

УДК 621.371:621.37

Д. т. н. О. В. БОНДАРЕНКО, д. т. н. Б. Я. КОСТИК, к. т. н. Д. Н. СТЕПАНОВ, Е. В. ЛЕВЕНБЕРГ

Украина, Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова

E-mail: vols@onat.edu.ua

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ УКРАИНЫ

*Приведены статистические данные о количестве, причинах и характере повреждений подземных волоконно-оптических линий связи, которые являются основой транспортной телекоммуникационной первичной сети на примере Донецкой и Луганской областей за период с 2001 по 2010 годы. Сравнение значений этих характеристик со значениями аналогичных параметров за 2001–2005 гг. позволяет разработать рекомендации по повышению надежности телекоммуникационных сетей.*

*Ключевые слова:* волоконно-оптическая линия связи, транспортная телекоммуникационная первичная сеть, эксплуатационные показатели качества работы, статистические данные.

Задача обеспечения надежности кабельной техники включает в себя широкий круг вопросов, связанных с проектированием, строительством и технической эксплуатацией, а также разработкой и производством ее элементов. В первую очередь это относится к волоконно-оптическим линиям связи (**ВОЛС**) [1].

Расчет параметров надежности проектируемых ВОЛС становится возможным на основе сбора и обработки эксплуатационных статистических данных о времени, длительности, количестве, характере и причинах повреждений действующих линий. Эти данные позволяют установить среднестатистические эксплуатационные показатели качества ВОЛС: плотность повреждений, интенсивность отказов, среднее время восстановления связи  $t_{в\ ср}$  и среднее время полного восстановления связи  $t_{пв\ ср}$ .

В ряде работ, например [1–4], обоснованы подходы к определению статистических показателей качества работы волоконно-оптических линий связи. В частности, в [1] приведены статистические показатели надежности транспортной первичной сети Донецкой, Одесской та Львовской областей за десятилетний период эксплуатации. В работе [2] приведены статистические данные характеристики надежности за пятилетний срок эксплуатации подземных ВОЛС на базе бронированных и небронированных оптических кабелей транспортной телекоммуникационной первичной (**ТПП**) сети связи Украины, а также Донецкой и Луганской областей с 2001 года по 2005 год. В [2] указано, что эти данные возможно использовать в первом приближении для расчета эксплуатационных показателей качества работы подземных ВОЛС Донецкой, Луганской областей и всей Украины в целом. Однако, достоверность этих статистических эксплуатационных показателей

качества работы, которые характеризуют надежность ВОЛС, не являются окончательными и нуждается в уточнении [1, 2]. Кроме того, в известной авторам литературе отсутствуют исходные материалы для расчета эксплуатационных показателей качества работы кабельных ВОЛС Украины.

Поэтому целью настоящей работы является получение более достоверных исходных данных для расчета показателей качества работы подземных ВОЛС на основе обработки статистических данных об эксплуатации транспортной телекоммуникационной первичной сети Украины на примере Донецкой и Луганской областей за период с 2001 по 2010 годы.

Для численного выражения надежности ВОЛС используют разнообразные характеристики, совокупность которых позволяет наиболее полно оценить ее надежность как системы или оптического кабеля (**ОК**) как изделия. Надежность кабельной линии при эксплуатации зависит от качества не только кабеля, но также и всех других устройств и элементов, которые входят в ее состав [1–3].

Разнообразие условий местности, где проходит трасса ВОЛС, приводит к необходимости применения на отдельных ее участках разных конструкций оптического кабеля и разных методов его прокладки. Поэтому при оценке надежности ОК, в зависимости от места прокладки, кабели группируют по типам: бронированные, которые прокладываются непосредственно в почве или в кабельной канализации, и небронированные, которые прокладываются в субканале кабельной канализации [1, 2].

Интенсивность отказов при повреждениях или авариях ВОЛС на 1 км трассы за 1 час определяется по выражению [3, с. 44; 5, с. 515]

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

где  $m$  — плотность отказов (повреждений или аварий) ВОЛС, приходящаяся на 100 км трассы в год (8760 — количество часов в году).

В соответствии с [3, с. 37; 5, с. 514]

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

где  $N$  — количество отказов на ВОЛС на протяжении года;

$L$  — длина линии в километрах.

С учетом этой формулы (1) представим в виде

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

Среднее время восстановления связи определяется как [3, с. 36]

$$t_{в\text{ ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{вi}, \quad (4)$$

Таблица 1

Распределение по месяцам количества повреждений сети с прерыванием связи в Донецкой и Луганской областях за 2001–2010 гг.

Год	Количество повреждений с прерыванием связи											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Донецкая область												
2001	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–
2002	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–
2003	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2004	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–
2005	–	–	–	–	–	–	–	1	1	–	–	–
2006	–	–	–	1	–	–	1	–	–	–	–	–
2007	–	–	–	–	–	–	2	3	–	–	–	–
2008	–	–	–	–	–	–	1	1	–	1	–	–
2009	–	–	–	–	–	–	2	–	1	1	–	–
2010	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	1	–
Луганская область												
2001	–	1	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–
2002	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–
2003	–	–	–	1	–	2	–	–	–	1	–	–
2004	–	–	–	–	–	1	1	–	–	–	–	1
2005	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–
2006	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2007	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2008	–	–	–	–	–	1	1	–	–	1	–	–
2009	–	–	2	–	1	–	–	–	1	1	–	–
2010	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	2	–

где  $t_{вi}$  — время восстановления связи при  $i$ -м повреждении (аварии);

$N$  — количество отказов на ВОЛС в течение заданного времени.

Аналогично определяется и среднее время полного восстановления связи  $t_{в\text{ ср}}$ .

Нами проанализированы статистические данные о количестве повреждений по месяцам транспортной телекоммуникационной первичной сети Донецкой и Луганской областей Украины за период с 2001 по 2010 год с учетом [2, 3]. Этот анализ показал, что по сравнению с 2001–2005 гг. в период с 2006 по 2010 гг. количество повреждений в весенне-летний период увеличилось на 72 %, а в осенне-зимний — на 42 % (табл. 1).

Следует отметить, что в настоящее время в Украине еще не в полной мере сложилась практика оценки доли отказов ВОЛС в общем числе повреждений ТТП. Это в значительной степени объясняется, с одной стороны, сравнительно поздним внедрением ВОЛС в транспортной телекоммуникационной сети Украины и быстрым темпом этого процесса, а с другой, трудоемкостью работ по сбору, обработке и анализу эксплуатационных статистических данных [2].

Наблюдение за причинами отказов подземных ВОЛС транспортной сети показало, что наибольшее число отказов происходит в результате действий злоумышленников (рис. 1).

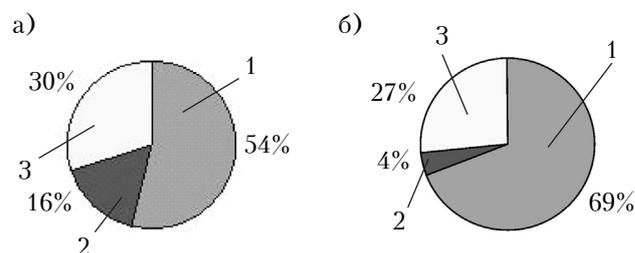


Рис. 1. Процентное соотношение количества повреждений ВОЛС ТТП сети связи за счет действий злоумышленников (1), стихии (2) и других факторов (3) в Донецкой и Луганской областях за периоды с 2001 по 2005 гг. (а) и с 2001 по 2010 гг. (б)

На основе статистических данных, полученных за 10 лет эксплуатации, по выражениям (2) и (4) были определены значения эксплуатационных показателей качества ВОЛС транспортной первичной сети, реализованной на кабелях типа ОКЛБг и ОКЛ, в Донецкой и Луганской областях. На рис. 2 представлены графики их изменения по годам, а также средние значения, рассчитанные для разных периодов времени (2001–2005, 2006–2010, 2001–2010 гг.).

На рис. 3 показано процентное соотношение количества повреждений ВОЛС с различными типами ОК и условиями их прокладки в Донецкой и Луганской областях за периоды 2001–2005 и 2001–2010 гг. Как видно, в обеих областях доля

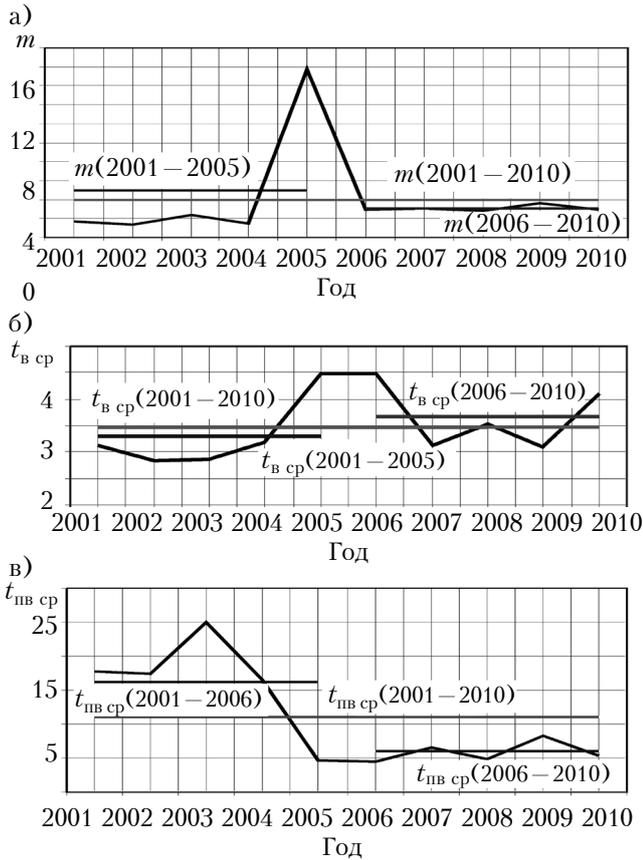


Рис. 2. Эксплуатационные показатели качества ВОЛС ТТП сетей связи Донецкой и Луганской областей в период с 2001 по 2010 гг.: а – плотность отказов; б – среднее время восстановления связи; в – среднее время полного восстановления связи

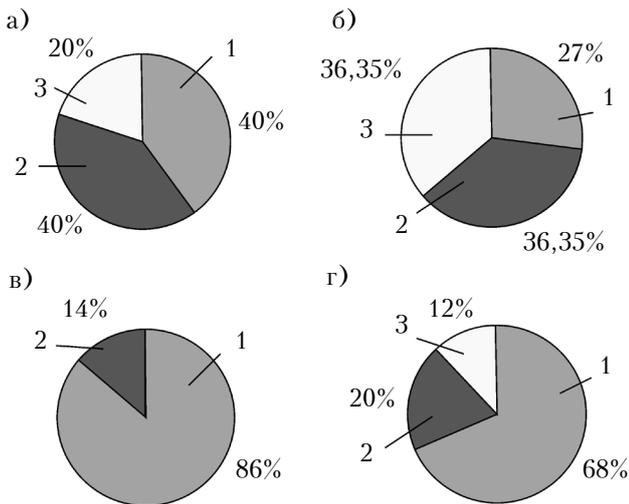


Рис. 3. Процентное соотношение количества повреждений ВОЛС ТТП сети связи Донецкой (а, б) и Луганской (в, г) областей за пятилетний и десятилетний периоды для бронированного кабеля в почве (1) и в кабельной канализации (2), а также небронированного кабеля в кабельной канализации или субканале (3)

повреждений бронированного кабеля, рассчитанная за период с 2001 по 2010 год, меньше, чем за период с 2001 по 2005 гг., а повреждений кабеля, проложенного в субканалах, увеличилось.

Расчет плотности отказов на 100 км трассы за период с 2001 по 2010 гг. показывает, что она на 19% ниже, чем за период 2001 – 2005 гг., что может свидетельствовать, например, об улучшении охранно-разъяснительных работ. Среднее время полного восстановления связи также меньше на 32%, что, вероятно, связано с повышением оперативности работ аварийно-восстановительных бригад.

В соответствии с полученными данными, очевидно, что расчет эксплуатационных показателей качества работы кабельных линий связи необходимо выполнять не только согласно среднегодовым, но и согласно максимальным и минимальным показателям интенсивности отказов.

В табл. 2 представлены средние, максимальные и минимальные значения  $\lambda$  для разного вида кабельных линий, рассчитанные по выражению (1), которые получены на базе обработки статистических данных о повреждении сети связи Донецкой и Луганской областей за период эксплу-

Таблица 2

Интенсивность отказов ВОЛС на 1 км трассы, рассчитанная для разных периодов и для различных условий прокладки кабеля

Период	Интенсивность отказов на 1 км трассы, $10^{-7}$ 1/ч		
	$\lambda_{ср}$	$\lambda_{max}$	$\lambda_{min}$
Бронированный кабель в почве			
2001 – 2005 гг.	15,48	19,00	10,38
2006 – 2010 гг.	27,62	39,15	16,32
2001 – 2010 гг.	21,55	29,08	13,35
Бронированный кабель в кабельной канализации			
2001 – 2005 гг.	105,59	202,70	16,44
2006 – 2010 гг.	41,37	45,54	37,21
2001 – 2010 гг.	69,58	124,12	26,83
Небронированный кабель в кабельной канализации или субканале			
2001 – 2005 гг.	–	–	–
2006 – 2010 гг.	23,97	52,16	16,32
2001 – 2010 гг.	23,97	52,16	16,32

атации с 2001 по 2010 гг. Согласно этим данным, интенсивность отказов бронированных кабелей, которые прокладываются непосредственно в почве, за период с 2006 по 2010 годы увеличилась по сравнению с предыдущим периодом на 78%. Это объясняется увеличением доли злоумышленных повреждений ОК (рис. 1) и несогласованных земляных работ в охранной зоне кабеля.

\*\*\*

Таким образом, получены эксплуатационные показатели качества работы ВОЛС транспортной телекоммуникационной первичной сети Донецкой и Луганской областей, которые позволяют выпол-

нять ориентировочные расчеты надежности кабельных линий, определять и сравнивать качество работы оптических кабелей разных типов между собой и др. В случае необходимости это дает возможность наметить соответствующие мероприятия и разработать практические рекомендации по минимизации риска повреждения ВОЛС и по обеспечению норм показателей надежности систем связи в различных условиях эксплуатации.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Bondarenko O. V., Kostik B. Y., Stepanov D. M., Levenberg E. V. Performance indicators of work quality of transport telecommunication primary network in Donetsk, Lviv and Odessa regions of Ukraine // Proc. of the IX<sup>th</sup>

International Conference «Antenna theory and techniques». — Odessa, 2013. — P. 489–491.

2. Бондаренко О. В. Статистичні дані для розрахунку показників надійності підземних волоконно-оптичних ліній зв'язку // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. — 2009. — № 1. — С. 64 — 69.

3. Гуревич А. С., Курбатов Н. Д. Надежность кабелей связи. — Москва: Связь, 1968. — 136 с.

4. Алексеев Е. Б. Основы проектирования и технической эксплуатации цифровых волоконно-оптических систем передачи: учебное пособие. — Москва: ЧПК МТУСИ, 2004. — 120 с.

5. Гроднев И. И., Курбатов Н. Д. Линейные сооружения связи: учебник для ВУЗов. — Москва: Связь, 1974. — 544 с.

Дата поступления рукописи  
в редакцию 31.05 2013 г.

О. В. БОНДАРЕНКО, Б. Я. КОСТИК, Д. М. СТЕПАНОВ, Є. В. ЛЕВЕНБЕРГ

Україна, Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

E-mail: vols@onat.edu.ua

## ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ ПЕРВИННОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ

В роботі наведено статистичні дані про кількість, причини та характер пошкоджень підземних волоконно-оптичних ліній зв'язку, які є основою транспортної телекомунікаційної первинної мережі, на прикладі Донецької та Луганської областей за період з 2001 по 2010 рр. Порівняння значень цих характеристик із значеннями аналогічних характеристик за 2001–2005 рр. дозволяє розробити рекомендації по підвищенню надійності телекомунікаційних мереж.

Ключові слова: волоконно-оптична лінія зв'язку, транспортна телекомунікаційна первинна мережа, експлуатаційні показники якості роботи, статистичні дані.

O. V. BONDARENKO, B. YA. KOSTIK, D. N. STEPANOV, E. V. LEVENBERG

Ukraine, A. S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications

E-mail: vols@onat.edu.ua

## OPERATIONAL PERFORMANCE OF THE PRIMARY TRANSPORT TELECOMMUNICATION NETWORK OF UKRAINE

The paper presents statistical data on the number, nature and causes of the damage to underground fiber-optic communication lines, on which the transport telecommunication primary network is based, using an example of Donetsk and Lugansk regions for the period between 2001 and 2010. Comparison of these characteristics with the values of similar parameters over 2001–2005 allows to develop recommendations for the improvement of the reliability of telecommunication networks.

Keywords: fiber-optic communication line, transport telecommunication primary network, operating indicators of work quality, statistical information.

## REFERENCES

1. Bondarenko O. V., Kostik B. Y., Stepanov D. M., Levenberg E. V. Performance indicators of work quality of transport telecommunication primary network in Donetsk, Lviv and Odessa regions of Ukraine. Proc. of the IX<sup>th</sup> International Conference «Antenna theory and techniques». Odessa, 2013. pp. 489-491.

2. A. Bondarenko [Statistical data for the calculation of reliability indices of underground fiber-optic communications] *Naukovi pratsi of A.S. Popov ONAT*, 2009, no 1, pp. 64-69. (in Ukrainian)

3. Gurevich A. S., Kurbatov N. D. *Nadezhnost' kabelei svyazi* [Reliability of communication cables] Moscow, Communications, 1968, 136 p. (in Russian)

4. Alekseev E. B. *Osnovy proektirovaniya i tekhnicheskoi ekspluatatsii tsifrovoykhvolokonno-opticheskikh sistem peredachi* [Basis of design and technical operation of digital fiber-optic transmission systems] Moscow, ChPK MTUSY, 2004, 120 p. (in Russian)

5. Grodnev I. I., Kurbatov N. D. *Lineinye sooruzheniya svyazi: uchebnik dlya VUZov* [Linear communication structures: a textbook for universities] Moscow, Svyaz', 1974, 544 p. (in Russian)