

УДК 621.315

П. Д. ЛЕЖНЮК<sup>1</sup>, Н. М. ЧЕРЕМИСИН<sup>2</sup>, В. В. ЧЕРКАШИНА<sup>3</sup>

## **ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОНИТОРИНГЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

<sup>1</sup> *Винницький національний технічний університет  
21021, Хмельницьке шосе, 95, г. Винниця, Україна*

<sup>2</sup> *Харьковский Национальный технический университет  
сельского хозяйства им. П. Василенка  
61002, ул. Энгельса, 19, г. Харьков, Украина  
Тел.: +38(057)7123432, E-mail: cheremisin.energy@rambler.ru*

<sup>3</sup> *Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»  
61002, Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина  
Тел.: +38(057)7077246, E-mail: cherk34@rambler.ru*

**Аннотация.** В статье обоснована целесообразность реализации волоконно-оптических технологий для температурного мониторинга и контроля габаритов воздушных линий электропередачи, что позволит оптимизировать потоки мощности и более эффективно управлять режимами работы электрических сетей в реальном времени.

**Ключевые слова:** электрическая сеть, мониторинг, воздушные линии, волоконно-оптические технологии, габарит линии, эффект Рамана, эффект Бриллюэна

**Анотація.** У статті обґрунтовано доцільність реалізації волоконно-оптичних технологій для температурного моніторингу та контролю габаритів повітряних ліній електропередач, що дозволить оптимізувати потоки потужності і більш ефективно керувати режимами роботи електричних мереж в реальному часі.

**Ключові слова:** електрична мережа, моніторинг, повітряні лінії, волоконно-оптичні технології, габарит лінії, ефект Рамана, ефект Бріллюэна

**Abstract.** In the article the feasibility of a fiber-optic technology for temperature monitoring and control of the size of overhead power lines that will optimize power flows, and more effectively manage the operating modes of electric networks in real time.

**Keywords:** electric network, monitor, overhead lines, fiber-optic technology, marker lines, the effect of Raman, Brillouin effect

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время условия развития электроэнергетической отрасли Украины способствуют тому, что электрические сети (ЭС) постепенно уходят от «пассивной» роли транспортных узлов. В перспективе ЭС — это сети наделенные «интеллектом», которые обладают активно-адаптивной способностью контролировать режимы работы и автоматически реагировать на изменение параметров, избегать энергетических блэкаутов, обеспечивая максимальный экономический эффект. Переход ЭС в активно-адаптивный формат позволит повысить системную надежность электросетевого комплекса, снизить потери и расход энергоресурсов, гибко регулировать потоки мощности, обусловленные колебаниями генерации и потребления.

Ответственным, и в то же время наиболее уязвимым звеном ЭС, являются воздушные линии (ВЛ) электропередачи. Поэтому выбор направления их мониторинга — это актуальная задача для электроэнергетической отрасли. Наибольший эффект можно получить за счет расширения их функциональных возможностей и формирования ВЛ как активно-адаптивных объектов ЭС.

В этом направлении ведутся работы во многих странах. Результатом этих работ является создание систем мониторинга, которые базируются на современных информационных технологиях, в том числе и волоконно-оптических, которые существенно повышают уровень «интеллекта» ВЛ и, соответственно, ЭС.

*Цель статьи.* Обосновать целесообразность реализации волоконно-оптических технологий для температурного мониторинга и контроля габаритов воздушных линий электропередачи, что позволит оптимизировать перетоки мощности и более эффективно управлять режимами работы ЭС в реальном времени.

## ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На сегодня перспективно применение волоконно-оптических технологий совместно с ВЛ электропередачи [1—3].

Для температурного мониторинга и контроля габаритов ВЛ с помощью волоконно-оптических технологий используют эффект Рамана и эффект Бриллюэна [4, 5].

Эффект Бриллюэна — это рассеяние, возникающее в результате взаимодействия акустического фонона с оптическим излучением со смещением линий на частоту фонона, что позволяет определить пороговую оптическую мощность, которая может быть передана по оптическому волокну. При превышении уровня оптической мощности в оптическом волокне возникает акустическая волна, под влиянием которой изменяется величина индекса рефракции, что приводит к дополнительной генерации акустических волн. Пороговая мощность Бриллюэна ( $P_B$ ) определяется по формуле:

$$P_B = \frac{21A_{ef}}{g_B \cdot L_{eff}} \left( 1 + \frac{\Delta V_{LS}}{\Delta V_{BW}} \right), \quad (1)$$

где  $A_{ef}$  — эффективная площадь ядра оптического волокна;  $\Delta V_{LS}$  — линейная ширина полосы лазерного источника;  $\Delta V_{BW}$  — полоса взаимодействия;  $g_B$  — усилительный коэффициент;  $L_{eff}$  — эффективная длина оптической линии.

Эффект Бриллюэна может быть использован для измерения как температуры провода ВЛ, так и для контроля её габаритов, но не одновременно.

Эффектом Рамана называют рассеяние монохроматического излучения, при котором в оптическом спектре появляются новые линии, отличающиеся от спектральной линии источника. Пороговая мощность Рамана ( $P_R$ ) определяется по формуле:

$$P_R = \frac{16K_R \cdot A_{ef}}{g_R \cdot L_{eff}}, \quad (2)$$

где  $K_R$  — числовое значение, которое зависит от поляризационного состояния волны;  $A_{ef}$  — эффективная площадь ядра оптического волокна;  $g_R$  — усилительный коэффициент;  $L_{eff}$  — эффективная длина оптической линии.

Эффективная длина оптической линии (1, 2) определяется по формуле:

$$L_{eff} = \frac{4,343}{\alpha} \left[ 1 - \frac{1}{\varepsilon^{0,23\alpha}} \right], \quad (3)$$

где  $\alpha$  — затухание;  $\varepsilon$  — битовый интервал.

Согласно [4, 5] пороговая мощность рассеяния Бриллюэна выше пороговой мощности рассеяния Рамана, что позволяет использовать одно оптическое волокно как распределенный датчик в волоконно-оптической системе мониторинга (ВОСМ) ВЛ. Основными преимуществами которой являются:

— широкая полоса пропускания, обеспечивающая возможность передачи сигналов электросвязи со скоростью до 10 Гбит/с и выше;

— низкий уровень потерь на распространение сигналов, позволяющий осуществлять их передачу без регенерации на расстояния до 120—150 км;

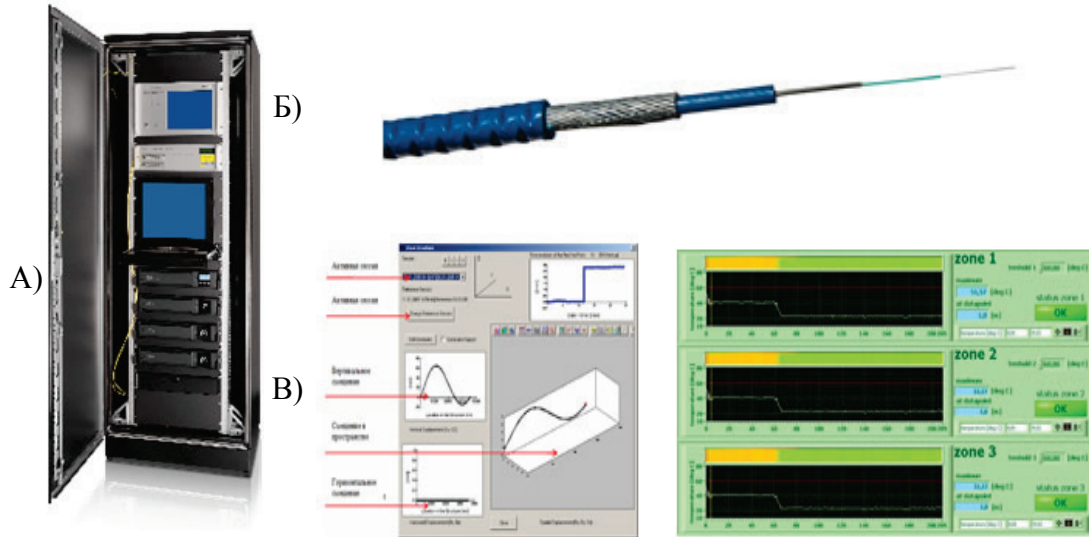
— нечувствительность к электромагнитным помехам;

— отсутствие перекрестных помех в оптических кабелях (ОК);

— малая масса и размеры ОК.

При выборе ВОСМ ВЛ необходимо учитывать следующие исходные данные:

- климатические условия;
  - рабочее напряжение и конструкцию ВЛ;
  - рельеф местности;
  - наличие пересечений;
  - количество волокон [4, 6, 7].
- ВОСМ ВЛ состоит из 3-х основных компонентов:
- анализатора;
  - протяженного (непрерывного) волоконно-оптического сенсора;
  - специализированного программного обеспечения (рис.1) [1, 2].



- A) стойка или шкаф с измерительным анализатором и вспомогательным оборудованием;  
 Б) волоконно-оптический сенсор;  
 В) специализированное программное обеспечение (ставится на сервер).

Рис. 1. Элементы волоконно-оптической системы мониторинга воздушной линии электропередачи

Диапазон действия одного анализатора составляет до 50 км, а с использованием встроенного оптического переключателя для последовательного опроса сенсора в обе стороны до 100 км.

Сенсор представляет собой непрерывный волоконно-оптический кабель специальной конструкции, которая зависит от назначения и условия применения. Сенсор — это полностью пассивное устройство, подключается с одного или двух концов к анализатору и размещается вдоль всего контролируемого объекта. Оптическое волокно внутри сенсора изменяет свои оптические характеристики при изменениях различных внешних параметров (температуры, растяжения/сжатия, акустического давления и т. д.).

Возможность контролировать протяженный объект в каждой точке, где установлен сенсор в совокупности с высокой точностью и автономной работой в режиме реального времени делают систему приемлемой для температурного мониторинга и контроля габаритов ВЛ.

Контрольно-измерительным элементом ВОСМ для мониторинга ВЛ является вмонтированный в фазный провод оптоволоконный кабель (ОКФП) [6, 7]. Количество волокон в ОКФП зависит от класса напряжения ВЛ. Одно из них представляет собой распределенный датчик для контроля и измерения параметров ВЛ в реальном времени. Требования по выбору ОКФП связаны со спецификой строительства и эксплуатации объекта, сроком его службы [6—8].

Расположение ОК внутри одного из повивов провода ВЛ позволяет проводить непрерывный температурный мониторинг и контроль габаритов линии (рис. 2) [1, 2, 6].

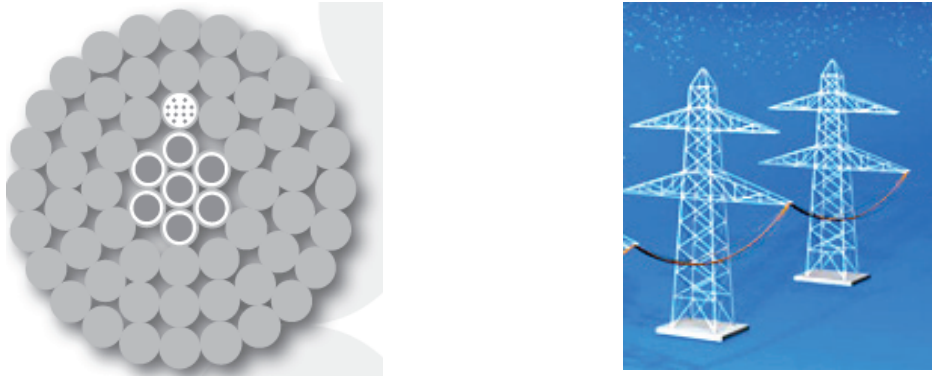


Рис. 2. Конструкция и подвеска оптического кабеля в фазном проводе на воздушной линии электропередачи

Оптическое волокно распределенного датчика ОКФП присоединяется к измерительному блоку. Кривая фиксируется и обрабатывается специализированным программным обеспечением, которое контролирует уровни мощности оптических сигналов, автоматически подстраивая их под текущие условия измерения, и оптимизирует, основываясь на требуемых характеристиках, заданных пользователем. Графический интерфейс системы позволяет разбивать трассу на секции, каждая из которых соответствует определенным характеристикам (рис. 3) [1].

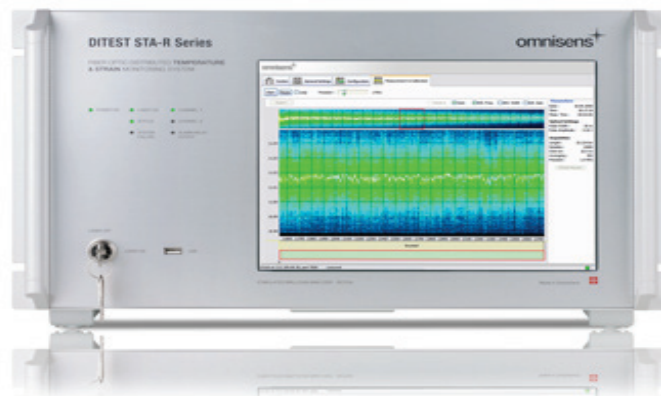


Рис. 3. Интерфейс волоконно-оптической системы мониторинга DITEST STA-R

DITEST STA-R (рис. 3) представляет систему измерения и анализа температуры и технического состояния объекта с возможностью проведения автоматических измерений без присутствия оператора в течение длительного времени. Расписание проведения измерений с использованием заданных конфигураций может быть запрограммировано и сохранено в базе данных. Встроенная функция контроля характеристик позволяет непрерывно отслеживать точность измерений, и сохранять эти показатели вместе с данными измерений для последующего анализа [1].

ВОСМ является составляющей волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) на ВЛ (рис. 4) [1, 2, 7].

Согласно рис. 4 ВОСМ расширяет возможности ВОЛС за счет дополнительной передачи информации о текущих параметрах ВЛ, что позволит оптимизировать перетоки мощности и более эффективно управлять режимами работы ЭС в реальном времени.



Рис. 4. Структурная модель реализации волоконно-оптической системы мониторинга воздушной линии электропередачи

**ВЫВОД**

Реализация волоконно-оптических технологий для температурного мониторинга и контроля габаритов воздушных линий электропередачи в реальном времени позволяет расширить функциональные возможности и формировать линии как активно-адаптивные объекты, что значительно повысит «интеллект» электрических сетей.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. <http://www.omnisens.com/ditest/> DITEST STA-R series fiber optic distributed strain and temperature analyzer.
2. <http://www.nktcables.com/ru/> Система управления электрическими сетями VALCAP® для высоковольтных кабельных и воздушных линий электропередач.
3. Повышение эффективности управления режимами электрических сетей на базе мониторинга параметров воздушных линий и окружающей среды / Лежнюк П. Д., Черемисин Н. М., Мирошник А. А., Черкашина В. В., Редько Ю. Ф. // Энергетика та електрифікація. — 2012. — № 12. — С. 34—41.
4. Иванов А. Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. — М. : Syrus Systems, 1999. — 672 с.
5. Астраханцев А. А., Онищенко Ю. В. Оценка параметров качества передачи информации в волоконно-оптических системах передачи // Восточно-Европейский журнал передовых технологий — 2010. — № 4/9 (46). — С. 74—77.
6. СТО 56947007-33.180.10.176-2014. Оптический кабель, встроенный в фазный провод, натяжные и поддерживающие зажимы, муфты для организации ВОЛС-ВЛ на линиях электропередачи напряжением 35 кВ и выше. Общие технические условия.
7. Цым А. Ю. Научные основы сооружения волоконно-оптических линий передачи (Технология ВОЛП-ВЛ) // В кн. Связь России в XXI веке. / Под ред. проф. Л. Е. Варакина. — М. : МАК, 1999. — С. 673—688.

**SPUSOK LITERATURU**

1. <http://www.omnisens.com/ditest/> DITEST STA-R series fiber optic distributed strain and temperature analyzer.
2. <http://www.nktcables.com/ru/> Sistema upravleniya elektricheskimi setyami VALCAP® dlya vyisokovoltnyih kabelnyih i vozdushnyih liniy elektroperedach.
3. Povyishenie effektivnosti upravleniya rezhimami elektricheskikh setey na baze monitoringa parametrov vozdushnyih liniy i okruzhayushey sredy / Lezhnyuk P. D., Cheremisin N. M., Miroshnik A. A., Cherkashina V. V., Redko Yu. F. // Energetika ta elektrifikatsiya. — 2012. — № 12. — S. 34—41.
4. Ivanov A. B. Volokonnaya optika. Komponenty, sistemy peredachi, izmereniya. — M. : Syrus Systems, 1999. — 672 s.
5. Astrahantsev A. A., Onischenko Yu. V. Otsenka parametrov kachestva peredachi informatsii v volokonno-opticheskikh sistemah peredachi // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy — 2010. — № 4/9 (46). — S. 74—77.
6. STO 56947007-33.180.10.176-2014. Opticheskiy kabel, vstroennyiy v faznyi provod, natyazhnyie i podderzhivayushchie zazhimi, mufty dlya organizatsii VOLS-VL na liniyah elektroperedachi napryazheniem 35 kV i vyishe. Obschie tehniccheskie usloviya.
7. Tsyim A. Yu. Nauchnyie osnovy sooruzheniya volokonno-opticheskikh liniy peredachi (Tehnologiya VOLP-VL) // V kn. Svyaz Rossii v XXI veke. / Pod red. prof. L. E. Varakina. — M. : MAK, 1999. — S. 673—688.

Надійшла до редакції 28.12.2015 р.

**ЛЕЖНЮК ПЕТР ДЕМЬЯНОВИЧ** — д.т.н., професор, заведуючий кафедрой электрических станций и систем Винницкого национального технического университета, г. Винница, Украина

**ЧЕРЕМИСИН НИКОЛАЙ МИХАЙЛОВИЧ** — к.т.н., професор кафедры энергоснабжения и энергоменеджмента Харьковского Национального технического университета сельского хозяйства им. П.Василенка, г. Харьков, Украина

**ЧЕРКАШИНА ВЕРОНИКА ВИКТОРОВНА** — к.т.н., доцент кафедры передачи электрической энергии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина