

УДК 621.378:531.715

## ЛАЗЕРНАЯ ДВУХКАНАЛЬНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ РЕГИСТРАЦИИ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

З.И. Иманкулов.  
ЖАГУ, г.Жалал-Абад

### Аннотация

Описана лазерная двухканальная интерферометрическая система для прецизионной регистрации малых перемещений. Информация об оптической разности фаз между опорными и измерительными каналами регистрируется в виде фазового сдвига на разностной частоте, формируемой при гетеродинировании немодулированного и фазоманипулированного излучений. Экспериментальная оценка показала, что разработанный лазерный деформограф обеспечивает точность измерений на уровне  $10^{-10}$  отн. ед. и обладает разрешающей способностью  $10^{-11}$  при длине базы 20 м.

### Abstract

A two-channel laser interferometric system for precise measurement of small displacements is described. The data on the optical phase difference between the reference and measurement channel are recorded in the form of a phase shift at the difference frequency formed during heterodyning of nonmodulated and phase-manipulated radiations. Experimental evaluation has show that the developed interferometric system allows one to measure small displacements ranging from 0 to 10 kHz to accuracy of  $0.1 \lambda$ .

Использование гетеродинного метода в построении лазерных интерферометров-деформографов [1,2] позволяет повышать их чувствительность путем использования электронных методов фазовых измерений и благодаря этому создать длиннобазовые оптические инструменты с практически неограниченными динамическими и частотными диапазонами. В этой связи в гетеродинных лазерных интерферометрах используются различные способы сдвига частоты, из которых наиболее распространенными являются акустическая модуляция оптической несущей [3,4]. При этом, необходимо возбуждать ультразвуковые волны на частотах, достигающих десятки мегагерц, что создает дополнительные сложности, связанные, в том числе, и с помехами в приемном тракте на разностной частоте, так как необходимая акустическая мощность доходит до 10-20 Вт. Кроме того, на таких высоких частотах оказывается затруднительным совместная реализация большого усиления и высокой избирательности, что ограничивает чувствительность гетеродинных интерферометров, не говоря уже о фазоизмерительном устройстве.

В настоящей работе предлагается лазерный деформограф, где оптическое гетеродинирование в диапазоне пониженных частот исключает вышеизложенные недостатки. На рис.1 представлена блок-схема разработанного устройства, оптическая часть которого представляет собой двухплечевой двухканальный ортогональный интерферометр. Часть излучения одночастотного He-Ne лазера с ПСВЧР [5] после расщепления (В1) направляется в электрооптический кристалл ниобата лития (ЭОМ) с

полуволновым напряжением  $U_{\lambda/2} = 180$  В и равномерной частотной характеристикой в диапазоне частот  $0 \div 10$  МГц. Высокое модулирующее напряжение (от генератора Г и

усилителя У) в виде меандра с частотой 1 МГц, подаваемое на фазовый модулятор, позволяло получать фазоманипулированное излучение. При соответствующей установке рабочие точки модулятора с помощью постоянной составляющей напряжения усилителя фаза излучения через период (1мкс) скачкообразно изменялось на  $\pm \pi$ . Это приводило к расщеплению несущей оптической частоты в дискретный спектр, основная доля мощности в котором приходилась на две частоты со сдвигом на  $\pm 1$  МГц относительно немодулированной. При гетеродинировании модулированного и немодулированного излучений на фотоприемниках Ф1 и Ф2 и дальнейшей фильтрации выделяются сигналы биений на удвоенной частоте модуляции, т.е. 2 МГц. Фазовый сдвиг между этими сигналами в опорном (Ф1) и измерительном (Ф2) каналах несет информацию об изменении разности хода между измерительными плечами I и II интерферометра. Смещение концевых М3 и М4 дают независимые вклады в фазовую модуляцию радиосигнала биений, который детектируется фотоприемником Ф2. Регистрация смещений зеркал в виде разности фаз в полосе  $0 \div 10$  кГц производилась специально разработанным [6] широкодиапазонным ( $0 \div 80$  МГц) фазовым детектором (ФД), выполненным в стандарте КАМАК (рис.2).

Благодаря высокой чувствительности, достаточно широкому частотному и динамическому диапазону лазерного деформографа возникает необходимость применения автоматизированной системы для накопления и обработки деформографических данных. Здесь специфической задачей является хранение и последующее точное воспроизведение сейсмического сигнала, что при значительном объеме поступающей информации требует определенных аппаратных и программных средств. Автоматизированная система была разработана на базе аппаратуры КАМАК и ПЭВМ типа IBM PC/AT[7].

Аппаратура КАМАК обеспечивает связь системы с лазерным гетеродинным интерферометром Ф1 и Ф2 преобразуется в меандры с частотой  $\Omega$  -1МГц. Далее эти сигналы подаются на фазовый детектор, где производится измерение разности фаз между ними. Для визуального контроля фазовых сдвигов между опорным (О) и измерительным (И) каналом деформографа использовался цифро-аналоговый спектр (С4-73). Параллельно производилась запись на самописце (СП). Аналогово-цифровой преобразователь осуществляет оцифровку выходного сигнала фазового детектора и вывод на магистраль КАМАК.

В зависимости от интенсивности принимаемого излучения устанавливаются пороги формирователей. Затем задается необходимый режим работы широкодиапазонного фазового детектора. Все последующие операции производятся циклично, чем обеспечивается непрерывная запись информации на диск, ее спектральный анализ, а также наблюдение за графиком изменения по времени.

Величина перемещений  $\Delta l$  оценивается из анализа разности фаз двух радиосигналов биений фототока детекторов Ф1 и Ф2, т.е.

$$\Delta l = \Delta \varphi \frac{\lambda}{4\pi}$$

Созданная интерферометрическая система была установлена в штольне длиной 50+20 м, которая расположена вблизи Чарвакского гидросооружения на высоте 1000 м над уровнем моря и проложена в скалистой породе. Концевые зеркала М3, М4 и основа интерферометра были установлены на отдельных бетонных постаментях. Симметричная схема интерферометра позволила без использования специальных схем стабилизации частоты лазеров достичь на базе 20 м. чувствительность  $\sim 3 \times 10^{-10}$  отн. ед. Выравнивание

длин плеч интерферометра с точностью 1 мм ограничивало погрешность, связанную с нестабильностью частоты лазера, значением  $10^{-11}$ . Вариации давления вызывали нестабильность порядка  $10^{-11}$  торр<sup>-1</sup>. Искажениями, вносимыми флуктуациями температуры, в наших условиях можно было полностью пренебречь. На рис 3. представлены результаты измерений медленных деформаций, полученные в полосе  $0 \div 0,01$  Гц. Эти данные показывают, что амплитуда колебаний длины базы интерферометра хорошо коррелирует с приливыми деформациями. Также были приведены длительные измерения, записи которых приведены на рис.4.

Здесь явно проявляются деформации горных пород в виде 20-дневного тренда, который обусловлен интенсивным понижением уровня воды в водохранилище в этот период.

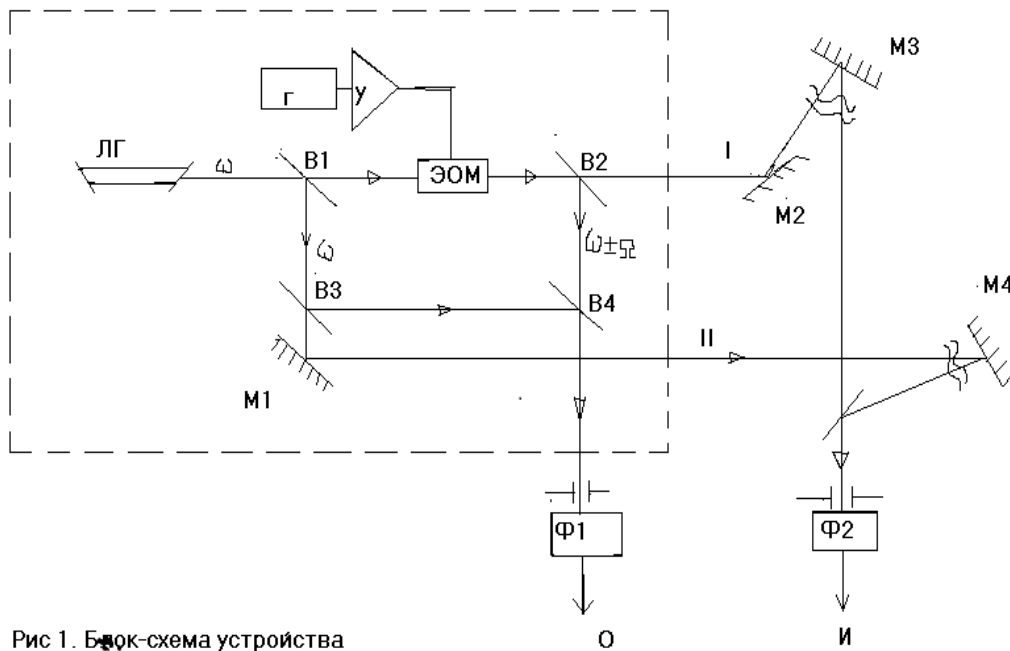


Рис 1. Блок-схема устройства

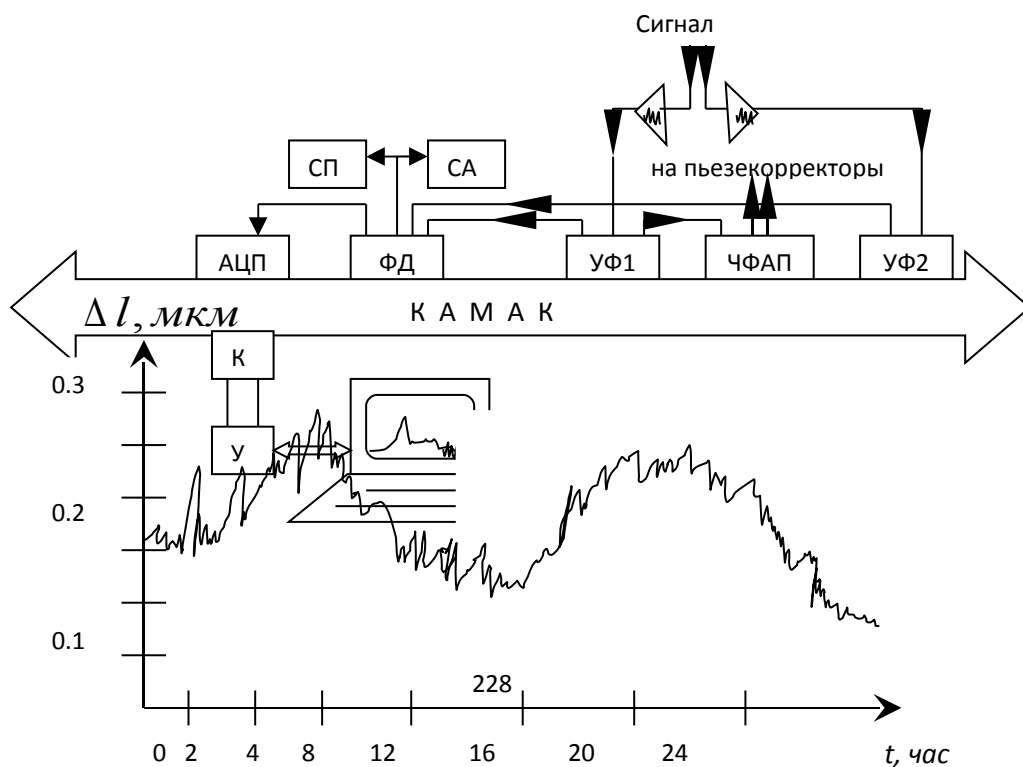


Рис.3

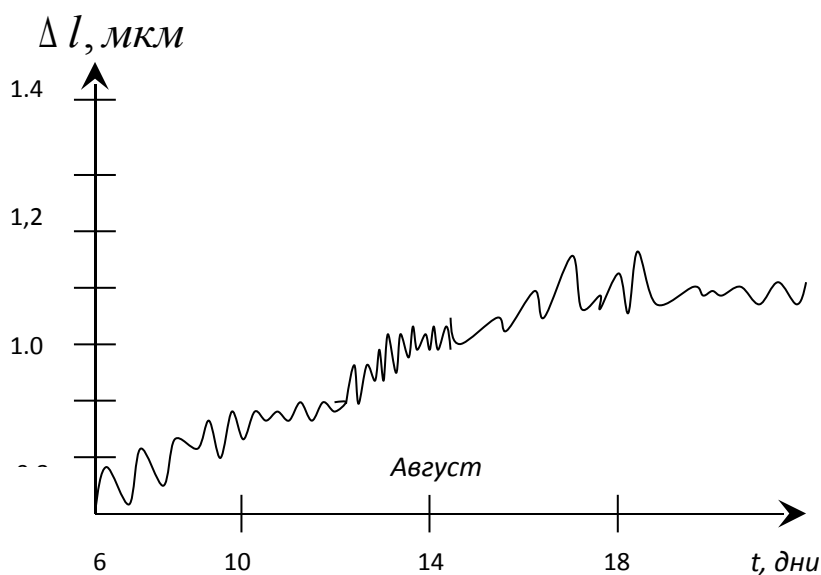


Рис.4

Полученные прописи свидетельствуют об эффективной регистрации малых перемещений горных массивов, наложенных на более высококачественный сейсмический шум, вызываемый техногенными вибрациями от расположенных у подножья массива промышленных объектов.

Широкий частотный и динамический диапазоны, а также отсутствие необходимости калибровочных измерений дают потенциальную возможность данной системы для одновременной регистрации как медленных, так и быстропротекающих процессов.

Разработанный гетеродинный интерферометр-деформограф благодаря использованию электронных методов фазовых измерений позволяет создать длиннобазовые оптические инструменты с динамическими частотными диапазонами, охватывающими весь возможный спектр сейсмических колебаний. Это дает потенциальную возможность (при установке в штольнях, в горных выработках и других подземных помещениях) проводить высокоточные интерферометрические измерения деформаций земной поверхности при решении фундаментальных и прикладных задач в современной геофизике и геодезии. Созданный лазерный деформограф обеспечивает точность измерений на уровне  $10^{-10}$  отн. ед. и обладает разрешающей способностью  $10^{-11}$  при длине базы 20 м., что позволяет в совокупности с другими геофизическими методами получать информацию с целью прогнозирования землетрясений, путем регистрации аномальных деформаций.

#### Литература

1. Багаев С.Н., Орлов В.А., Фомин Ю.Н., Чеботаев В.П. Физика Земли, 1992, № 1, с.85

2. Иманкулов З.И., Мирзаев А.Т., Якубов А.Н. ПТЭ, 1998, №6, с.132.
3. Bi D.B., Kibo S., Nishizawa A., Takahashi C.A. Rev. Sci. Instrum, 1990, v.61, №5, p.1442
4. Chien P.Y. Rev.Sci. Instrum.1991, v.62. №1, p.254.
5. Иманкулов З.И., Миринояттов М.М. ЖПС, 1997, т.64, №1, с.116.
6. Азаматов А.З., Вильданов Р.Р., Мирзаев А.Т. Якубов А.Н. Радиотехника, 1996, №10, с.43.
7. Иманкулов З.И., Доноев Т.А., Якубов А.Н. Исследование характеристик гетеродинных лазерных деформографов. //Вестник ОшГУ, вып.6., 2003, серия физико-математическая, стр. 22-24