

УДК 654.022

Т. Н. СЕРДЮК – к. т. н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, serducheck-t@rambler.ru
В. В. ЛЫСЮК – студент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, valerialysuk@gmail.com
М. А. МИЩЕНКО – студент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Vaffy97@mail.ru
А. Ю. ЖУРАВЛЁВ – ассистент, к. т. н., Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, anton.zhuravlev@gmail.com
К. Н. СЕРДЮК – студент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, serducheckt@gmail.com
А. В. КУЗНЕЦОВА – студент, Днипровский национальный университет имени Олеся Гончара, wit_jane2000@i.ua

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТОВОЛОКОННЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Постановка проблемы

До недавнего времени на железных дорогах Украины и стран СНГ применялись системы сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), построенные на реле. Долгое время эта область оставалась консервативной в отношении применения компьютерных технологий. Существующие релейные системы электрической централизации (ЭЦ) имеют ряд недостатков: значительный объем релейной аппаратуры, требующий больших помещений и различных работ при обслуживании; низкая информативность пультов-табло; использование только ручной установки маршрутов; отсутствие средств диагностики работы системы и ее технического обслуживания. Таким образом, реле как элементная база электрической централизации себя практически исчерпали. Попытки улучшить показатели и расширить функций релейной ЭЦ ведут к увеличению числа реле, потребляемой электроэнергии, затрат на техническое обслуживание. Таким образом, от релейных к микропроцессорным системам централизации, оборудование участков оптоволоконными кабельными линиями связи является актуальной научно-технической задачей.

Переход от релейной централизации к микропроцессорной является объективной необходимостью обновления всего технологического процесса управления перевозками и работой структурных подразделений железнодорожного транспорта на основе применения информационных технологий [1-5, 9, 10].

Задачи и цели исследования:

- проанализировать применение микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и оптоволоконных линий связи на Украине;
- проанализировать причины увеличения коэффициента затухания в волоконно-оптических линиях и оценить влияние на него микро- и макроизгибов;
- оценить параметры надежности волоконно-оптических линий, применяемых на Приднепровской железной дороге.

Анализ внедрения микропроцессорных систем железнодорожной автоматики

Микропроцессорные системы железнодорожной автоматики, в частности микропроцессорной централизации, служат удобным связующим звеном между источ-

никами получения первичной информации (подвижной состав, объекты СЦБ и др.) и системами управления перевозочным процессом более высокого уровня, позволяя обойтись без дополнительных надстроек, которые были бы нужны при использовании электрической централизации на базе реле. Микропроцессорная техника в устройствах СЦБ не нашла широкого распространения в Украине, так как ее внедрение было связано с большими экономическими затратами и специальным обучением обслуживающего персонала. Но с 2000-х гг. началось внедрение систем железнодорожной автоматики нового поколения. Первую систему в Украине, РПЦ маневрового района станции «Киев-Технический» (НПП «Желдоравтоматика»).

В настоящее время микропроцессорные и релейно-процессорные системы централизации стрелок и сигналов (МПЦ и РПЦ) нашли внедрение на 30 станциях Украины, при общем количестве 1614. Таким образом, всего около 2 % железнодорожных станций Украины оборудовано системами централизации нового поколения. В то время как в России их число составляет 6,7 %. Видными отечественными производителями новых программно-аппаратных решений являются ООО НПП «Желдоравтоматика» и «СтальЭнерго» (г. Харьков), МПО «Импульс» (г. Северодонецк), ООО «Антракс», "Автотелтранс" (г. Киев) и ООО "НКП КС-МИСАТ" (г. Харьков). На железнодорожных станциях «Красноград», «Полтава» Южной железной дороги для опытной эксплуатации были внедрены РПЦ, разработанные ОАО «Радиоавионика» (г. Санкт-Петербург), на участке «Лозовая – Красноград» МПЦ Ebilock-950 (Швеция).

Преимущества микропроцессорных систем в сравнении с релейными системами ЭЦ являются: накопление задаваемых маршрутов и автоматический выбор трассы маршрута; автоматическая установка маршрутов в соответствии с текущим временем и графиком движения поездов; под-

держка оперативного персонала в нестандартных ситуациях; автоматическая регистрация действий оператора и хранение их в памяти ЭВМ; автоматическое протоколирование (функции «черного ящика»); оперативное предоставление нормативно-справочной информации; реализации функций линейного пункта диспетчерской централизации, просмотр и статистическая обработка отказов в ЭЦ. Единственным недостатком микропроцессорных систем является относительно недолгий срок службы. Релейные системы эксплуатируются зачастую более 50 лет, тогда как микропроцессорная техника не рассчитана на столь долгий срок эксплуатации.

Надежность работы микропроцессорных систем автоматики представлена на примере МПЦ "Ebilock-950":

1) вероятность безотказной работы программного обеспечения не менее 0,999999999;

2) средняя наработка на отказ системы не менее 100000 часов;

3) вероятность появления опасного отказа (ложное срабатывание) модуля вывода ответственных команд при отказах в схемах – не более 10...16;

4) среднее время восстановления работоспособности системы без учета времени на прибытие ремонтного персонала не более 15 мин;

5) коэффициент готовности системы – 99,9995, режим эксплуатации – непрерывный.

Микропроцессорные системы управления взаимосвязаны с другими устройствами используя каналы передачи данных. Для взаимодействия между стационарными микропроцессорными системами управления (МПСУ) и МПСУ подвижного состава применяются беспроводные или комбинированные каналы передачи данных. В качестве беспроводных каналов передачи данных используется, как правило, радиоканал (Wi-Fi, GSM, GSM-R, TETRA, DMR). Для обеспечения связи систем, предоставляющих взаимодействие между стационарными

микропроцессорными системами управления и (или) их компонентами (в случае распределенных систем), используются проводные каналы передачи данных, к которым, как правило, относят витую пару, коаксиальный кабель и оптоволокно.

Волоконно-оптические линии микропроцессорных систем. Километрическое затухание

Волоконно-оптические линии (ВОЛ) обладают самой высокой пропускной способностью передачи данных и позволяют значительно увеличить расстояние между объектами в сравнении с другими линиями связи. Однако достоинства и недостатки, которые проявляются в условиях эксплуатации таких линий на Украинских железных дорогах, до сих пор представляют немалый интерес.

В отличие от витой пары, которая вне зависимости от места применения имеет примерно одну и ту же конструкцию, оптоволоконные кабели связи могут иметь значительные отличия исходя из сферы применения и места укладки.

Оптические волокна считаются отличным средством передачи широкополосных сигналов на большие расстояния. Ключевым свойством, которое обеспечивает такую производительность, является низкий коэффициент затухания оптического волокна. Низкий коэффициент затухания необходимо поддерживать не только на этапе строительных работ, но и при эксплуатации волоконно-оптической кабельной линии [4 – 8]. Коэффициент затухания для каждого вида оптического волокна обязательно указывается производителями в каталогах и составляет: 3.5 дБ/км для многомодового волокна при длине волны 850 нм; 1.5 дБ/км для многомодового волокна при длине волны 1300 нм; 0.5 дБ/км для одномодового волокна внешней прокладки при длине волны 1310 нм; 0.5 дБ/км для одномодового волокна внешней прокладки при длине волны 1550 нм; 1.0 дБ/км для одно-

модового волокна внутренней прокладки при длине волны 1310 нм; 1.0 дБ/км для одномодового волокна внутренней прокладки при длине волны 1550 нм [4 – 8].

Затухание в оптоволоконном кабеле связи может увеличиться в виду ряда причин: термомеханические воздействия на оптоволокно в процессе изготовления кабеля; температурная зависимость коэффициента преломления оптического волокна; затухание на микроизгибах и макроизгибах; нарушение прямолинейности оптического волокна, его кручение вокруг оси; неравномерность покрытия оптоволоконной оболочки; потери в защитной оболочке.

Наиболее распространенной причиной увеличения затухания ВОЛ являются микроизгибы и микротрещины, когда волокно отклоняется от прямой оси. Микроизгиб – это механизм увеличения коэффициента затухания, вызванного интенсивными продольными нагрузками на волокно (рис. 1). Нагрузки приводят к изгибанию сердцевинного волокна малого радиуса, которое в случае одномодового волокна вызывает сопряжение энергии основной моды (LP₀₁) с модами более высокого порядка [8].

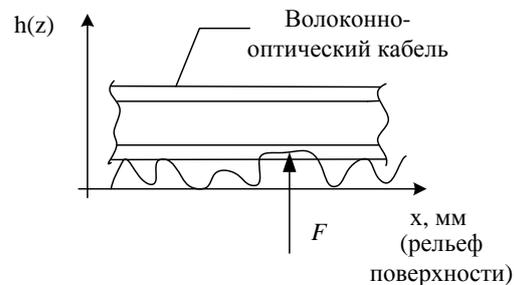


Рис. 1. Схематическое представление микроизгиба

Отклонения, которые становятся причиной микроизгиба, меньше 1 мм в радиусе и обычно описываются в виде произвольной переменной с диапазоном расстояний и амплитуды. Устойчивость волокна к микроизгибам определяется значениями спектральной плотности мощности (PSD) этой произвольной переменной, а также геометрией волокна и его коэффициентом преломления [2 – 6].

Затухание, которое возникает за счет излучения при микроизгибе, γ_{micro} (дБ/км) определяется следующим образом:

$$\gamma_{micro} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{ka}{b^6 \Delta^3} \cdot \frac{\omega_0^6}{\lambda^4}, \quad (1)$$

где k – коэффициент, зависящий от длины и амплитуды микроизгибов; a – радиус сердцевины оптоволокна, мкм; b – диаметр оболочки, мкм; λ – длина волны, мкм; ω_0 – радиус поля моды, мкм; Δ – разность коэффициента преломления волокна.

Для одномодовых волокон кабеля типа ОКТБг отечественного производителя «Одессакабель», применяемых на Приднепровской железной дороге: $k=15$; $a=4,8$ мкм; $b=125$ мкм; $\lambda = 1310$ нм и $\lambda = 1550$ нм [12].

Относительное значение показателя преломления при различных показателях преломления $n_1=1,46$ и $n_2=1,445$ [11]:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (2)$$

$$\Delta = \frac{1,46 - 1,445}{1,46} = 0,01.$$

Радиус поля моды:

$$\omega_0 = a \cdot (0,65 + 1,61 \cdot V^{-1,5} + 2,879 \cdot V^{-6}), \quad (3)$$

где V – нормированная частота:

$$V = \frac{2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{\lambda}. \quad (4)$$

$$V = \frac{2\pi \cdot 4,8 \cdot \sqrt{1,46^2 - 1,45^2}}{1,31} = 3,927.$$

$$\omega_0 = a \cdot (0,65 + 1,61 \cdot 3,927^{-1,5} + 2,879 \cdot 3,927^{-6}) = 4,117 [\text{мкм}],$$

$$\begin{aligned} \gamma_{micro} &= 2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{15 \cdot 4,8}{125^6 \cdot 0,01^3} \cdot \frac{4,117^6}{1,31^4} = \\ &= 6,9 \cdot 10^{-4} \left[\frac{\text{дБ}}{\text{км}} \right]. \end{aligned}$$

Величина дополнительного затухания от микроизгибов γ_{micro} в зависимости от числа изгибов на единицу длины N определяется следующим образом:

$$\gamma_{micro} = \frac{a^4 N}{b^6 \Delta^3} \cdot \left(\frac{E}{E_r} \right), \quad (5)$$

где E – модуль упругости оболочки, $E=300$ МПа, – модуль упругости волокна $E_r=60$ ГПа [12, 13].

Результаты моделирования зависимости дополнительного затухания на микроизгибах от их числа на единицу длины представлены на рис. 2.

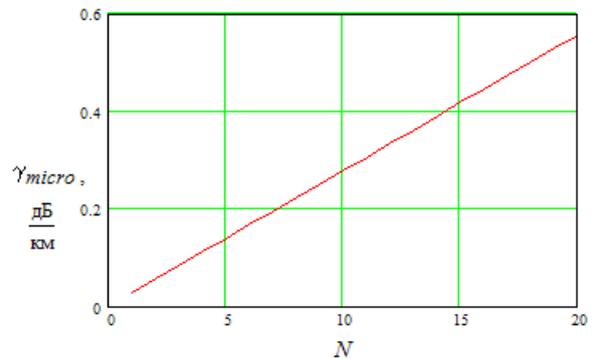


Рис. 2. Зависимость коэффициента дополнительного затухания, вызванного микроизгибами, от их числа

Увеличение числа микроизгибов на единицу длины волоконно-оптической кабельной линии приводит к увеличению затухания до 0,445 дБ/км при $N=20$.

Известно, что дополнительное затухание на должно превышать собственное затухание волокна более чем на 40...50 %. Следовательно, при нормированном затухании 0,5...1 дБ/км и длине волны $\lambda=1,31$ мкм для одномодового волокна число микроизгибов на единицу длины не должно превышать девяти (десяти).

Затухание, которое возникает за счет излучения при макроизгибах, обусловленных скруткой волоконных световодов по геликоиде вдоль всего оптического кабеля, определяется по формуле:

$$\gamma_{macro} = \frac{26 \cdot 10^{-3} \cdot a}{\Delta \cdot d \cdot \left[1 + \left(\frac{S}{\pi} \right)^2 \right]}, \quad (6)$$

где d – диаметр скрутки, мм, $d = 8$ мм;
 S – шаг скрутки, мм, $S = 12 \dots 30$ мм.

Ослабление сигнала за счет макроизгибов:

$$\gamma_{macro} = \frac{26 \cdot 10^{-3} \cdot 4,8}{0,01 \cdot 8 \cdot \left[1 + \left(\frac{30}{\pi} \right)^2 \right]} = 0,021 \left[\frac{\text{дБ}}{\text{км}} \right].$$

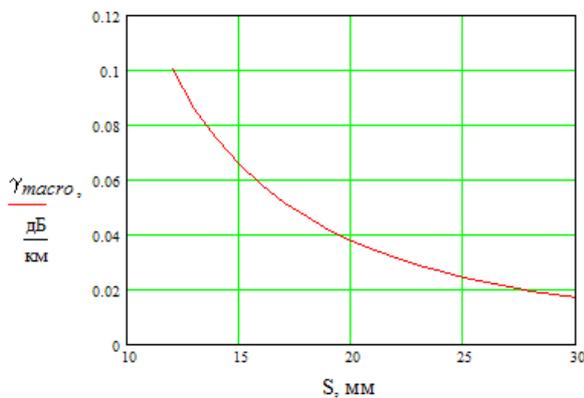


Рис. 3. Зависимость коэффициента дополнительного затухания, вызванного макроизгибами, от шага скрутки волокон

По результатам моделирования можно сделать вывод, что при увеличении шага скрутки S от 12 до 30 мм дополнительное затухание уменьшается от 0,1 до 0,021 дБ/км, что не превышает допустимые значения. Рекомендовано к выбору принимать ВОЛ с большим шагом скрутки для уменьшения затухания.

Параметры надежности волоконно-оптической линии. Особенности эксплуатации

Техническая эксплуатация волоконно-оптических линий представляет собой совокупность мероприятий, обеспечивающих работоспособность всех ее технических объектов, и включает в себя ведение производственной документации и техническое обслуживание (ТО): непрерывный эксплуа-

ционный и технический контроль, измерение рабочих характеристик, ремонтно-настроечные и ремонтно-восстановительные работы, операции управления и переключения на резерв.

Техническая эксплуатация ВОЛ осуществляется на базе устройств и средств программно-технических комплексов, которые реализуют принципы управляемого ТО и носит название «по состоянию объекта». Такой вид обслуживания уменьшает затраты и сроки проведения работ по технической эксплуатации. Контрольные и профилактические измерения реализуются с помощью контрольно-измерительных устройств, встроенных в аппаратуру линейных трактов. Это исключает большую часть плановых измерений [14, 15].

Эксплуатационно-техническое обслуживание линейных сооружений волоконно-оптической линии связи должно обеспечивать их бесперебойную и качественную работу. Волоконно-оптический кабель является наиболее ответственным звеном, определяющим надежность всей системы связи в целом.

Высокий уровень эксплуатации ВОЛ подразумевает постоянное обеспечение рабочего состояния за счёт плановых ремонтов и минимизации временных затрат на восстановление оптических кабелей после аварий.

Надежность работы ВОЛ – свойство волоконно-оптической линии связи обеспечивать возможность передачи требуемой информации с заданным качеством в течение определённого промежутка времени. Надежность включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сочетание всех этих свойств.

К параметрам надежности ВОЛ относят следующие. Коэффициент готовности K_T , который определяется как отношение суммарного времени исправной (безотказной) работы к общему суммарному времени исправной работы и времени восстановления за один и тот же период эксплуатации:

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + t_n} = \frac{T - t_n}{T} = \frac{8760 - t_n \cdot m}{8760}, \quad (7)$$

где T_o – суммарное время безотказной работы (наработка между отказами); t_n – время повреждения; T – время наблюдения, t_n – среднее время восстановления, m – число отказов на 100 км в год, 8760 – число часов в году.

Коэффициент простоя K_n – вероятность того, что в заданный интервал времени линия неисправна:

$$K_n = \frac{t_n}{T_o + t_n} = 1 - K_r, \quad (8)$$

Вероятность безотказной работы в заданный интервал времени t :

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (9)$$

Отказы характеризуются плотностью повреждений m с перерывом связи, происходящих на 100 км трассы в год:

$$m = \frac{100N}{KL}, \quad (10)$$

где N – число отказов на магистрали связи длиной L за K лет. Как правило, $m = 0.24 \dots 0.3$.

Интенсивность отказов на 1 км трассы в час:

$$\lambda = \frac{m}{8760 \cdot 100}, \quad (11)$$

где m – число отказов на 100 км в год, 100 – длина трассы (км).

Поток отказов в час Λ на всей длине магистрали находится из выражения:

$$\Lambda = \lambda L = \frac{mL}{8760 \cdot 100}. \quad (12)$$

Среднее время восстановления связи определяется на всей трассе

$$t_b = \frac{\sum_{i=1}^N t_{bi}}{N} \quad (13)$$

где t_{bi} – время восстановления связи при i -том отказе, ч.

Значение коэффициента готовности кабельной ВОЛ длиной 100 км $K_r = 0.985$; аппаратуры $K_r = 0.995$; среднее время между отказами на линии $T_o \geq 340.5$ ч; среднее время восстановления $t_b \leq 5.2$ ч, плотность повреждений $m \leq 0.182$. Для ВОЛ длиной 13900 км можно принимать нормы показателей надежности цифровой сети: $K_r = 0.985$, $t_b \leq 10$ ч, наработка между отказами $T_o = 500$ ч. Для оптоволоконных кабелей с грозозащитным тросом (ОКГТ) $K_r = 0.99989$, плотность отказов $m = 0.094$ [14, 16, 17].

По конструкции ВОЛ разделяют на оптические кабели с грозозащитным тросом (ОКГТ), т.е. содержащие металлические конструкции и применяющиеся для подвеса на опорах высоковольтных линий электропередач напряжением выше 35 кВ или прокладываемые в трубы, и полностью диэлектрические. ВОЛ без металла более подвержены влиянию внешних воздействий. Их плотность повреждений в 1,3 раза больше, чем бронированных ВОЛ и с грозозащитой.

На предприятиях Укрзалізничці используются волоконно-оптические кабели, изготовленные на отечественных заводах: «Южкабель» и «Одескабель», их зарубежные аналоги. На участке станция Нижнеднепровск-Узел – МТС Херсонская используются ВОЛП протяженностью 24 км, марка кабеля: ОКТБг – 16 ОВ, диаметр 9,6 мм, производство: Одескабель, другой участок «Днепропетровск – Синельниково» протяженностью 51 км, оборудован ВОЛП с маркой кабеля: А-DF(ZN)2Y 4x12+1x4E9/125 1,36F3,5+0,22 Н18 1x4E10/125 0,25HG 3,72G производства Alcatel. Для оптоволоконных кабелей было определено, что $K_r = 0.985$, плотность отказов $m = 0.094$.

По итогам эксплуатации линий связи Приднепровской железной дороге, где ВОЛ оборудован участок «Днепропетровск –

Синельниково-2», что составляет менее 10 % от всей протяженности линий связи, основным недостатком волоконно-оптического кабеля является хрупкость оптических волокон. И если при работе с этим кабелем не будет выдержан радиус укладки, то волокна могут повредиться, что приведет к искажению оптического сигнала передаваемого по этому кабелю.

Выводы

Проанализированы особенности применение микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и оптоволоконных линий связи на Украине. Среди перечисленных выше к внедрению на железных дорогах Украины может быть рекомендована МПЦ-У «Импульс» отечественного производителя, обладающая более высокими показателями надежности, предназначенная для создания микропроцессорных централизаций стрелок и сигналов железнодорожных станций различных классов, имеющая сертификат, подтверждающий функциональную безопасность и надежность согласно ДСТУ 4178-2003, и европейский сертификат функциональной безопасности с присвоением уровня полноты безопасности SIL4.

Научная новизна: усовершенствованы формулы для определения увеличения коэффициента затухания в волоконно-оптических линиях за счет учета коэффициента, зависящего от длины и амплитуды микро- и макроизгибов.

Установлено, что увеличение числа микроизгибов на единицу длины волоконно-оптической кабельной линии приводит к увеличению затухания до 0,445 дБ/км при числе изгибов $N=20$. Дополнительное затухание на должно превышать собственное затухание волокна более чем на 40...50 %. Следовательно, при нормированном затухании 0,5...1 дБ/км и длине волны $\lambda=1,31$ мкм для одномодового волокна число микроизгибов на единицу длины не должно превышать девяти (десяти).

Также по результатам моделирования можно сделать вывод, что при увеличении шага скрутки S от 12 до 30 мм дополнительное затухание уменьшается от 0,1 до 0,021 дБ/км, что не превышает допустимые значения.

Оценены параметры надежности волоконно-оптических линий, применяемых на Приднепровской железной дороге. На предприятиях Укрзалізничці используются волоконно-оптические кабели небольшой длины (до 100 км), изготовленные на отечественных заводах: «Южкабель» и «Одескабель» их зарубежные аналоги. На участке станция «Нижнеднепровск-Узел – МТС Херсонская» используются ВОЛП протяженностью 24 км, марка кабеля: ОКТБг – 16 ОВ, диаметр 9,6 мм, а «Днепропетровск – Синельниково» протяженностью 51 км, оборудован ВОЛП с маркой кабеля: А-DF(ZN)2Y 4x12+1 x4E9/125 1,36F3,5+0,22 Н18 1x4E10/125 0,25HG 3,72G производства Alcatel. Было рассчитано, что коэффициент готовности $K_r=0,985$, плотность отказов $m=0,094$.

По итогам эксплуатации ВОЛ было установлено, что основным недостатком волоконно-оптического кабеля является хрупкость его волокон.

Библиографический список

1. Микропроцессорные системы – путь на внедрение // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rwa.ua/wpcontent/uploads/2016/03/Ukrayinska-zaliznitsa_5-35-stor.31-35.pdf
2. Листвин, А. В. Оптические волокна для линий связи / А. В. Листвин, В. Н. Листвин, Д. В. Швырков. – М.: ЛЕСАРпт, 2003. – 98 с.
3. Стерлинг, Д. Волоконная оптика. Техническое руководство. М.: Лори. 1995. – 195 с.
4. Офіційний сайт Придніпровської залізниці // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.dp.uz.gov.ua
5. Волоконно-оптический кабель [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- https://ru.wikipedia.org/wiki/Волоконно-оптический_кабель.
6. Убайдуллаев, Р. Р. Преимущества и недостатки ВОЛС [Электронный ресурс] / Р. Р. Убайдуллаев // Тералинк. – Москва: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000. – Режим доступа: <http://www.teralink.ru/?do=printt&id=16>
 7. Волоконно-оптическая линия передачи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Волоконно-оптическая_линия_передачи
 8. Микроизгиб оптического волокна и улучшение конструкции оптического волокна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ockc.ru/?p=11249>
 9. Kalivoda, J. Enhancing the scientific level of engineering training of railway transport professionals / J. Kalivoda, L. O. Neduzha // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 6 (72). – С. 128-137. doi: 10.15802/stp2017/119050.
 10. Недужа, Л. О. Використання сучасного пакету програм при розв'язанні інженерних задач на залізничному транспорті / Л. О. Недужа, А. О. Швець // Локомотив-інформ. – 2016. – № 5-6. – С. 42-44.
 11. Бут, А. С. Применение оптоволоконных линий и систем на железных дорогах Украины [Текст] / А. С. Бут, Т. Н. Сердюк // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2013. – Ном. 5. – Днепропетровск: Изд-во ДНУЖТ, 2013. – С. 24–36.
 12. Бронированный волоконно-оптический кабель. Тип: ОКТБг [Электронный ресурс]: Волоконно-оптические кабели: Одаскабелью. – Режим доступа: <http://odeskabel.com/vok-rus/volokonno-opticheskie-kabeli-s-tsentralnoj-trubkoj/26-oktbg.html>
 13. MiniXtend Cable, LT, A-DQ(ZN)2Y, 4x12 E9/125 (OS2) [Электронный ресурс]: Corning. Optical Communications. – Режим доступа: http://catalog.corning.com/opcomm/en-GB/catalog/ProductDetails.aspx?cid=loose_tube_outdoor_cables_web&pid=120305&vid=123171
 14. Бондаренко, В. Г. Технічна експлуатація систем та мереж зв'язку [Текст] / В. Г. Бондаренко. – Київ: ДУІКТ, 2013. – 697 с.
 15. КНД 45-093-97 Тимчасове керівництво з експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку міських телефонних мереж [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://dnaop.com/html/40890_4.html
 16. Надёжность оптических линий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/2-11284.html>
 17. Ларин, Ю. Т. Сравнительный анализ двух подходов к оценке надежности оптических кабелей [Электронный ресурс]. /Ю. Т. Ларин // Наука и техника. 2009. – №2 (315). С.3 –7. – Режим доступа: <http://www.kp-info.ru/images/File/3-7.pdf>

Ключові слова: волоконно-оптичний кабель, телекомунікація, довжина хвилі, мікрОВИГІНИ, макрОВИГІНИ, коефіцієнт готовності.

Ключевые слова: волоконно-оптический кабель, телекоммуникация, длина волны, микроизгибы, макроизгибы, коэффициент готовности.

Keywords: fiber-optical cable, telecommunication, wavelength, microbends, macrobends, inherent availability.

Рецензенти:
проф., д.т.н., А. Б. Бойник,
проф., д.т.н., А. М. Муха.

Поступила в редколлегию 13.04.2018.
Принята к печати 23.04.2018.