



сигнала, выбранных за время $2T_c$. Далее параллельно во времени рекуррентным методом на основе АСО осуществляется вычисление N оценок текущего значения управляющего кода РСЛОС. Для вычисления i -й оценки ($i = \overline{1, N}$) в качестве входного сигнала используется фрагмент $\{y_3^i(k)\}$ запомненной последовательности $\{y_3(k)\}$ длительностью N_c , сдвинутый относительно её начала на $(i-1)\frac{N_c}{N}$ отсчётов:

$$y_3^i(k) = \begin{cases} y_3(k) & \text{при } (i-1)\frac{N_c}{N} < k \leq (i-1)\frac{N_c}{N} + N_c \\ 0 & \text{при других } k \end{cases}$$

После этого осуществляется тестирование правильности полученных результатов, реализуемое параллельно во времени с использованием N корреляторов. На один из входов подаётся сигнал, пришедший из канала и задержанный на время t_n , а на второй – опорный сигнал, формируемый как промодулированная последовательностью $\{c_n\}$ совокупность отсчётов несущего колебания с частотой $f_{h,k}$, задаваемой соответствующей оценкой управляющего кода РСЛОС. Синхрокод РСЛОС, обеспечивший наилучший положительный результат тестирования, принимается за окончательное решение задачи поиска. При этом оказывается решённой и задача первоначального фазирования последовательностей $\{\hat{c}_n\}$ и $\{c_n\}$.

Предлагаемое решение апробировано на имитационной модели.

Литература

1. Гаранин, М.В. Системы и сети передачи информации./ М.В. Гаранин, В.И. Журавлёв, С.В. Кунегин – М.: Радио и связь, 2001.– 335 с.
2. Султанов, Б. В. Исследование метода быстрого поиска в системах с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. / Б.В. Султанов, Н.Б. Румянцев, С.Л. Зефирин // Радиотехника и электроника, 2013, том 58, №6, с. 583-591.

А. М. Сундеев, М.Д. Лимов, А.С. Домашева, М.Н. Осипов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУХКООРДИНАТНОГО ОПТИЧЕСКОГО СЕЙСМОДАТЧИКА

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева)

Среди огромного разнообразия проблем по обеспечению инженерно-технической безопасности любого объекта одной из важных задач является защита его периметра как первого и наиболее ответственного рубежа охраны. Обнаружение и предотвращение попыток несанкционированного проникновения осуществляется техническими методами защиты, которые устанавливаются



по периметру охраняемого объекта. Среди средств защиты можно выделить такие, как фотоэлектрические датчики, радиолучевые средства защиты, магнитометрические, вибрационные, волоконно-оптические и сейсмические системы обнаружения. В последнее время особое внимание уделяется сейсмодатчикам, использующим оптические методы для получения более высокой чувствительности [1,2]. В статье [3] рассмотрен метод обнаружения сейсмических волн на основе интерферометра Майкельсона со сферическими волнами. В работе были проведены теоретические и экспериментальные исследования, которые показали возможность регистрации вибрационных волн на основе интерферометра Майкельсона на сферических волнах с высокой чувствительностью. Недостатком предложенной схемы является то, что в зависимости от расположения интерферометра регистрируются по отдельности только продольные или поперечные виброколебания исследуемой поверхности.

В общем случае возникает необходимость одновременной регистрации продольных и поперечных виброколебаний исследуемой поверхности. Для решения данной проблемы предлагается оптическая схема, представленная на рисунке 1, которая позволит одновременно регистрировать как продольные, так и поперечные виброколебания.

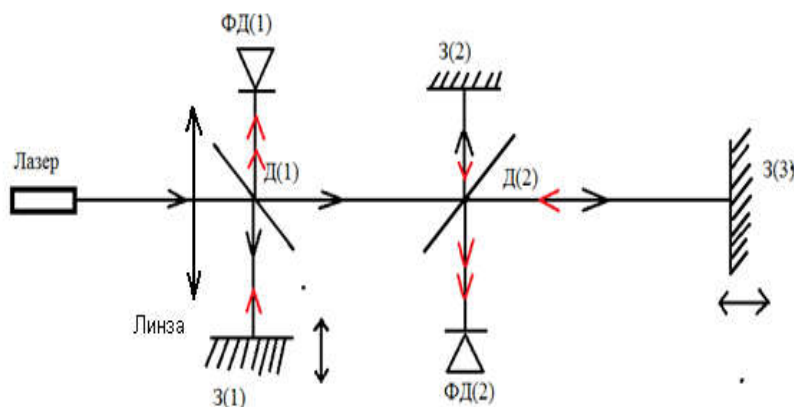


Рисунок 1 – Оптическая схема регистрации продольных и поперечных волн

Из анализа предлагаемой оптической схемы, видно что она содержит две объединенные оптические схемы Майкельсона. Первая схема состоит из фотодетектора ФД(1), измерительного зеркала З(1), опорного зеркала З(2) и светоделителя Д(1). Вторая схема состоит из фотодетектора ФД(2), измерительного зеркала З(3), а также опорного зеркала З(2) и светоделителя Д(2). В данной оптической схеме измерительные зеркала З(1) и З(3) подвижны и располагаются во взаимно-ортогональных плоскостях, которые соответственно связаны с продольными и поперечными виброколебаниями исследуемой поверхности. Перед лазером необходимо расположить линзу таким образом, что бы зеркала З(1), З(2) и З(3) были расположены в фокальной плоскости линзы. За счет этого от зеркал З(1), З(2) и З(3) будут отражаться сферические волны, а на фотодетекторах ФД(1) и ФД(2) будет образовываться интерференционная картина в виде концентрических темных и светлых окружностей.



Из анализа представленной оптической схемы следует, что на фотодетекторе ФД(2) будет образовываться интерференционная картина от одного интерферометра Майкельсона (З(3), З(2), Д(2)), а на фотодетекторе ФД(1) будет образовываться сложная интерференционная картина от двух интерферометров Майкельсона, поэтому необходимо разработать систему фильтрации информации, чтобы каждый фотодетектор работал на конкретное подвижное зеркало.

Для решения поставленной задачи фильтрации информации от подвижных зеркал, предлагается использовать свойства поляризации электромагнитной волны. Так как лазерное излучение, как правило, является линейно-поляризованным, то для получения поляризации необходимой для фильтрации информации на фотодетекторах необходимо на пути лазерного луча поставить фазовую пластинку ($\lambda/4$).

На основании сказанного, предложена оптическая схема, учитывающая поляризацию электромагнитной волны (Рисунок 2).

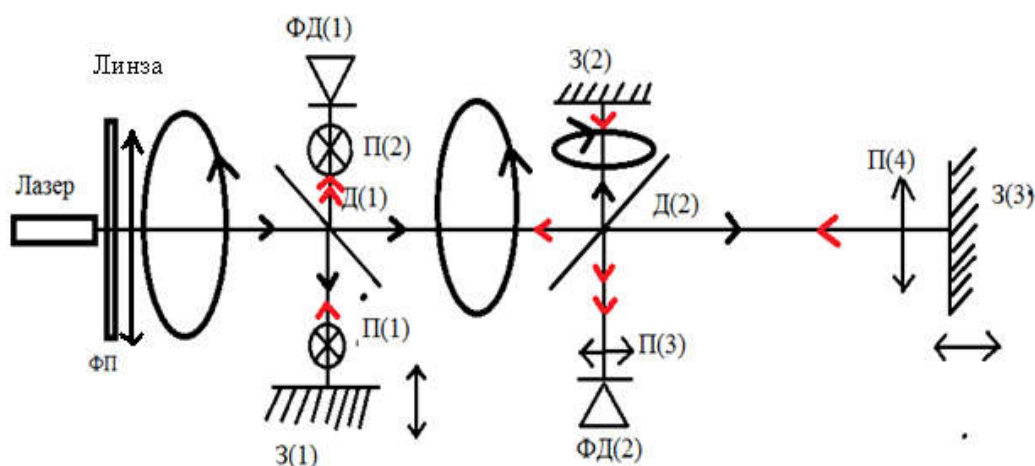


Рисунок 2 – Оптическая схема регистрации продольных и поперечных волн, учитывающая поляризацию электромагнитной волны

Рассмотрим в общем случае использование поляризации электромагнитной волны для фильтрации информации на фотодетекторах на основании оптической схемы, представленной на рисунке 2. Луч лазера, проходя через фазовую пластинку, будет приобретать поляризацию необходимую для фильтрации информации от подвижных зеркал. После этого поляризованный пучок света делится пластиной Д(1) на два пучка. Первый направляется на подвижное зеркало З(1), проходя через поляризатор П(1) приобретает линейную поляризацию, перпендикулярную плоскости падения на делительную пластину. Второй, сохраняя поляризацию, распространяется в сторону делительной пластины Д(2), и так же делится на два пучка. Один из которых направляется в сторону подвижного зеркала З(3), проходя через поляризатор П(4), приобретает также линейную поляризацию, но ориентируемую в плоскости падения на делительную пластину а другой распространяется на опорное зеркало З(2). Луч, отраженный от опорного зеркала З(2) сохраняет поляризацию и с помощью делительной пла-



стины Д(2) делится на два пучка, один из которых направляется к фотодетектору ФД(2), а другой направляется на делительную пластину Д(1), которая в свою очередь направляет данный пучок на фотодетектор ФД(1). Линейно-поляризованный пучок света отраженный от подвижного зеркала З(1) направляется в сторону фотодетектора ФД(1), а линейно-поляризованный пучок, отраженный от подвижного зеркала З(3), направляется на фотодетектор ФД(2). Для фильтрации информации перед фотодетектором ФД(1) располагается поляризатор П(2), а перед фотодетектором ФД(2) – поляризатор П(3). Причем таким образом, чтобы у поляризатора П(2) ось пропускания располагалась параллельно с осью поляризатора П(1), а у П(3) параллельно с осью пропускания поляризатора П(4). У поляризаторов П(1) и П(4) оси пропускания взаимно-ортогональны, из этого следует, что оси поляризаторов П(2) и П(3) также взаимно-ортогональны и не пропускают лучи другой поляризации, что позволяет на каждом фотодетекторе регистрировать информацию только от одного интерферометра Майкельсона.

Для полного теоретического описания образования интерференционных картин предлагается применить метод матричной оптики — метод Джонса [4].

Метод Джонса построен на том, что любую поляризованную электромагнитную волну можно представить в виде суммы двух линейно-поляризованных волн со взаимно ортогональным направлением поляризации, что в матричном виде можно записать в следующем виде:

$$\vec{E}_0 = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H \exp(i\varphi_x) \\ K \exp(i\varphi_y) \end{bmatrix} \exp\left(i\omega\left(t - \frac{z}{v}\right)\right), \quad (1)$$

где z – расстояние от начала выбранной системы координат до точки, в которой регистрируется волна; v – скорость распространения электромагнитной волны в среде; ω – частота монохроматической волны.

Систему координат x, y для математического моделирования выберем таким образом, чтобы x, y совпадали со взаимно ортогонально ориентированными осями пропускания поляризаторов П(1) и П(4) соответственно.

Правило для вычисления интенсивности света по методу Джонса состоит в следующем: вектор столбец Джонса умножается слева на комплексно сопряженный ему транспонированный вектор (вектор строка Джонса). Данную операцию иногда называют произведением скобок. Таким образом, интенсивность света запишется в следующем виде:

$$I = [E_x^* E_y^*] \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = [H \exp(-i\varphi_x) K \exp(-i\varphi_y)] \begin{bmatrix} H \exp(i\varphi_x) \\ K \exp(i\varphi_y) \end{bmatrix} = (H^2 + K^2). \quad (2)$$

Правило для вычисления прохождения электромагнитной волны через ряд последовательно расположенных оптических систем по методу Джонса записывается путем перемножения соответствующих этим оптическим системам матриц Джонса J в обратном расположении:

$$\vec{E}_n = (J_n J_{n-1} \dots J_1) \vec{E}_0. \quad (3)$$

Как было сказано выше, на фотодетекторе ФД(1) регистрируется суммарная волна от трех плеч объединённых интерферометров Майкельсона:

$$\vec{E}_{\phi 1} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3. \quad (4)$$



Волна \vec{E}_1 , идущая от измерительного зеркала З(1), запишется в следующем в виде:

$$\vec{E}_1 = (J_{п2}J_{п1}J_{п1}J_{фп})\vec{E}_0 . \quad (5)$$

Волна \vec{E}_3 , идущая от измерительного зеркала З(3), запишется в следующем в виде:

$$\vec{E}_3 = (J_{п2}J_{п4}J_{п4}J_{фп})\vec{E}_0 . \quad (6)$$

Волна \vec{E}_3 , идущая от опорного зеркала З(2), запишется в следующем в виде:

$$\vec{E}_2 = (J_{п2}J_{фп})\vec{E}_0 . \quad (7)$$

На фотодетекторе ФД(2) регистрируется суммарная волна только от двух плеч объединённых интерферометров Майкельсона:

$$\vec{E}_{ф2} = \vec{E}_4 + \vec{E}_5 . \quad (8)$$

Волна \vec{E}_4 , идущая от опорного зеркала З(2), запишется в следующем в виде:

$$\vec{E}_4 = (J_{п3}J_{фп})\vec{E}_0 . \quad (9)$$

Волна \vec{E}_5 , идущая от измерительного зеркала З(3), запишется в следующем в виде:

$$\vec{E}_5 = (J_{п3}J_{п4}J_{п4}J_{фп})\vec{E}_0 . \quad (10)$$

Используя значения матриц Джонса J фазовой пластинки ($\lambda/4$), поляризаторов, и ориентируя их под определенными углами относительно выбранной системы координат, теоретические расчеты, проведенные согласно уравнениям (4-10), показали возможность решить поставленную задачу фильтрации информации от подвижных зеркал на фотодетекторах, что позволит одновременно регистрировать как продольные, так и поперечные виброколебания исследуемой поверхности. Кроме того, с помощью выбора соответствующей ориентации матриц Джонса J фазовой пластинки ($\lambda/4$) и поляризаторов можно выровнять интенсивности интерферирующих волн на фотодетекторах во время проведения исследований для получения максимального контраста интерференционных полос, что повысит точность измерений.

Литература

1. Куликов, А.В. Волоконно-оптическая система охраны периметра на брэгговских решетках, как перспективный метод мониторинга безопасности объекта / А.В. Куликов // Ползуновский Альманах. – 2010.–№2. – С. 274–278.
2. Кульчин, Ю.Н. Волоконно-оптический сейсмоприемник / Ю.Н. Кульчин, О.Т. Каменев, Ю.С. Петров, В.А. Колчинский // Вестник ДВО РАН –2016. –№4 – С. 56–59.
3. Лимов, М.Д. Математическое моделирование интерференционных сейсмодатчиков / М.Д. Лимов, Д.А. Гнутов, М.Н. Осипов, // Сборник трудов ИТНТ-2019 – Самара: Новая техника. – 2019. – С. 274-277.
4. Джеррард, А. Введение в матричную оптику / А. Джеррард, Дж. М. Бёрч // М: Мир – 1978. – 341 с.