

Из рис. 2 видно, что зависимости для GSM-900 и GSM-1800 почти линейны, следовательно, их можно задать через уравнения прямых:

$$\begin{aligned} & \text{- для GSM-900: } R = -21,82P - 742,13; \\ & \text{- для GSM-1800: } R = -19,605P - 742,05; \end{aligned} \quad (3)$$

где  $P$  – уровень сигнала dB/m.

С помощью зависимости (3) можно определить  $R_1$ ;  $R_2$ ;  $R_3$  и, подставив полученные значения в (2), получить координаты МС.

### Оценка погрешности

С помощью найденной зависимости можно относительно точно определить расстояние от МС до БС. Определим погрешность данного метода определения расстояния МС – БС. Для определения погрешности было сделано 150 измерений. Затем по электронной карте определено расстояние  $L_1$ , по графику (рис. 2) – расстояние  $L_2$ . Тогда абсолютная погрешность  $\Delta L = |L_1 - L_2|$ , м. Относительная погрешность  $\delta = \Delta L / L_1$ .

Обработка статистических данных показала, что максимальная относительная погрешность составила 44%. В 12% случаев погрешность составила более 40% при расстоянии 150-200 м. В 16% случаев погрешность составила 20-40% при расстоянии 200-650 м, в остальных случаях по-

грешность составила менее 20% при расстоянии 650-1000 м.

### Заключение

Предложенный метод сотового позиционирования позволяет достигать высоких показателей точности в различных условиях. Техническая реализация данного метода отличается от реализации метода Cell ID [1,2] лишь в деталях, сопоставима с ним по стоимости, в то же время значительно превосходя в точности. Таким образом, данный метод может служить экономически эффективной основой широкомасштабного развития услуг на базе определения местоположения.

### Литература

1. Громаков Ю.А., Северин А.В., Шевцов В.А. Технологии определения местоположения в GSM и UMTS. М.: Эко-Трендз, 2005. – 144 с.
2. Штанько Н.Н. Методика определения местоположения абонента в сетях GSM. // Докл. 9-й МНТК «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (DSPA-2007). Москва, 2007. – С.171-173.
3. GSM Rec. 05.08. Digital Cellular Communications Systems. Radio Subsystem Link Control. ETSI.

## ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 621.396.93:681.7.068

### СТРУКТУРНАЯ МИНИМИЗАЦИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Куревин В.В., Морозов О.Г., Просвирина В.П., Салихов А.М., Смирнов А.С.*

В статье излагается методический подход к обоснованию структурной минимизации волоконно-оптических сенсорных сетей для инструментального мониторинга районов дислокации экологически и промышленно опасных веществ. Рассмотрена общая постановка задачи и предложены методы и методики для ее решения, основанные на двухчастотных и двухволновых методах зондирования волоконно-оптических датчиков на базе решеток Брэгга.

### Введение

Основной задачей инструментального мониторинга районов дислокации экологически и промышленно опасных веществ (ЭПОВ) является обнаружение и регистрация источников экологических нагрузок, находящихся в пределах указанных районов и непосредственной бли-

зости от них [1]. Всегда следует рассматривать структурированную экологическую систему, в которой важны как возможное влияние объекта мониторинга на экологическую обстановку региона, так и влияние внешних угроз (террористических, техногенных, природных и т.д.) на экологическую обстановку объекта, который является составным элементом окружающей природной среды (ОПС). В связи с этим физический уровень сетей мониторинга (СМ) должен содержать датчики параметров состояния ОПС, условий хранения ЭПОВ (температура, влажность, давление и т.д.), сигнализации (возгорание, запыленность и т.п.), охраны периметра и т.д.

Последнее десятилетие основные претензии на лидерство в области построения СМ принадлежат беспроводным и волоконно-оптическим

технологиям [2]. При этом преимущества последних объясняются возможностями обеспечения высокой помехоустойчивости, низкого уровня перекрестных искажений, работы в условиях предъявления очень высоких требований по электро-, пожаро- и взрывобезопасности, с другой – наличием широкого спектра волоконно-оптических датчиков, среди которых следует выделить волоконные решетки Брэгга (ВРБ), позволяющие измерять все указанные выше физические поля и процессы, а также высокой плотностью мультиплексирования ВРБ с использованием технологии спектрального разделения (WDM).

Однако, если беспроводные «mesh»-технологии завоевывают сегодня все новые рынки [3], волоконно-оптические сенсорные технологии практически не вышли из лабораторий: их применение представлено, либо СМ с малым количеством датчиков [4], либо эксклюзивными многоточечными проектами нефтегазового комплекса [5].

По нашему мнению, это объясняется рядом факторов, среди которых следует выделить следующие:

- применение спектральных методов измерительного преобразования, сложной и дорогостоящей аппаратуры (оптических анализаторов спектра и т.п.) для их реализации;
- ограниченное количество измерительных каналов, которое может быть построено в одном волокне, без предъявления особых требований на стабильность источников зондирующего излучения;
- опасность возникновения существенных перекрестных искажений при использовании в измерительном канале одинаковых или однотипных ВРБ, объединенных в последовательные группы;
- мультипликативность отклика ВРБ на физические поля различной природы.

Цель настоящей работы заключается в попытке решения задач структурной минимизации СМ на основе разработки:

- эффективных методов и средств измерения параметров различных физических полей, исключающих использование дорогостоящих средств оптического спектрального анализа;
- методических рекомендаций по выбору решений для одновременной регистрации полей различной физической природы с помощью одной или нескольких ВРБ, в том числе объединенных в группу, сокращающих используемое число измерительных каналов и датчиков.

## Двухчастотное зондирование ВРБ

Один из возможных путей решения основан на зондировании ВРБ двухчастотным излучением, средняя частота которого при калибровке настроена на центральную частоту огибающей спектра ВРБ, и определении ее расстройки и/или разности амплитуд между составляющими как информативных факторов для определения параметра приложенного физического поля.

Двухчастотная методика измерений находит все больше приложений в различных задачах, например: для исследования контуров поглощения атмосферных газов [6], измерения толщины диэлектрических покрытий [7], анализа огибающей спектра ВРБ [8], оценки температурного дрейфа избирательных устройств линий связи [9] и т.д. Различия заключаются в параметрах используемого двухчастотного сигнала или излучения, требованиях, предъявляемых к их стабильности и методике измерительного преобразования.

В данной работе будем использовать двухчастотное излучение, полученное по способу Ильина-Морозова в модуляторе Маха-Цандера [10, 11], отличающееся как высокой спектральной чистотой и стабильностью при допустимом изменении параметров формирования, так и возможностью простой перестройки разностной частоты для использования с различными по характеристикам ВРБ. Указанные обобщенные характеристики удовлетворяют требованиям к построению источников зондирующих излучений для волоконно-оптических сенсорных сетей [12]. В качестве методики измерительного преобразования выберем интегральную методику анализа характеристик огибающей прошедшего через или отраженного от ВРБ двухчастотного излучения.

Центральная или резонансная частота ВРБ  $\lambda_{\text{ВРБ}}$  определяется следующим выражением:

$$\lambda_{\text{ВРБ}} = 2n_{\text{эфф}}\Lambda, \quad (1)$$

где  $n_{\text{эфф}}$  – эффективный показатель преломления основной моды,  $\Lambda$  – период его модуляции. Огибающую спектра ВРБ по отражению  $R$ , выраженную через расстройку  $\delta$ , можно определить как [13]:

$$R = \frac{\sinh^2 \left[ \kappa L \sqrt{1 - (\delta/\kappa)^2} \right]}{\cosh^2 \left[ \kappa L \sqrt{1 - (\delta/\kappa)^2} \right] - (\delta/\kappa)^2}, \quad (2)$$

где  $L$  – длина ВРБ,  $\kappa$  – коэффициент связи прямой и обратной мод,  $(\delta/\kappa)$  – относительная расстройка. Расстройка ВРБ с периодом  $\Lambda$  равна  $\delta = \Omega - (\pi/\Lambda)$ , где  $\Omega = 2\pi n_{\text{эфф}}/\lambda$ .

Будем считать, что амплитуды составляющих зондирующего двухчастотного излучения, равны,  $A_1 = A_2 = 1$  и имеют противоположные начальные фазы. Частоты составляющих симметричны относительно средней расстройки ВРБ  $\delta = \delta_0$  и равны  $\delta_{01} = \delta_0 + \Delta\delta/2$  и  $\delta_{02} = \delta_0 - \Delta\delta/2$ , где  $\Delta\delta$  – расстройка между частотами составляющих, которая для оптимальных по чувствительности измерений должна соответствовать спектральной ширине ВРБ на полувысоте. Тогда отраженные от ВРБ составляющие имеют одинаковые начальные фазы и равные амплитуды  $R_1 = R_2$ .

Резонансная длина волны ВРБ  $\lambda_{\text{ВРБ}}$  зависит от температуры волокна и от приложенных к нему механических растягивающих или сжимающих напряжений. Эта зависимость описывается следующим уравнением [14]:

$$\Delta\lambda_{\text{ВРБ}} = 2n_{\text{эфф}}\Lambda \times \left( \left\{ 1 - \left( \frac{\xi^2}{2} \right) [P_{12} - \nu(P_{11} + P_{12})] \right\} \varepsilon + \left[ \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial T} + \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} \right] \Delta T \right), \quad (3)$$

где  $\Delta T$  – изменение температуры,  $\varepsilon$  – приложенное напряжение, второе слагаемое в фигурной скобке отражает коэффициент фотоупругости. Это соотношение дает типичные значения смещения  $\lambda_{\text{ВРБ}}$  в зависимости от температуры  $\sim 0,01$  нм/К и от относительного удлинения волокна  $\sim 10^3 (\Delta L/L)$  нм.

При смещении контура ВРБ, вызванного приложением физических полей, появляется неравенство  $R_1 \neq R_2$  и восстановление противофазности составляющих двухчастотного излучения. Вид неравенства и знак фазы определяется направлением сдвига контура ВРБ, то есть увеличением или уменьшением параметра приложенного поля.

Анализ амплитуд и фаз полученных составляющих может быть проведен отдельно после их выделения оптическими фильтрами или временного разделения в дисперсной среде, однако эти методы возвращают нас к проблемам сложного спектрального эталонирования [15]. Поэтому было предложено провести обработку по огибающей выходного двухчастотного излучения.

Амплитуда огибающей  $U_R$  определяется как:

$$U_R \approx \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + 2R_1R_2 \cos(k\Delta\delta t)}, \quad (4)$$

а мгновенная фаза:

$$\varphi_R \approx \arctg \left\{ \frac{\sin[(\varphi_{R_2} - \varphi_{R_1}) + k\Delta\delta t]}{R_1/R_2 + \cos[(\varphi_{R_2} - \varphi_{R_1}) + k\Delta\delta t]} \right\}, \quad (5)$$

где  $\varphi_{R_1}, \varphi_{R_2}$  – соответственно фазы выходных составляющих  $R_1$  и  $R_2$ .

Для обработки полученных значений по амплитуде введем коэффициент модуляции  $m$ :

$$m \approx \sqrt{1 + (\delta_0 + \Delta\delta/2)^2} / \sqrt{1 + (\delta_0 - (\Delta\delta/2))^2}, \quad (6)$$

а по фазе – найдем разность фаз огибающих  $\Delta\varphi$  входного и выходного излучений.

Пример полученных измерительных характеристик температурного датчика на базе ВРБ по амплитуде и фазе представлен соответственно на рис. 1 и рис. 2.

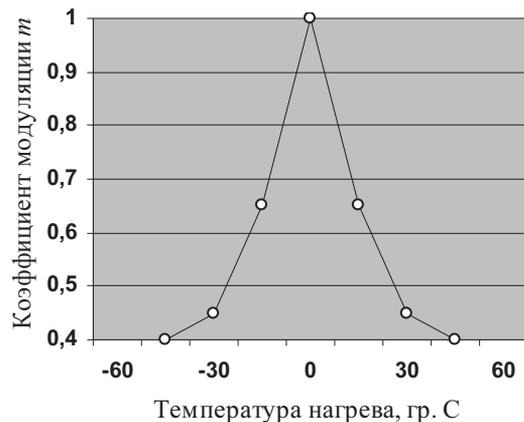


Рис.1. Измерительная характеристика датчика по температуре (амплитудный анализ)

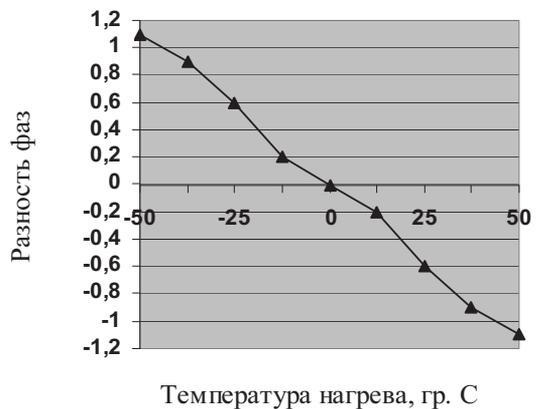


Рис.2. Измерительная характеристика датчика по температуре (фазовый анализ)

Если амплитудная характеристика измерений (см. рис. 1) имеет симметричный характер, то фазовая (см. рис. 2) позволяет разрешить знак смещения. Преимущества амплитудной характеристики проявляются при работе в области «ну-

левого» параметра, где для фазовой характеристики находится область малых сигналов.

Испытания опытного устройства были проведены на ВРБ, изготовленных в НЦВО ИОФ РАН (Москва), откалиброваны в лаборатории ПГУТИ (Самара), и показали, что использование способа двухчастотного зондирования ВРБ позволило достичь погрешности измерения температуры 0,01 °С в диапазоне  $\pm 50$  °С. При этом погрешность измерения определялась в основном погрешностью АЦП контроллера определения температуры.

Диапазон измеряемых физических полей (температуры, напряжения и т.д.) определяется чувствительностью решетки к измеряемому параметру и величиной разностной частоты зондирующего излучения, так что в крайних точках диапазона частотного смещения решетки составляющие излучения не должны выходить за уровень  $(0,05 - 0,1)R_0$ , где  $R_0$  – коэффициент отражения ВРБ на центральной частоте. Известны линейные отклики ВРБ по частоте в диапазонах температур до 500 °С и напряжений 2000 ε.

### Двухволновые методы одновременной и раздельной регистрации различных физических полей

Представленная зависимость (3) частотного смещения контура ВРБ от параметров внешних температурных полей и полей напряжения, наглядно иллюстрирует одну из проблем сенсорных систем на базе ВРБ – мультипликативность их отклика на различные воздействия.

Проблема разделения информации от различных физических полей решается с момента создания сенсорных систем на базе ВРБ и на сегодняшний день имеет широкий спектр найденных решений [16-20].

Создание СМ ставит задачу универсализации используемой элементной базы для построения датчиков физического уровня и методологии доставки и обработки информации соответственно на ее транспортном и программно-вычислительном уровнях. Учитывая эти замечания, можно сделать следующие выводы.

Использование одной ВРБ и методов различения калибровочных характеристик [16], конструктивной изоляции одного из полей [17] и применения специальных типов волокон [18] по ряду факторов не удовлетворяют требованиям универсализации.

Варианты с использованием двух ВРБ представляются более универсальными, простыми и незначительно нарушают процедуры транспорта

информации и ее программной обработки в СМ. Рассматривая как недостаток, пространственный разнос двух последовательно установленных ВРБ на одном волокне, особое внимание следует уделить использованию сдвоенных ВРБ [19] и комбинированного использования ВРБ и длинно-периодных (ДП) ВРБ [13].

1. Сдвоенные ВРБ создаются при облучении одной и той же зоны волокна двумя лазерами, установленными сначала под углом  $\vartheta_1$  и формирующими решетку с центральной длиной волны  $\lambda_1$ , а затем – под углом  $\vartheta_2$  с формированием решетки с центральной длиной волны  $\lambda_2$ .

На транспортном уровне это выражается в необходимости использования двух двухчастотных источников зондирования с центральными частотами равными соответственно  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .

В этом случае расстройкам, полученным при двухчастотном зондировании, не ставится прямое соответствие какой-либо из физических величин, а проводится дополнительная процедура вычислений по следующему алгоритму, который составляет дополнительное программное обеспечение СМ.

Выходные сигналы  $U_{R1}$  и  $U_{R2}$  описываются следующими выражениями

$$U_{R1} = \delta_{T1}(\lambda_1)T + \delta_{\varepsilon1}(\lambda_1)\varepsilon, \quad (7)$$

$$U_{R2} = \delta_{T2}(\lambda_2)T + \delta_{\varepsilon2}(\lambda_2)\varepsilon, \quad (8)$$

где  $\delta_{T1}(\lambda_1), \delta_{\varepsilon1}(\lambda_1), \delta_{T2}(\lambda_2), \delta_{\varepsilon2}(\lambda_2)$  – известные коэффициенты на измерительных характеристиках, соответствующие зависимостям расстройки решеток, предварительно настроенных на длины волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  по температуре и механическому напряжению.

Отсюда

$$T = \frac{U_{R1}\delta_{\varepsilon2}(\lambda_2) - U_{R2}\delta_{\varepsilon1}(\lambda_1)}{\delta_{T1}(\lambda_1)\delta_{\varepsilon2}(\lambda_2) - \delta_{T2}(\lambda_2)\delta_{\varepsilon1}(\lambda_1)}, \quad (9)$$

$$\varepsilon = \frac{U_{R2}\delta_{T1}(\lambda_1) - U_{R1}\delta_{T2}(\lambda_2)}{\delta_{T1}(\lambda_1)\delta_{\varepsilon2}(\lambda_2) - \delta_{T2}(\lambda_2)\delta_{\varepsilon1}(\lambda_1)}. \quad (10)$$

Эти математические вычисления, в данном случае при амплитудном анализе, выполняются в программном блоке СМ и позволяют одновременно получить значения параметров температуры и напряжения в зоне расположения сдвоенной ВРБ.

2. ДП ВРБ имеют относительно большую длину  $L = 100 - 500$  мкм и связывает основную моду с модами оболочки, которые распространяются в том же направлении. Энергия, перешедшая в оболочечную моду, поглощается в защитном

покрытии на неочищенном участке световода, что приводит к появлению полосы поглощения в спектре пропускания световода с записанной в нем решеткой [14].

Комбинированное применение ВРБ и ДП ВРБ для одновременной и раздельной регистрации параметров физических полей основано на различиях в реакции указанных решеток на температуру и напряжение.

Огибающую спектра ДП ВРБ по пропусканию  $T$ , выраженную через расстройку  $\delta$ , можно определить как [13]:

$$T = \frac{\cos^2 \left[ \kappa^{(m)} L \sqrt{1 + \left( \frac{\delta^{(m)}}{\kappa^{(m)}} \right)^2} + \left( \frac{\delta^{(m)}}{\kappa^{(m)}} \right)^2 \right]}{1 + \left( \frac{\delta^{(m)}}{\kappa^{(m)}} \right)^2}, \quad (11)$$

где  $m$  – номер связываемой оболочечной моды.

Температурная чувствительность сдвига резонансной длины волны для ДП ВРБ  $\Delta\lambda_{\text{ДПВРБ}}/\Delta T$  зависит от номера связываемой оболочечной моды и обычно составляет  $\sim 0,05 - 0,1$  нм/К. Соотношение, описывающее температурную чувствительность решетки, представляется выражением [14]:

$$\frac{\Delta\lambda_{\text{ДПВРБ}}}{\lambda_{\text{ДПВРБ}}} = \frac{1}{1 - \Lambda \left( \frac{\partial(\Delta n_{\text{эфф}})}{\partial\lambda} \right)} \left( \frac{\partial(\Delta n_{\text{эфф}})}{\partial T} + \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial\Lambda}{\partial T} \right) \Delta T, \quad (12)$$

где  $\Delta n_{\text{эфф}}$  – разность эффективных показателей преломления основной и оболочечной мод.

Синтезируем сдвоенный датчик с одной ВРБ и одной ДП ВРБ, при этом полуширина полосы пропускания последней лежит в диапазоне  $[\lambda_1; \lambda_2]$ . ВРБ настроена на длину волны  $\lambda_2$ . При нагружении датчика происходит смещение спектра решеток обоих типов: к температуре более чувствительна ДП ВРБ, к давлению – ВРБ.

Аналогично двухчастотному способу предложенному для анализа ВРБ, определяется коэффициент модуляции и разность фаз для двух сигналов на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , прошедших через ДП ВРБ. Вторая группа уравнений для разрешения температуры и напряжения определяется по расстройке двухчастотного сигнала в ВРБ с центральной длиной волны  $\lambda_2$ .

Полученные уравнения при амплитудном анализе имеют вид аналогичный (9)-(10), при этом коэффициент модуляции для ДП ВРБ может быть определен как:

$$m_{1,2} = \left( \sqrt{R_1} - \sqrt{R_2} \right) / \left( \sqrt{R_1} + \sqrt{R_2} \right), \quad (13)$$

где  $R_{1,2}$  – коэффициент отражения ДП ВРБ соответственно на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .

Параметры физических полей могут быть найдены при решении следующего уравнения:

$$\begin{bmatrix} m_{1,2} \\ m_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{T1,2} & \delta_{\varepsilon 1,2} \\ \delta_{T2} & \delta_{\varepsilon 2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon \\ T \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Оба рассмотренных варианта представляются наиболее приемлемыми для решения задачи одновременных и раздельных измерений параметров физических полей разной природы. Датчики на сдвоенных решетках могут быть использованы в сетевых структурах контроля поверхностей, больших площадей и т.д. Комбинированные датчики могут быть использованы для измерения в отдельных точках, в которых предъявляются более высокие требования по точности измерений. В обоих случаях соблюдены требования по универсализации элементной базы физического уровня СМ.

### Двухволновое зондирование группы однотипных ВРБ

Минимизация количества каналов, задействованных для обслуживания физического уровня СМ, является одной из важных задач при ее проектировании. При сохранении метрологических требований к элементной базе системы, наличие свободных каналов позволяет реализовать резервирование, организовать каналы обратной связи, оперативно менять конфигурацию системы, вводить новые группы датчиков, например, регистрации возгорания, лидарного мониторинга параметров атмосферы, телевизионных каналов наблюдения и т.д.

Для минимизации могут быть использованы структуры каналов, содержащие однотипные датчики, объединенные в группы в определенном порядке с изменяющимся по определенному закону коэффициента отражения, ширины полосы пропускания ВРБ и т.д. [20]. При этом подразумевается спектральный анализ получаемой информации.

Двухчастотное зондирующее излучение не использовалось ранее для построения систем получения информации с группы однотипных датчиков. Однако использование непрерывного лазерного излучения позволяет предположить возможность использования частотного мультиплексирования для реализации систе-

мы, даже если все решетки в волокне канала будут одинаковы.

В качестве технологии мультиплексирования была предложена частотная рефлектометрия, как наиболее согласованная с предложенной и используемой нами методикой двухчастотного анализа ВРБ.

Двухчастотное лазерное излучение через волоконные ответвители поступает в интерферометры опорного и измерительного плеч системы. Опорный интерферометр содержит одну из ветвей, образованную волокном длины  $L$ , равной длине ветви измерительного интерферометра, на которой расположена последовательность перекрывающихся ВРБ.

Опорный интерферометр имеет разность длин оптических путей  $2nL$ , где  $n$  – эффективный коэффициент преломления волокна. Выходной сигнал опорного интерферометра может быть записан в виде:

$$D_{\text{оп}} = \cos(4\pi nL_1/\lambda_1) + \cos(4\pi nL_2/\lambda_2), \quad (15)$$

где  $\lambda_1 = \lambda_0 - \Delta\lambda$ ,  $\lambda_2 = \lambda_0 + \Delta\lambda$  – компоненты двухчастотного излучения при соответствии центральной длины волны лазера  $\lambda_0$  разности длин  $2nL$ ,  $L_1$  и  $L_2$  соответствуют  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Таким образом, частоты сигналов (16) пропорциональны компонентам  $L$ , а шаг интерферометра  $\Delta k = \pi/nL$ .

Сигнал измерительного интерферометра будем определять по центральной  $i$ -ой частоте  $i$ -ой ВРБ:

$$D_{\text{изм}} = \sum_i \left[ R_{1i} \cos(4\pi nL_{1i}/\lambda_1) + R_{2i} \cos(4\pi nL_{2i}/\lambda_2) \right]. \quad (16)$$

Таким образом, после фильтрации и процедуры БПФ отраженный от каждой решетки двухчастотный сигнал с учетом  $i$ -ой амплитуды зондирования и спектрального коэффициента отражения может быть обработан с помощью предложенной методики анализа огибающей.

По жертвовав крутизной измерительного преобразования, которая максимальна при равенстве  $\Delta\lambda$  полуширине ВРБ, мы смогли повысить отношение сигнал/шум системы, уменьшив требуемую для обработки полосу пропускания, и увеличить число анализируемых ВРБ (слабоотражающие ВРБ с коэффициентом 1...25%, полуширина ВРБ – 0,2...1 нм, температурный коэффициент – 0,15...15 пм/°С, диапазон измеряемых температур – 80...+80°С).

Однако проблемой такого решения может являться наличие большого количества переотраже-

ний между ВРБ в группе, которые будут определять уровень перекрестных искажений системы. Для их устранения воспользуемся методом анализа распространения электромагнитной волны через многослойную диэлектрическую среду. При этом диэлектрические слои определяются чередующимися отрезками волокна и решетками.

Алгоритм послойного вычисления основан на допущении, что только отражение от первой ВРБ определяет основной вклад в первую точку отклика группы однотипных датчиков, поскольку последующие отражения приходят со значительной временной задержкой. На первом шаге по первому отраженному сигналу вычисляется матрица Джонса для первого отрезка волокна и первой ВРБ. На втором шаге по разности частот зондирующего и принятого сигнала в первой точке вычисляется фаза первой ВРБ. Фаза первой точки для начала отсчета принята равной 0. На третьем шаге по матрицам Джонса вычисляется матрица распространения и матрица обратного рассеяния для следующего участка волокна и следующей ВРБ. После нахождения данных матриц может быть определено оптическое поле на следующей секции волокно-датчик и первая ВРБ может быть исключена из дальнейшего распространения. На следующем шаге вторая ВРБ становится первой и находятся матрицы Джонса для нового участка волокна и новой ВРБ. Процесс повторяется пока все фазы и матрицы не будут рассчитаны.

Необходимо заметить, что при расчетах не учитывают состояние поляризации в волокне, поэтому начальная фаза равна 0, а начальные величины являются скалярными. Отражение в ВРБ задается ранее определенным при ее изготовлении коэффициентом отражения, участки волокна оцениваются по потерям.

Применимость такого решения на физическом уровне определяется использованием датчиков для контроля зон с достаточно стабильными параметрами, например, температуры на складах и т.д. При этом достигаемая структурная минимизация выражается в использовании одного измерительного канала для анализа группы датчиков.

### Заключение

Поставлена задача структурной минимизации физического уровня сетей инструментального экологического мониторинга.

Для ее решения разработан двухчастотный метод измерения параметров физических полей и обоснованы методические рекомендации по выбору вариантов одновременной и отдельной регистрации полей различной физической природы с помощью одной или нескольких ВРБ, в том числе объединенных в группу.

Предлагаемый подход может стать основой для дальнейшего развития научно-методического аппарата создания сетей инструментального экологического мониторинга.

### Литература

1. Военная экология. Под ред. А.И. Юнака и А.В. Тертышников. М.: МО РФ, 2005. – 220 с.
2. Бурков В.Д., Крапивин В.Ф. Экоинформатика: алгоритмы, методы и технологии. М.: МГУЛ, 2009. – 432 с.
3. Александриди Т.М., Морозов И.А. Выбор типа беспроводной сети при построении системы экологического мониторинга // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. № 12, 2006. – С. 24-28.
4. Бурков В.Д., Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Повышение экономической эффективности информационно-измерительных систем природного мониторинга // Экономика природопользования. № 6, 2007. – С. 11-16.
5. Буймистряк Г.Я., Гулиянц Р.Ц., Мелехов Ю.С. Интегрированная система безопасной эксплуатации морских магистральных газопроводов на арктическом шельфе // Оборонный заказ. №17, 2007. – С. 64-69.
6. Ильин Г.И., Царева М.А. Особенности поведения фазы сигнала биений в дифференциальных лидарных системах // Оптика атмосферы и океана. Тезисы докладов VII МС. Томск: ИОА СО РАН, 2000. – С. 112.
7. Богданов Н.Г., Плотников С.Н., Щекотихин С.Н. Контроль толщины немагнитных покрытий на ферромагнитной основе // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. № 12, 2007. – С. 30-33.
8. Aybatov D.L., Morozov O.G. Two-frequency scanning of FBG with arbitrary reflection spectrum // Proc. SPIE. V. 6605, 2007. – P. 660506-1 – 660506-9.
9. WO 020838. Thermal drift compensation system and method for optical network / Weaver T. 2008. – 40 p.
10. SU 1338647. Способ преобразования одночастотного когерентного излучения в двухчастотное // Ильин Г.И., Морозов О.Г. 2004.
11. Айбатов Д.Л., Морозов О.Г., Просвирина В.П., Смирнов А.С., Алюшина С.Г. Источник двухчастотного лазерного излучения для спектрометрии ВРБ // Волоконные лазеры: Материалы Российского НС. Уфа, УГАТУ, 2009. – С.54.
12. Волоконно-оптические датчики. Под ред. Э. Удда. М.: Техносфера, 2008. – 345 с.
13. K. Srimannarayana et al. Fiber Bragg grating and long period grating sensor for simultaneous measurement and discrimination of strain and temperature effects // Optica Applicata, Vol. XXXVIII, № 3, 2008. – P. 601-609.
14. Васильев С.А., Медведков О.И., Королев И.Г., Дианов Е.М. Фотоиндуцированные волоконные решетки показателя преломления и их применения // Фотон-Экспресс. № 6, 2004. – С. 163-183.
15. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
16. WO 0212917. Fiber Optic Temperature and Pressure Sensor and System Incorporating Same // Chen Yu. 2008. – 21 p.
17. Karalekas D. On the use of FBG sensors for measurement of curing strains in photocurable resins // Rapid Prototyping Journal. Vol. 14, № 2, 2008. – P. 81-86.
18. Andreev V.A., Burdin V.A., Troshin A.V. Analysis of spectral characteristics of Rayleigh scattering parameters for different types of single-mode fibers // Proc. of SPIE, V. 6277, 2005. – P. 72-81.
19. US 5380995. Fiber optic grating sensor systems for sensing environmental effects // Udd E., Clark T.E. 1995. – 34 p.
20. RU 2005133274. Опволоконная мультисенсорная система датчик температуры (деформации) // Бабин С.А. 2005.

УДК 681.3

## ОБЩИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ РАБОТОЙ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ

*Леохин Ю.Л.*

Предлагается подход к управлению корпоративной сетью, учитывающий ориентацию на решение прикладных задач. Определены пространство состояний и параметры управления сетью. Выделены два уровня управления и приведены постановки задач управления для каждого уровня.

### Введение

Корпоративная сеть является сложным многомерным объектом, основным назначением которого является обеспечение заданного качества решения прикладных задач. Обеспечение выпол-