



O. N. Budadin, T. E. Troitsky-Markov, Y. V. Smirnov, V. A. Malay

Fiber-optic distribution thermal monitoring system based on the effect of Raman back scattering is described in the article. Test results in actual practice are presented.

Тепловой контроль и мониторинг технического состояния опасных объектов в условиях ограниченного доступа

32

Об авторах



Будадин
Олег Николаевич

Директор Технологического института энергетических исследований, диагностики и НК «ВЕМО», г. Москва, д. т. н., академик Российской академии космонавтики.

Троицкий-Марков
Тимур Евгеньевич

Председатель Совета Директоров Технологического института энергетических обследований, диагностики и НК «ВЕМО»,
г. Москва.

Смирнов
Юрий Владимирович

Заведующий лабораторией
Научно-производственного
объединения Кабельной про-
мышленности (НПО «ВНИИКП»)
г. Москва, к. т. н.

Малай
Виктор Андреевич

Главный специалист Государственного научного центра Российской Федерации ФГУП «Центральный НИИ химии и механики», г. Москва.

Вопросы технической безопасности и энергосбережения в настоящее время стоят особенно остро. Для России эти проблемы в силу географических, социальных и технических причин имеют первостепенную важность. Совершенно очевидным становится факт невозможности дальнейшего технологического развития страны без соответствующего, даже опережающего, развития методов и средств мониторинга и диагностики.

Необходимость повышения качества продукции, обеспечения надежности и безопасности эксплуатации сложных и потенциально опасных объектов ставят принципиально новые задачи создания методов и программно-аппаратных средств мониторинга их технического состояния. К ним относятся задачи непрерывного во времени мониторинга температурного состояния сложных и потенциально опасных конструкций в условиях ограниченного доступа и больших размеров (протяженности): шахт, тоннелей, электрических кабельных линий, глубоких скважин в земле, трубопроводов на тепловых и атомных электростанциях, емкостей для хранения агрессивных жидкостей, протяженных пожароопасных строительных объектов и т. п.

Для решения таких задач разработана и испытана отечественная система температурного мониторинга, основанная на физическом эффекте рамановского рассеяния в стандартных кварцевых многомодовых оптических волокнах [1].

Общая блок-схема разработанной системы изображена на рис. 1. На рис. 2 приведена фотография аппаратного комплекса системы. В состав оборудования входят: электронный блок 1 и волоконно-оптический кабель 2 (на рисунке он намотан на катушку), который является в системе распределенным датчиком температуры.

Принцип работы системы основан на рефлектометрическом методе измерения обратно рассеянного стимулированного рамановского излучения. Возникновение рамановского стимулированного сигнала связано с взаимодействием падающего излучения с вибрирующей вследствие температурного нагрева кристаллической решетки среды распространения излучения (оптического волокна). Интенсивность отраженного оптического сигнала зависит от температуры. Таким образом, измеряя интенсивность отраженного сигнала и зная коэффициент зависимости интенсивности от температуры, можно определить температуру источника теплового возбуждения. Измеряя рефлектометром сигнал обратного рассеяния, легко определить температуру вдоль оптического волокна и, соответственно, определить местоположение источника вдоль волокна. Волоконно-оптический кабель прокладывается по трассе, анализ температуры которой и представляет интерес. Он может лежать в земле или канализации, быть подвешен между опорами, укреплен на стенах, под потолком или под полом. Кабель может эксплуатироваться в качестве самонесущего для спуска в шахту, скважину и т. п.

На рис. 3 показан процесс прокладки волоконно-оптического кабеля-сенсора вдоль трубопровода. Это одно из возможных условий прокладки кабеля-сенсора. Конкретные модификации кабеля-сенсора допускают прокладку его вокруг трубопровода, в коллекторах и тоннелях. Варианты прокладки могут быть разнообразными, в том числе в условиях широкого диапазона температур

и механических воздействий. Кабель-сенсор допускает сварку волокон. Срок эксплуатации кабеля-сенсора 25 и более лет. Единственным требованием является неразрывность линии от контролирующего прибора до конечной точки.

На рис. 4, 5 приведены результаты мониторинга теплотрассы в условиях города. При этом контроль может осу-

ществляться за любым ответвлением линии теплотрассы.

других задач, связанных с передачей информации (телефонная связь, цифровая передача информации и т. п.).

Основные области применения

1. Пространственный постоянный или периодический мониторинг температуры по длине, поверхности или объему промышленного объекта.

– транспортные и коммуникационные тоннели;

– морские суда и ж.-д. составы, метро;

– магистральные газопроводы и нефтепроводы.

3. Системы исследования и мониторинга нефтяных и газовых трубопроводов, скважин, хранилищ.

Табл. 1. Технические характеристики системы контроля.

Технические характеристики	Численные значения
Дальность измерения, км	10
Вес электронного блока, кг	6
Вес кабеля, кг/км (типовой вариант) (по согласованию с заказчиком)	до 70 (от 70 до 15)
Разрешение по длине, м	± 3
Диапазон измерения температуры, °С (по согласованию с заказчиком)	– 60 ÷ + 70 (до + 100 и выше)
Чувствительность измерений температуры, °С	0,25 ÷ 0,5
Время измерения, мин	3 ÷ 10
Точность измерения абсолютной температуры, °С	± 1
Питание	220 В переменное (12 В постоянное)
Рабочая температура	Комнатные условия

Импульс тока накачки



Рис. 1. Блок-схема системы мониторинга

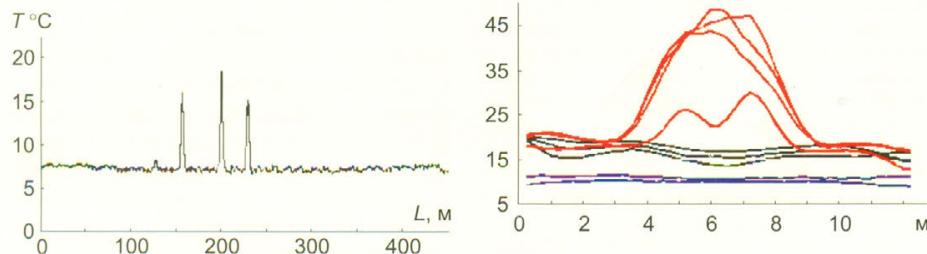


Рис. 4. Зависимость сигнала по длине кабеля, проложенного по трубопроводу (на кривой видны четыре точки с избыточным нагревом)

ществляться за любым ответвлением линии теплотрассы.

Система температурного мониторинга может быть использована для контроля и наблюдения любых протяженных пространственных объектов, например, имеющих сложную топологию, с одного пункта наблюдения.

Проложенная волоконно-оптическая линия кроме измерения температуры может одновременно решать комплекс

Рис. 5. Графики распределения температуры 13-ти метрового участка трубы теплотрассы в месте утечки воды; черные линии – участок трубы до утечки, синие линии – участок почвы в этом месте; красные линии – участок трубы в момент утечки горячей воды

2. Системы безопасности:

- атомные реакторы, химические и нефтехимические реакторы;
- котлы и другие сооружения тепловых электростанций;
- крупногабаритные сосуды и хранилища, в т. ч. нефти, зерна и пр.;
- бетонные массивы тела плотин гидроэлектростанций;

3. Системы исследования и мониторинга

- транспортные и коммуникационные тоннели;
- морские суда и ж.-д. составы, метро;
- магистральные газопроводы и нефтепроводы.

Табл. 2. Технические характеристики кабеля-сенсора.

Тип кабеля	Бронированный кабель с центральным полимерным сердечником и наружной оболочкой из шлангового полиэтилена
Количество волокон	1
Тип волокна	многомодовое волокно 50/125 мкм
Затухание на длине волны 1,3 мкм	до 0,6 дБ/км
Допустимое значение растягивающей нагрузки	до 7000 Н
Рабочий диапазон температур	– 60 ÷ + 70 °C
Наружный диаметр	не более 6 мм
Масса	не более 70 кг/км



Рис. 2. Аппаратный комплекс системы мониторинга



Рис. 3. Процесс прокладки волоконно-оптического кабеля-сенсора вдоль трубопровода

Выводы

Впервые в России на основе использования отечественных технологий разработана волоконно-оптическая распределенная система температурного мониторинга на базе эффекта обратного рамановского рассеяния.

Организовано мелкосерийное производство системы контроля. Испытания в реальных условиях показали ее высокую эффективность, достоверность контроля и достаточную для практики надежность.

Литература

1. Марьенков А. А., Лузгин А. Т., Бобров В. А. Система измерения температуры по оптическому волокну. – Фотон-Экспресс. № 2. 2005.
2. Будадин О. Н., Потапов А. И., Колганов В. И. и др. Тепловой неразрушающий контроль изделий. – М.: Наука, 2002. – 476 с.

Статья получена 13 ноября 2007 г.