Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
т. XXXII, 1980 г.

УДК 622.83:535.568.1

ДИСТАНЦИОННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

М.Н.КРАСИЛЬНИКОВ, А.А.УСТАВНИКОВ

При проведении инструментальных наблюдений за проявлением горного давления и устойчивостью подземных сооружений большого сечения возникает задача дистанционных измерений деформаций в труднодоступных местах. С помощью переносного лазерного прибора становится возможным организовать измерительную систему оперативного съема показаний с любого из датчиков, расположенных в труднодоступных, удаленных участках сооружений. Информация в такой системе передается по лазерному лучу. Датчики состоят из отражателя светового луча и поляризационночувствительного элемента - четвертьволновой фазовой пластины (слюда, кварц) и устанавливаются на контурные и глубинные реперные станции. Измеряемые линейные перемещения преобразуются в датчиках в поворот фазовой пластины, что приводит к изменению состояния поляризации отраженного от датчика луча. Эти изменения регистрируются измерительным прибором - деформометром. Такой способ измерения позволяет прибору оперативно снимать показания со многих датчиков.

Реперные станции могут устанавливаться в любых, в том числе и труднодоступных, местах сооружения, например, на перекрытиях, сводах, но с одним условием - оптические датчики должны быть в пределах прямой видимости от места установки деформометра. Оптические датчики имеют неограниченный срок службы и практически не вносят в измерения температурных погрешностей.

Переносной лазерный деформометр - основа измерительной системы. Линейно-поляризованный лазерный луч после поляризатора I6 (рис.I) падает на четвертьволновую пластинку, оптическая ось которой ориентирована под углом 45^0 к исходной поляризации лазерного луча. Выходящий с пластины луч будет поляризован по кругу. Проходя четвертьволновую пластину I3, луч вновь станет линейно-поляризованным с направлением поляризации, составляющим угол 45^0 с оптической осью пластины I3. Поскольку пластинка I3 вмонтирована в поворотно-отсчетное устройство и может поворачиваться в пределах $\pm 45^0$, то и направление поляризации светового луча, оставаясь линейным на выходе, при этом также изменяется в пределах $\pm 45^0$. Линейно-

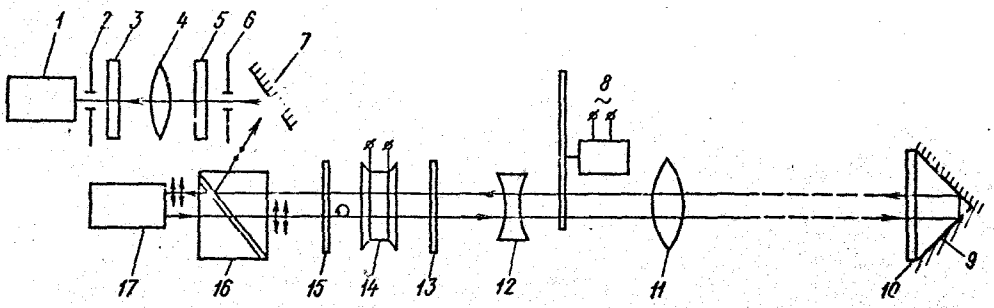


Рис.1. Оптическая схема деформометра

1 – электронный блок фотоприемником; 2, 6 – диафрагмы; 3 – интерференционный светофильтр, пропускающий излучение с длиной волны лазера 0,63 мкм; 4 – линза, фокусирующая свет на катод фотоприемника; 5 – поляроид, предназначенный для изменений интенсивности света, падающего на фотоприемник; 7 – поворотное зеркало; 8 – мотор-прерыватель светового потока; 9 – триппель-призма, которая отражает световой луч всегда в ту точку, из которой он направлен на призму; 10 – четвертьволновая пластина датчика; 11, 12 – линзы телескопа, вращением линзы 11 можно изменять диаграмму направленности лазерного излучения; 13 – четвертьволновая пластина, установленная в отсчетно-поворотном устройстве, которое обеспечивает поворот пластинки на угол $\pm 45^{\circ}$ и позволяет брать отсчет с точностью до 1'; 14 – электрооптический фазовый модулятор, представляющий собой прозрачные электроды, между которыми вклеен электрооптический кристалл *ДКДР*; 15 – четвертьволновая пластинка, оптическая ось которой ориентирована под углом 45° к направлению поляризации лазерного луча; 16 – призма Глана – Фуко, служащая здесь и как поляризатор, и как анализатор; 17 – источник света – лазер ЛГ-56 с длиной волны излучения 0,63 мкм (красный цвет)

поляризованный луч проходит пластину датчика I0, отражается призмой 9 и выходит из датчика по направлению к прибору линейно-поляризованным только в том случае, если направление оптической оси пластины I0 совпадает или составляет угол 90° с направлением поляризации падающего луча. В других случаях отраженный луч эллиптически поляризован.

Если на вход прибора падает луч исходной линейной поляризации, то после четвертьволновой пластины I3 он приобретает круговую поляризацию, а после четвертьволновой пластины I5 – исходную линейную поляризацию и в фотоприемник не попадает. Сигнал равен нулю. Если на вход прибора приходит отраженный луч эллиптической поляризации, что свидетельствует о несовпадении направления поляризации выходящего из прибора луча с направлением оптической оси пластинки датчика, то часть света из призмы I6 отражается зеркалом 7 в фотоприемник. На выходе фотоприемника появляется сигнал. Сигнал исчезает, когда при повороте пластинки I3 направление поляризации выходящего луча совпадает с направлением оптической оси пластины датчика I0. Отсчет по шкале берется в таком положении пластины I3, когда сигнал равен нулю.

Таким образом, момент измерения наступает при совпадении направления поляризации с направлением оптической оси пластины датчика.

Чтобы уменьшить влияние внешней засветки, лазерный луч модулируется 100%-ной амплитудной модуляцией. Модулятором является прерыватель 8. Используя этот вид модуляции легко найти минимум при больших углах рассогласования.

По закону Малюса световой поток, проходящий анализатор, определяется соотношением

$$\Phi = \Phi_0 \cos^2\theta , \qquad (1)$$

где Φ_0 - световой поток, перед анализатором; θ - угол между направлением пропускания анализатора и направлением поляризации светового потока.

При значениях угла θ, близких к 90°, малые изменения его вызывают еще меньшие изменения светового потока Φ (рис.2, кривая I) и точно определить минимум светового потока затруднительно. Чтобы этот момент сделать более четким и тем самым повысить точность измерений, вместо прерывателя устанавливается электрооптический модулятор. Если на модулятор подать электрический сигнал частотой ω, то после анализатора световой поток

$$\Phi = \Phi_0 \cos^2(\theta + \tau \sin \omega t), \qquad (2)$$

где τ - угловая амплитуда плоскости поляризации светового потока.

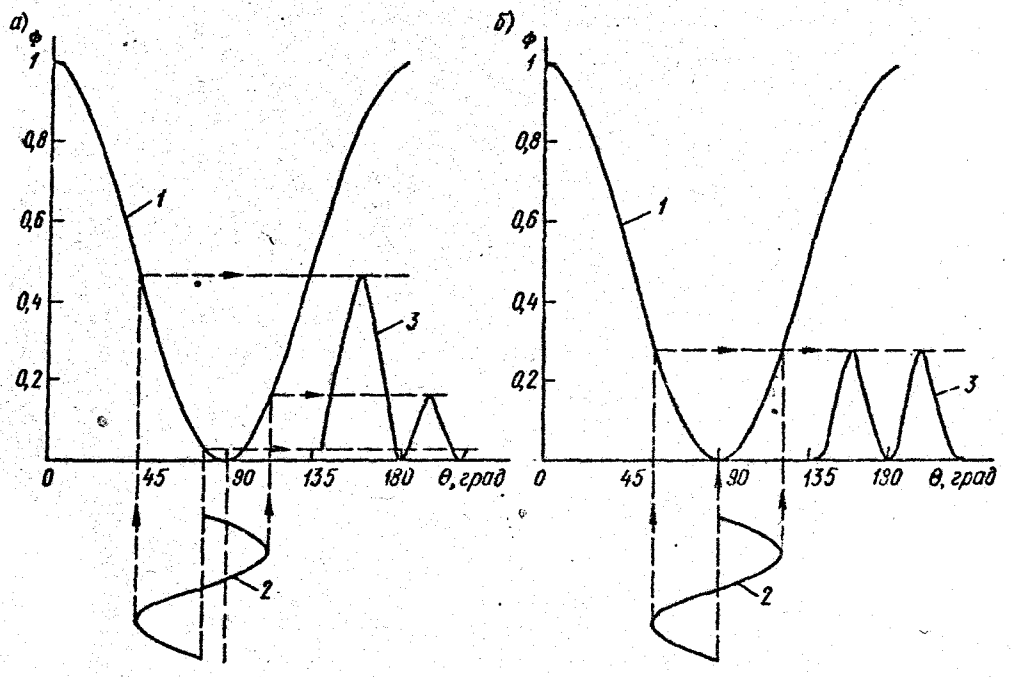


Рис.2. Изменение светового потока: а - при $\theta < 90^\circ$; б - при $\theta = 90^\circ$

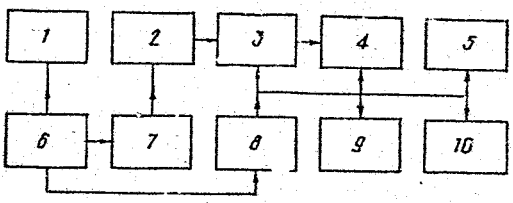


Рис.3. Блок-схема электронной части прибора

Характер изменения светового потока на выходе анализатора можно определить графически. Если кривая 2 рис.2 - синусоида, по которой изменяется модулирующее напряжение, то путем проектирования кривой 2 на кривую I, получаем кривую 3, показывающую изменение светового потока на выходе анализатора.

При $\Theta = 90^0$ происходит удвоение частоты модуляции. Первая гармоника, имеющая частоту модуляции, пропадает полностью. Поскольку ее уменьшение происходит быстрее, чем увеличение второй гармоники, избирательный усилитель настроен на частоту первой гармоники и при $\Theta = 90^0$ сигнал равен нулю. Такой режим измерений имеет повышенную точность, чувствительность и помехоустойчивость.

В электронной части прибора (рис.3) лазерный луч генерируется газовой трубкой I(ЛГ-56). Питание ее осуществляется стабилизатором тока 3(СБП-5). Отраженный от датчика луч попадает на фотоэлектронный умножитель 2, который питается от отдельного преобразователя напряжения 7. С фотоэлектронного умножителя выделенный сигнал поступает на предварительный избирательный усилитель 3. Далее фильтром осуществляется выделение частоты, которой промодулирован лазерный луч. Лазерный луч модулируется либо прерывателем 5, либо кристаллическим модулятором, на который подается высокое переменное напряжение с усилителя мощности I0. Необходимая частота получается с помощью задающего генератора 9. Питание усилителей и генератора подается от стабилизатора напряжения 8. После селекции сигнал поступает на логарифмический усилитель и индикатор 4.

Процесс измерений с помощью деформометра заключается в следующем. Оптический блок прибора устанавливается горизонтально на треноге по круглому и цилиндрическому уровням. Поворотно-отсчетное устройство устанавливается на нуль. Лазерный луч направляется на датчик. Отраженный луч попадает в фотоприемник и, если между направлением поляризации светового луча и направлением оптической оси четвертьволновой пластины датчика есть угол рассогласования, то на индикаторе появится сигнал. Вращением поворотно-отсчетного устройства сигнал выводят на нуль и снимают отсчет. Отсчет берется в угловой мере, но, зная редукцию датчика, с которой линейные перемещения преобразуются в угловой поворот четвертьволновой пластины, его легко перевести в линейную меру. Это позволяет одним и тем же деформометром производить измерения с датчиков, имеющих различную редукцию, а следовательно, и чувствительность.

Чувствительность, достигнутая при измерениях деформаций лазерным деформометром с датчиков, находящихся на расстоянии до I00 м, составляет 0,0I-0,02 мм.