

Г.В. АЗИЗБЕКЯН, Э.А. АРУТЮНЯН, Р.А. КАЗАРЯН, А.М. МАНУКЯН

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ НОВОГО ОПТИКО – МЕХАНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ НАКЛОНОВ

На основе проведенных исследований оптических свойств ряда тонкослойных оптических систем разработано новое оптико-механическое устройство (наклономер) для измерения малых наклонов. Устройство основано на зондировании оптического «ближнего поля», образованного на поверхности оптического элемента в условиях полного внутреннего отражения. Лабораторные испытания показали, что наклономер обладает возможностями для достижения чувствительности измерений смещений и наклонов на уровне 5 нм и 10^{-3} угл.с. соответственно.

Ключевые слова: сейсмика, наклономер, скважина, оптико-механическое устройство.

Разработка методов измерения малых наклонов для оценки текущей сейсмической опасности и предварительного прогнозирования землетрясений продолжает оставаться основной задачей сейсмологии [1].

К используемым в этой области современным устройствам – наклономерам предъявляется ряд требований, главными из которых являются высокая чувствительность измерений малых наклонов и одновременная малогабаритность для обеспечения помехозащищенности от атмосферных и других внешних воздействий в глубоких скважинах.

Целью данной работы является разработка достаточно простого в изготовлении наклономера для использования в скважинных наблюдениях. Для обеспечения высокой чувствительности в качестве основного функционального узла разрабатываемого наклономера нами используются специальные тонкослойные оптические системы, зондируемые монохроматическим источником света в условиях полного внутреннего отражения.

Экспериментальные исследования и модельный анализ с помощью универсальной программы на компьютере ряда многослойных периодических структур диэлектрических и металлических пленок позволили сделать выбор наиболее эффективных для этих целей структур. В итоге, для измерения малых смещений и наклонов в первом варианте была выбрана система оптического волновода (рис.1) с воздушным зазором 1 и металлическим (Ag) покрытием внутренних поверхностей 2 и 3 пластины 4 и призмы связи ($n=1,517$) с формой полусферы 5, зондируемая монохроматическим излучением лазера 6. Отраженный сигнал регистрируется с помощью приемника 7.

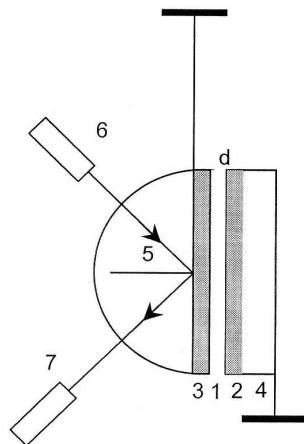


Рис.1. Система оптического волновода с воздушным зазором и металлическим покрытием внутренних поверхностей

На рис.2 представлено угловое распределение интенсивности отраженного сигнала в относительных единицах (R) для волноводных мод характерного полуоткрытого оптического волновода с оптимальными параметрами зондирующего излучения с длиной волны $\lambda = 632,8 \text{ нм}$ (кривая 1), полученное с помощью модельного анализа на компьютере.

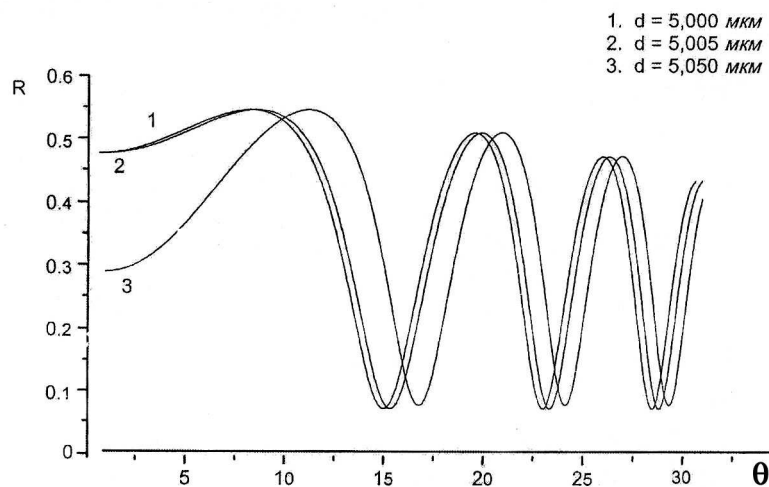


Рис.2.

Распределение волноводных мод оптического волновода (рис.1) при разных величинах расстояния между пластинами

При изменении расстояния между пластинами d на 5 нм происходит смещение модового спектра (кривая 2), при этом наибольший сдвиг обнаруживает первая волноводная мода ($m=0$). Наблюдаемый сдвиг соответствует изменению интенсивности (по сравнению со значением на максимуме линии) на 10%, что выше уровня статистического разброса значений сигнала. Кривая 3 соответствует сдвигу величины d на 50 нм.

Для регистрации местного наклона земной поверхности с помощью рассматриваемого наклономера полусфера оптического устройства 5 должна жестко

закрепляться со скальным грунтом Земли, тогда как подвижная пластина 4 устанавливается на подвешенном маятнике и остается абсолютно свободной от любых изменений рельефа. При выбранных габаритах наклономера (длина 1,0 м) изменению d на 5 нм соответствует расчетный угловой наклон с амплитудой 10^{-3} угл. с.

Экспериментальные исследования показали, что обеспечение требуемых для данного варианта ряда условий и, в первую очередь, точной юстировки плоскопараллельности зеркал 2 и 3 сопряжено с большими техническими сложностями. Дальнейшая модификация этого метода позволила разработать более усовершенствованный вариант оптико-механического наклономера, в котором не требуется обеспечение условия плоскопараллельности. При этом одновременно обеспечивается высокая чувствительность измерений наклонов.

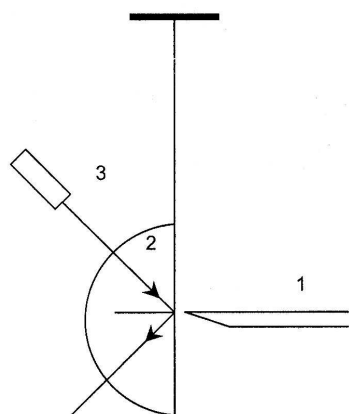


Рис.3. Оптическая схема основного функционального узла наклономера с детектированием оптического сигнала в «ближнем поле»

Принцип работы наклономера данного типа основан на замене подвижной пластины волновода 4 (рис.1) на тонкий щуп из световолокна 1 (рис.3) с заостренным концом, который выполняет функцию коллектора оптического «ближнего поля», образованного на нижней границе оптического элемента 2 без покрытия ($n=1,64$) в условиях полного внутреннего отражения от излучения лазера 3.

Детальное описание научных и практических исследований, посвященных применению «ближнего поля», приведено в [2-4].

В наших экспериментах для зондирования «ближнего поля» использовалось заостренное световолокно, полученное методом скола, на другом конце которого находится приемник оптического сигнала – фотодиод. Калибровка нового наклономера проводилась с помощью собранной для этих целей установки, блок-схема которой приведена на рис.4.

Луч излучения He-Ne лазера 1 (ЛГ-111) на длине волны $\lambda = 632,8$ нм направляется через модулятор 2 и полупрозрачное зеркало 3 на внутреннюю поверхность призмы 4 под углом, превышающим угол полного внутреннего отражения, и в результате на внешней поверхности призмы формируется оптическое «ближнее поле». Заостренный конец световолокна 5, закрепленный на пьезоэлектрическом двигателе 6, с помощью цифро-амплитудного преобразователя 7, управляемого компьютером 8, с шагом 50 нм перемещается в «ближнем поле» в перпендикулярном направлении к грани призмы. Сигнал от фотодиода 9 (ФД-256), присоединенного к другому концу световолокна, с помощью синхронного усилителя 10 передается на компьютер 8. Опорным каналом является фотодиод 11, который через синхронный усилитель 12 вырабатывает синхросигнал и также присоединен к компьютеру 8.

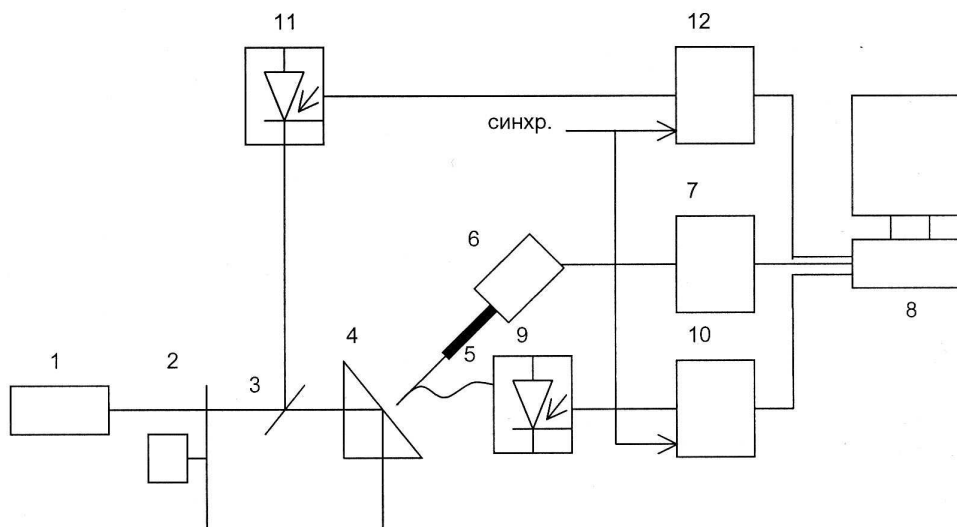


Рис.4. Блок-схема установки для измерения параметров оптического «ближнего поля» и калибровки наклономера

На рис.5 приведены данные измерений зависимости детектируемого оптического сигнала в «ближнем поле» от расстояния до поверхности грани призмы. Видно, что экспериментальные точки хорошо согласуются с теоретической кривой, которая описывается выражением

$$I \sim \exp \left\{ -2kd[\sin^2\theta_i - (1/n_i)^2]^{1/2} \right\},$$

где k – волновой вектор падающего света; d – расстояние от поверхности призмы; n_i – показатель преломления призмы; θ_i – угол падения в области, превышающей критический угол θ_c .

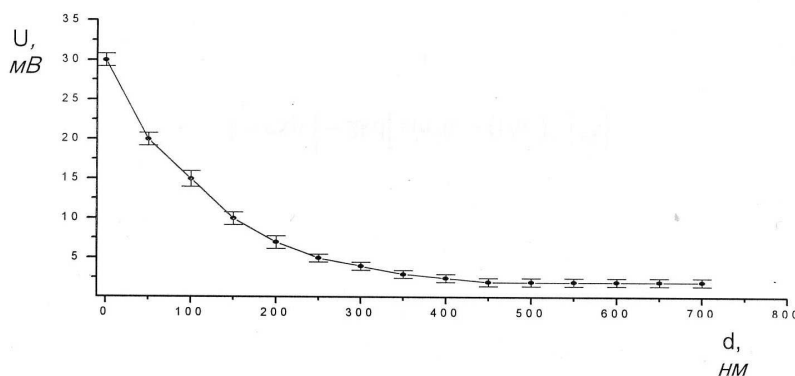


Рис.5. Экспериментальная зависимость детектируемого оптического сигнала в «ближнем поле» от расстояния до поверхности грани призмы

Малая область локализации оптического поля (300(400 нм) и обусловленная этим фактором большая крутизна кривой позволяют на основе детектирования сигнала «ближнего поля» регистрировать смещение в поперечном направлении с

разрешающей способностью 5 нм, что соответствует измерению наклонов (при длине маятника 1,0 м) с чувствительностью 10^{-3} угл.с.

Таким образом, данные проведенных лабораторных исследований указывают на перспективность оптико-механического наклономера данного типа для испытаний в натуральных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сборник «Сейсмические приборы». Вып.22. - М., 1991.
2. Courjon D., Sarayeddine K. and Spajer M. Opt. Comm. 71.-1989. - № 2. - P. 23.
3. Specht M., Pedarnig I.D., Heckl W.M. and Hinch T.W. Phys. Rev. Lett. 68. - 1992. - № 4. - P. 476.
4. Adam P.M., Salomon L., de Fornel F. and Goudonnet I.P. Phys. Rev. B, 48. - 1993. - № 4. - P. 2680.

Инженерный Центр НАН РА. Материал поступил в редакцию 27.11. 2002.

Հ.Վ. ԱԶԻԶԲԵԿՅԱՆ, Է.Հ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ռ.Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ,
Ա.Մ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ՓՈՔՐ ԹԵՔՎԱԾՔՆԵՐԻ ԶԱՓՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՆՈՐ ՕՊՏԻԿԱ-ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՍԱՐՔԻ ՄԿՁԲՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Մի շարք նրբաշերտ օպտիկական համակարգերի օպտիկական հատկությունների հետազոտությունների հիման վրա մշակված է նոր օպտիկաօմեխանիկական սարք (թեքաչափ)՝ փոքր թեքվածքներ չափելու համար: Մարքը հիմնված է լրիվ ներքին անդրադարձման պայմաններում օպտիկական էլեմենտի մակերեսի վրա առաջացած ‘մերձակա դաշտի’ գոնդավորման սկզբունքի վրա: Լաբորատոր փորձարկումները ցույց են տվել, որ թեքաչափը ռեալ հնարավորություններ ունի ապահովելու տեղաշարժերի և թեքվածքների չափման զգայնություններ՝ համապատասխանաբար 5 նմ և 10^{-3} անկյունային վայրկյան կարգի:

H.V. AZIZBEKYAN, E.A. ARUTUNYAN, R.A. KAZARYAN, A.M. MANUKYAN

NEW OPTICAL-MECHANICAL DEVICE DEVELOPMENT FOR SMALL TILT MEASUREMENTS

To measure small inclinations (tilts), a new optical-mechanical device (inclinometer, tiltmeter) has been developed on the basis of investigations of optical properties of various thin-layer optical systems. The device operation is based upon the principle of probing the optical “near field” which is formed at optical element surface under total reflection conditions. As laboratory tests have shown, the tiltmeter is able to provide shift and tilt measurement sensitivities on the level of 5 nm and 10^{-3} sec. of arc. respectively.