	-	-	-	-
Неброньований кабель в кабельній каналізації або субканалі	-	-	-	-	-	-
Середнє значення показника по області	$\frac{1,70}{0,98}$	$\frac{19,4}{11,3}$	$\frac{1,96}{1,39}$	$\frac{6,76}{4,04}$	$\frac{0,42}{-}$	$\frac{0,83}{-}$
<b>Одеська (причорноморські райони)</b>						
Броньований кабель у ґрунті	$\frac{1,26}{0,94}$	$\frac{14,38}{10,73}$	$\frac{3,61}{2,99}$	$\frac{8,00}{5,76}$	$\frac{1,58}{-}$	$\frac{4,42}{-}$
Броньований кабель у кабельній каналізації	-	-	-	-	-	-
Неброньований кабель в кабельній каналізації або субканалі	-	-	-	-	-	-
Середнє значення показника по області	$\frac{1,26}{0,94}$	$\frac{14,38}{10,73}$	$\frac{3,61}{2,99}$	$\frac{8,00}{5,76}$	$\frac{1,58}{-}$	$\frac{4,42}{-}$

Проведені в даній роботі розрахунки кількісних показників надійності ВОЛЗ показали, що:  
 – кількісні показники надійності ВОЛЗ обраних областей за період з 2001 по 2010 рік значно відрізняються від відповідних показників за (2001 – 2005) роки, що вказує на значний вплив обсягу статистичних даних за більший термін про пошкодження та аварії мереж зв'язку на достовірність

результатів їх показників надійності;

– кількісні показники надійності ВОЛЗ на базі різних типів ОК залежать від умов експлуатації, не можуть бути узагальнені та потребують індивідуальних розрахунків для конкретної місцевості;

– серед ВОЛЗ досліджуваних мереж трьох областей лише в Донецькій області спостерігаються пошкодження оптичних кабелів, які прокладені в субканалах кабельної каналізації. Останнє обумовлене зловмисними пошкодженнями;

– середній час відновлення зв'язку в усіх випадках на перевищує норму в 5,2 год. [1];

– відсутність статистичних даних про пошкодження ТТПМЗ без перерви зв'язку в період (2001 – 2005) роки не дає можливість оцінити кількісні показники надійності  $M$  та  $t_{\text{вiднaв}}^{\text{ai}}$  ;

– наявність коливань значень середнього часу повного усунення пошкодження потребує необхідності його нормування.

Таким чином, отримані в даній роботі показники надійності ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної первинної мережі України в Донецькій, Одеській та Львівській областях є більш точними результатами, ніж отримані раніше. У свою чергу, більш точні результати розрахунків показників надійності ВОЛЗ дають можливість намітити доцільні заходи до її підвищення за рахунок розробки практичних рекомендацій щодо мінімізації ризику пошкоджень.

### Висновки

Отже, визначені в даній статті кількісні показники надійності ВОЛЗ транспортної телекомунікаційної первинної мережі зв'язку України в Донецькій, Львівській та Одеській областях дозволяють зробити такі висновки:

1. В даній роботі на базі статистичних даних про кількість, причину і характер пошкоджень ТТПМЗ України з перервою та без перерви зв'язку за період з 2001 по 2010 роки визначені середньостатистичні кількісні показники надійності ВОЛЗ Донецької, Львівської та Одеської областей, які належать до різних кліматичних районів країни – рівнинного, гірського та причорноморського.

2. Розрахунки основних кількісних показників надійності ВОЛЗ (щільність пошкоджень з перервою та без перерви зв'язку, інтенсивність відмов, середній час відновлення зв'язку та середній час повного усунення пошкодження) дозволили встановити, що:

– кількісні показники надійності ВОЛЗ обраних областей за представлений період часу значно відрізняються від відповідних показників за (2001 – 2005) роки;

– різниця отриманих показників надійності дає підстави стверджувати про необхідність індивідуального визначення параметрів надійності ВОЛЗ ТТПМЗ України різних областей з конкретними кліматичними умовами експлуатації;

– аналіз розподілу щільності відмов з перервою зв'язку, середнього часу відновлення зв'язку та середнього часу повного усунення пошкодження ВОЛЗ розглянутих областей за десять років експлуатації не дав можливості встановити якусь їх остаточну залежність для подальшого прогнозування надійності ліній;

– у випадку наявності пошкоджень значення інтенсивності відмов та середнього часу відновлення зв'язку, отриманих за період з 2001 по 2010 роки, менші, ніж аналогічні параметри, отримані за 2001 – 2005 роки. Так, інтенсивність відмов зменшилася у гірських районах України – на 41,8 %, у рівнинних районах – на 57,4 %, у причорноморських районах – на 25,4 %. Значення середнього часу відновлення зв'язку зменшилося у гірських районах України – на 29 %, у рівнинних районах – на 30,6 %, у причорноморських районах – на 17,2 %. Значення середнього часу повного усунення пошкодження у гірських районах України – зменшилася на 40,2 %, у рівнинних районах – збільшилося на 10 %, у причорноморських районах – зменшилася на 28 %;

– середній час відновлення зв'язку в усіх випадках не перевищує норму в 5,2 год [1];

– наявність коливань значень середнього часу повного усунення пошкодження потребує необхідності його нормування.

3. Наведені розраховані середньостатистичні значення кількісних показників надійності ( $m$ ,  $t_{\text{вiднaв}}$ ,  $t_{\text{вiднaв}}^{\text{ai}}$ ) та інтенсивність відмов ( $\lambda$ ) транспортної телекомунікаційної первинної мережі України в Донецькій, Львівській та Одеській областях можна вважати більш достовірними, ніж отримані раніше. Вони дають можливість визначити кількісні характеристики надійності ТТПМЗ

України та розробляти практичні рекомендації щодо мінімізації ризику пошкоджень і забезпечення норм показників надійності.

**Література**

1. *Бондаренко О.В.* Методологія забезпечення надійності волоконно-оптичних ліній передавання: дис. доктора техн. наук: 05.12.02 / Бондаренко Олег Володимирович, – Одеса, 2010.
2. *Бондаренко О.В.* Статистичні дані для розрахунку показників надійності підземних волоконно-оптичних ліній зв'язку / О.В. Бондаренко // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2009. – № 1. – С. 64 – 69.
3. *Алексеев Е.Б.* Основы проектирования и технической эксплуатации цифровых волоконно-оптических систем передачи: учеб. пособ./ Алексеев Е.Б. – М.: ЧПК МТУСИ, 2004. – 120 с.
4. *Гуревич А.С.* Надёжность кабелей связи / А.С. Гуревич, Н.Д. Курбатов. – М.: Связь, 1968 – 136 с.
5. *Бондаренко О.В.* Статистичні характеристики надійності лінійних споруд транспортної телекомунікаційної мережі України / [О.В. Бондаренко, Б.Я. Костік, Д.М. Степанов, Є.М. Омельчук, Є.В. Левенберг] // 67-та наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, науковців, асп. та студ., 5 – 7 груд. 2012 р.: тези доп. – Одеса, 2012. – С. 90 – 93.
6. *Гроднев И.И.* Линейные сооружения связи: учебник для вузов / И.И. Гроднев, Н.Д. Курбатов. – М.: Связь, 1974 – 544 с.