

**И.В. Денисов**

(Филиал ВУНЦ ВМФ "Военно-морская академия" (г. Калининград);  
e-mail: igordenisov@inbox.ru

## **МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ РЕФЛЕКТОМЕТРОВ**

*Представлен способ мониторинга физических полей для предотвращения чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах большой протяженности и сложной конфигурации. В основу способа положена волоконно-оптическая информационно-измерительная система (ВОИИС) на элементной базе оптической связи с применением двух оптических рефлектометров.*

*Ключевые слова: мониторинг, чрезвычайная ситуация, деформационное поле, оптический рефлектометр.*

**I.V. Denisov**

## **THE MONITORING OF DEFORMATION FIELDS OF POTENTIALLY DANGEROUS EXTENDED OBJECTS ON THE BASES OF OPTICAL REFLECTOMETERS**

*The monitoring method of physical fields to avoid of emergency situations at potentially dangerous large extent and complex configuration objects is provided. The basis of the method laid the fiber optic information-measuring system on the optical element base using two OTDRs.*

*Key words: monitoring, emergency, strain field, Optical Time Domain Reflectometer (OTDR).*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 2 марта 2014 г.

В настоящее время большое внимание привлечено к созданию новых систем обработки информации, способных управлять сложными многопараметрическими процессами в процедурах неразрушающего контроля и мониторинга состояния потенциально опасных объектов с протяженной и сложной конфигурацией [1]. Риск возникновения и развития чрезвычайных ситуаций на таких объектах характеризуется изменением механических напряжений, распределенных на их поверхностях. К таким объектам следует отнести хранилища с различными видами взрывопожароопасных жидкостей, сжиженным газом или химически опасными веществами и предметами, платформы, доки, причальные стенки, трубопроводы, наземные и подводные шахты, тоннели, мосты, перекрытия, подпорные стенки и другие протяженные объекты.

Наиболее эффективным и логичным способом комплексного многофункционального мониторинга состояния протяженных деформационных физических полей является применение в ВОИИС **волоконно-оптических измерительных сетей (ВОИС)** на основе **волоконно-оптических измерительных линий (ВОИЛ)**, уложенных по определенной конфигурации на контролируемой поверхности [2]. В результате действия физического поля на чувствительные

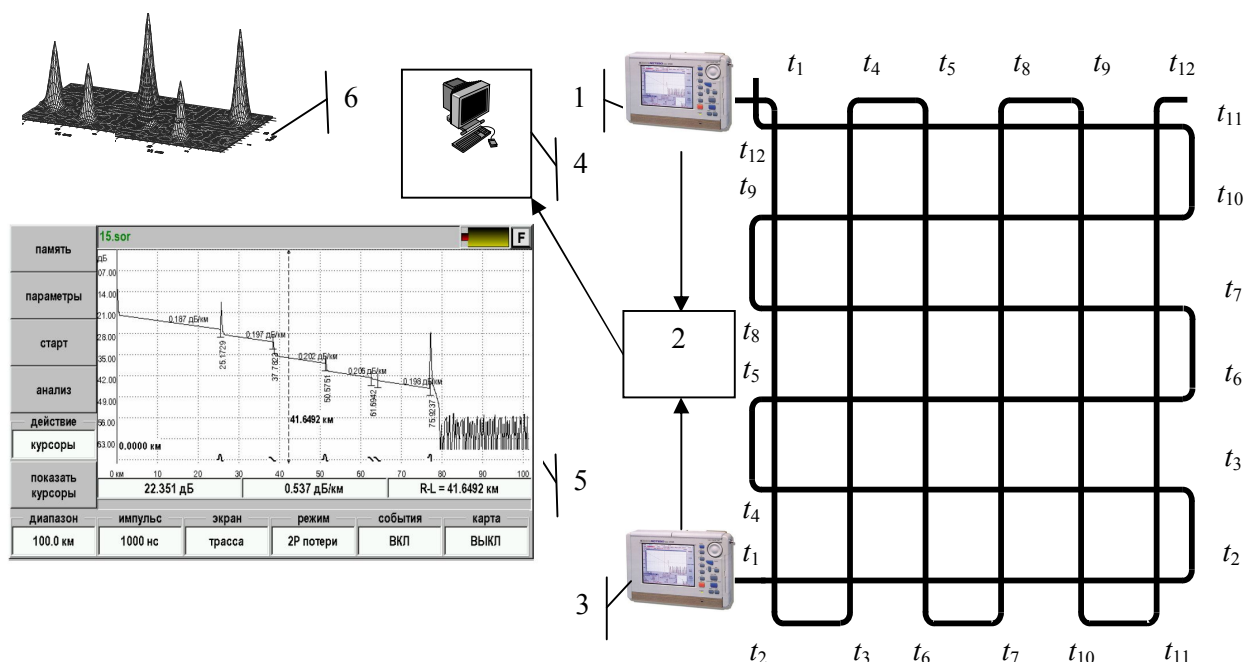
участки ВОИЛ изменяются характеристики оптического излучения, распространяющегося по ним. За счёт отслеживания изменений данного излучения возможно контролировать любые воздействия на ВОИС, приводящие к деформации *волоконных световодов (ВС)* [3].

ВОИИС способны в реальном времени определять точные координаты опасных областей в контролируемых объектах и оценивать степень критичности их состояния, что позволяет точно воздействовать именно на опасную область. Такое точечное воздействие позволяет существенно снизить материальные потери и ограничить действие на людей опасных факторов в процессе предотвращения и локализации чрезвычайных ситуаций.

Однако при мониторинге полей очень больших протяженностей возникает проблема чрезмерного увеличения ВОИЛ и усложнение алгоритма восстановления информации не только о координатах воздействий, но также и о их величинах. Для решения этой проблемы перспективным является подход на основе использования в ВОИИС *оптических рефлектометров (ОР)*, как подсистем ввода-вывода с одновременной предобработкой получаемых данных. В этом случае ОР фиксируют данные изменения и передают на подсистему обработки информации, где на основании априорной информации о конфигурации ВОИС происходит реконструкция пространственного распределения произошедшего на ней физического воздействия.

Такая ВОИИС состоит из двух измерительных каналов на основе ОР, сигналы каждого из которых вводятся в свою ВОИЛ. Каждый измерительный канал от одного ОР многократно пересекает измерительный канал другого ОР, образуя П-образную периодическую зигзагообразную укладку на исследуемой области, и работает по методу импульсно-временной рефлектометрии отраженных оптических сигналов [4]. ВОИЛ в такой системе представляют собой стандартные волоконно-оптические шнуры из многомодовых ВС, оконцованных с двух сторон стандартными волоконно-оптическими разъемами.

Оптическое излучение высокой мощности вводится излучателем каждого из ОР через направленный ответвитель одновременно, каждый в свой ВС, с длительностью импульсов, обеспечивающих прохождение только тех участков ВС, которые расположены перпендикулярно, относительно участков ВС от второго ОР, образуя взаимно пересекающиеся измерительные участки ВС (рис. 1) [5]. За счёт сформировавшихся изгибов ВС, оптическое излучение от ОР (на рисунке – 1) и (на рисунке – 3) на них частично отражается и, тем самым, обеспечивается возможность точной привязки отраженного сигнала к определенным рабочим участкам всей ВОИЛ. При этом нерабочие участки ВОИЛ одного измерительного канала, ортогональные нерабочим участкам ВОИЛ другого измерительного канала, размещают вне измерительной зоны ВОИС и изолируют от воздействия измеряемых физических полей, что исключает опасность искажения результатов измерения за счёт реакции ВОИС на внешние помехи.



**Рис. 1.** Схема волоконно-оптической информационно-измерительной системы на основе оптических рефлектометров:

1, 3 – ОР; 2 – блок согласования информации; 4 – ПК; 5 – рефлектограмма одного ОР; 6 – результат реконструкции ПК внешнего физического поля

Выбор ВС для ВОИЛ и частота их укладки производится с учётом предполагаемого распределения в спектре пространственных частот исследуемой функции распределения параметров физического поля.

При работе ОР производится анализ отражённых оптических импульсов, излучаемых им в ВС на основе явления обратного рассеяния оптического излучения в ВС и на его отражении от скачков показателя преломления на неоднородностях ВОИЛ.

Длительность оптических импульсов от ОР определяется из выражения:

$$\tau < L_p / V,$$

где  $\tau$  – длительность оптических импульсов;

$L_p$  – длина рабочего участка ВОИЛ;

$V$  – скорость света в ВС.

Фиксация и временная привязка каждого, отраженного соответствующими изгибами ВС сигнала позволяет "разделить" одну длинную ВОИЛ измерительного канала на отдельные измерительные рабочие участки и проводить из одной точки комплекс измерений по всем рабочим участкам всего измерительного канала. Причем длительность оптических импульсов для нерабочего участка ВОИЛ (ортогонального рабочему) задается следующим неравенством:

$$\tau > L_n / V.$$

Измерение затухания с использованием ОР основано на предположении, что коэффициент обратного рассеяния является постоянным для данного ВС. Поэтому в каждой точке ВС назад рассеивается одинаковое количество оптической мощности, линейно уменьшающейся на фотодиоде ОР. В случае дефекта или стыков происходит резкое увеличение обратного излучения. Внешние физические воздействия на рабочие участки ВОИЛ исследуемой области как раз и являются подобными источниками деформации ВС. За счёт этого происходит резкое уменьшение интенсивности оптического сигнала, проходящего по ВС, на расстоянии  $L_1 = \tau_1 \cdot V$  от источника оптического излучения первого ОР и на расстоянии  $L_2 = \tau_2 \cdot V$  от источника оптического излучения второго ОР.

Задавая длину оптических импульсов, посылаемых по ВС, на фотоприемниках ОР производится "считывание" информации только в тех областях ВС, которые образуют места пересечений рабочих участков измерительных зон. За счёт этих пересечений образуется система координат, в которой с помощью блока согласования информации (на рисунке – 2) на основе мультиплексора, после дополнительной обработки в персональном компьютере (ПК) (на рисунке – 4), находятся координаты внешних физических воздействий.

Эта информация, на первый взгляд, очевидно (по паспорту ОР) получается при отображении на мониторе ОР пика с провалом графической кривой, пропорциональным величине внешнего физического воздействия (на рисунке – 5). Однако, это наблюдение является неоднозначным. Поэтому в методиках по диагностике оптических трасс даже самыми совершенными рефлектометрами рекомендуется производить замеры оптических потерь с двух сторон. Для случая мониторинга состояния реальных протяженных физических полей, данное затруднение разрешается введением в процесс постобработки информации с обоих ОР вычислительных интеллектуальных алгоритмов [6]. За счёт этого такая ВОИИС позволяет однозначно реконструировать пространственное физическое поле множества внешних воздействий не только по координатам, но и по величинам основных из них (на рисунке – 6).

Проведённые измерения с использованием мини-рефлектометра ANDO AQ7250 на длине волны света 1,31 мкм позволили определять места внешних физических воздействий с точностью до 0,5 м, а величины воздействий – до 0,2 дБ (ограничен стабильностью излучателя). Динамический диапазон составил 40 дБ при (потенциальной) дальности измерительного канала (длины ВОИЛ) до 240 км.

Предложенная организация ВОИИС позволяет упростить систему восстановления распределенных параметров физических полей и повысить её быстродействие. За счёт того, что каждый измерительный канал выполнен на основе одной ВОИЛ, значительно минимизируется набор необходимых функциональных элементов, что существенно снижает материалоемкость и стоимость всей ВОИС. Использование стандартной базы оптической связи заметно уменьшает трудоемкость реализации способа, делая его доступным для внедрения и прак-

тического использования. Для такой ВОИИС обеспечивается возможность организации ВОИС произвольной конфигурации, регистрация двумя ВОИЛ множества мест внешних физических воздействий и упрощение вычислительных алгоритмов восстановления величин этих возмущений.

За счёт очень большого измерительного плеча, интеллектуальную ВОИИС на основе ОР перспективно использовать для обеспечения безопасности вплоть до километровых поверхностей потенциально опасных объектов, а также для охраны больших площадей сложной конфигурации. В силу описанных свойств данной ВОИИС, её применение позволит оперативно делать достоверные выводы по степени критичности деформационных воздействий на контролируемые объекты и существенно минимизировать усилия по поиску мест их возникновения.

Все это позволяет производить эффективный мониторинг своевременного предупреждения, оперативной локализации и быстрой ликвидации очагов возникновения чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных протяженных объектах.

#### Литература

1. *Матушкин Н.Н., Южаков А.А.* Тенденция развития информационно-измерительных систем // Методология, технология и инструментальные средства создания перспективных автоматизированных производственных систем. Пермь: НПО "Парма", 1992. С. 46-58.
2. *Кульчин Ю.Н., Денисов И.В., Каменев О.Т.* Оптоэлектронная нейророботная система обработки выходных данных волоконно-оптической измерительной сети // Письма в Журнал технической физики. 1999. Т. 25. Вып. 6. С. 65-70.
3. *Denisov I.V., Kulchin Yu.N., Panov A.V. et.al.* Neural network methods of reconstruction tomography problem solutions // Optical Memory & Neural Networks, 2005. Vol. 14. No. 1. P. 3-29.
4. *Mestdagh D.J.G.* Fundamentals of multi-access optical fiber networks. L.: Artech. House, 1995. 388 p.
5. *Кульчин Ю.Н., Денисов И.В., Каменев О.Т.* Способ контроля параметров физических полей. Патент РФ на изобретение № 2230340 от 10.06.2004 по заявке № 2002124779 от 17.09.2002.
6. *Денисов И.* Системы искусственного интеллекта: Основы, концепции и методы построения. LAP: LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2012. 196 с.