

УДК 631

## **Интеллектуальный прибор для определения деформации зданий и инженерных сооружений**

*У. Юсупалиев, В. В. Михеев, С. А. Шутеев,  
А. К. Маслов, В. В. Розанов, В. И. Теличенко,  
А. Н. Стрепетов, Е. В. Турбин*

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

*Разработан новый цифровой прибор, позволяющий в активном режиме его работы одновременно получить изображения объектов и измерить расстояния до каждого элемента полученного изображения. На основе указанного прибора и вычислительного модуля на основе сигнального процессора со специальным программным обеспечением разработан интеллектуальный прибор для определения деформаций зданий и инженерных сооружений.*

Определение деформации (осадки, сдвига, прогибов, крена, кручения) зданий и инженерных сооружений всегда было актуальной задачей [1, 2]. В последнее время достигнуты определенные успехи в решении задачи определения деформации и приборном обеспечении решения этой задачи, что

связано с внедрением в строительство и инженерную геодезию современной цифровой техники и новых технологий. Так, вместо обычного теодолита используется электронный лазерный теодолит с цифровым выводом необходимой информации, а вместо обычных дальномеров — лазерные цифровые дальномеры, лазерные уровни и рулетки [3, 4]. Стереоскопическое фотографирование исследуемых объектов проводится с помощью фототеодолитов с цифровыми фотоаппаратами либо цифровыми видеокамерами, а обработка полученных данных (вычисление координат контрольных точек зданий и инженерных сооружений), цифровыми стереоавтографами и вычислительной техникой [5]. Как видно из вышеизложенного, достигнутые успехи в основном связаны с внедрением в строительство и инженерную геодезию концепции цифровой модели местности (ЦММ) [1—3]. Создание адекватной ЦММ и ее последующая компьютерная обработка позволяют значительно повысить надежность и эффективность проводимых работ. Поэтому разработка способов получения, обработки, хранения и воспроизведения ЦММ является перспективной задачей строительства, геодезии и контроля за состоянием инженерных сооружений.

Тем не менее, несмотря на достигнутые успехи, определение деформации зданий и инженерных сооружений в настоящее время остается трудоемкой и сложной задачей. Информации, получаемой предназначенными для этой цели современными приборами, недостаточно для прямого использования в целях восстановления объемной модели реального объекта. Поэтому приходится проводить достаточно сложную и трудоемкую обработку получаемых данных с применением методов компьютерной графики.

Суть всех методов, применяемых в настоящее время для определения деформации зданий и инженерных сооружений, заключается в измерении координат контрольных точек исследуемых зданий и сооружений (координат точек в пространстве) и смещения указанных точек (смещения в пространстве) по прошествии некоторого времени. Другими словами, вся процедура определения деформации основана на измерении координат контрольных точек зданий и инженерных сооружений в различные моменты времени. При этом самым сложным и трудоемким процессом в современных методах изучения деформации (например, фотограмметрическом) является вычисление координат исследуемых точек в пространстве [1, 2].

Предпочтительно, чтобы для повышения достоверности определения деформации измерялись координаты как можно большего количества точек исследуемых зданий и инженерных сооружений (в идеальном случае — всех точек исследуемых зданий). Решение такой задачи для современных приборов и методов определения деформации становится практически неразрешимым.

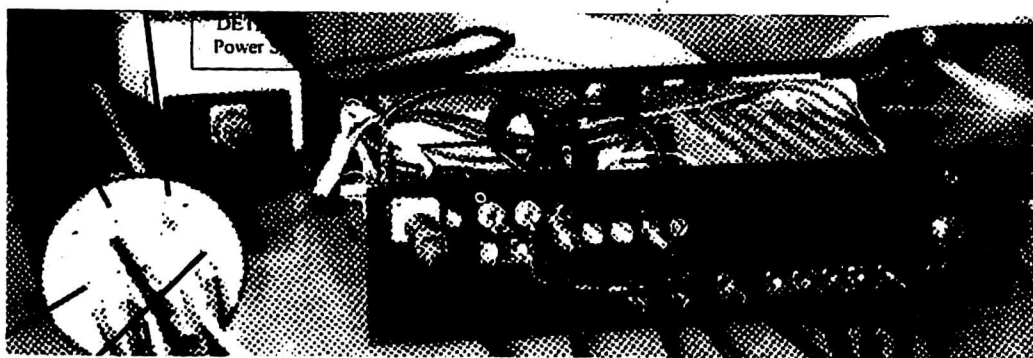
Для повышения эффективности процедуры определения деформации зданий и инженерных сооружений и ее упрощения, а также для устранения вышеуказанных недостатков приборов, применяемых в настоящее время для определения деформаций, желательно иметь интеллектуальный прибор, способный синтезировать объемное изображение наблюдаемого объекта с пространственными координатами, причем с сохранением трехмерных координат каждой точки видимой части объекта для дальнейшей обработки. Однако в настоящее время среди существующих приборов (видеокамер, телевизионных камер, координатно-чувствительных детекторов и других фотоприемных устройств (ФПУ)), предназначенных для получения изображения, нет прибора, способного получать информацию об объемности с пространственными координатами [6, 7, 9].

С физической точки зрения информацию об объемности объектов несет, как известно, пространственное распределение фазы электромагнитной волны (ЭМВ), отраженной от объекта [7–9]. В природе регистрация фазы волны осуществляется сравнением фазы одной волны двумя приемниками излучения (глазами человека и животных), а в голографии — фиксированием (фотографическим или иным способами) интерференционной картины по крайней мере от двух волн: опорной и предметной [7]. В последнем случае при просмотре человеком полученной интерференционной картины возникает иллюзия объемности. При этом оказывается, что нет данных о пространственных координатах полученного изображения объекта [9]. А на практике (например, при определении деформации зданий и сооружений) требуется получение либо синтез объемного изображения именно с пространственными координатами, с которыми в дальнейшем можно провести любые математические действия.

Как уже упоминалось выше, в настоящее время все существующие ФПУ не позволяют получать или синтезировать объемное изображение, не говоря уже о пространственных координатах объекта. Это связано с тем, что с их помощью можно регистрировать только угловые координаты, количество и частоту (иногда поляризации) фотонов, а значит получать плоское изображение находящихся на различных расстояниях от ФПУ объектов (точнее, их проекцию на фоточувствительную поверхность ФПУ). До сих пор не предложен способ регистрации пространственного распределения фазы ЭМВ с пространственными координатами в реальном времени, что обусловлено высокой величиной фазовой скорости световых волн (для этого быстродействие ФПУ, по крайней мере, должно быть порядка  $10^{-12}$  с). Таким быстродействием обладает только атомно-молекулярная система, примером которой является фотохимическая реакция.

Основным недостатком существующих приборов на основе ФПУ является невозможность измерения расстояния до объектов наблюдения.

Оказывается, информацию об объемности объекта с пространственными координатами можно получать, не регистрируя пространственное распределение фазы ЭМВ [9]. Для этого достаточно уметь регистрировать так называемые меченые фотоны с малой длительностью (менее 1 нс) и их угловые координаты. Далее описывается реализованное авторами настоящей статьи ФПУ, представленное на рисунке, работа которого основана на вышеописанном принципе.



*Внешний вид основных компонент предлагаемого прибора*

### Техническая характеристика

Диапазон рабочих температур при влажности 95 %, °С .....	-40+85
Энергопотребление, Вт, не более.....	50
Масса, кг, не более.....	12

Имеется автономное энергоснабжение.

В отличие от существующих приборов визуализации предлагаемый прибор может регистрировать время поступления "меченых фотонов". Это обстоятельство приводит к появлению совершенно новых возможностей ФПУ. Разработанное авторами данной статьи ФПУ нового поколения позволяет при освещении одновременно получать изображения объектов и измерять расстояния до каждой точки наблюдаемого пространства.

Данное ФПУ может работать в двух режимах: пассивном и активном. В пассивном режиме работы регистрация момента времени поступления отдельных фотонов позволяет устранять размазывание изображения движущегося объекта и выделять движущийся объект при отношении сигнал/шум меньше единицы как в положительном, так и в отрицательном контрасте, чего нельзя добиться ни одним из существующих ФПУ.

В активном режиме регистрация момента времени поступления отдельных фотонов позволяет измерить расстояния до всех точек наблюдаемого пространства, т. е. получать трехмерный рельеф местности (объектов) в цифровом виде. Другими словами, ФПУ нового поколения одновременно работает как обычное координатно-чувствительное ФПУ и множество дальномеров, число которых равно числу элементов изображения. Например, для рассматриваемого прибора количество элементов в изображении составляет 160 000. В этом режиме из общей картины изображения можно выделить подобласть, которая соответствует определенной дальности от прибора наблюдения, т. е. имеется возможность послойного просмотра полученного изображения по дальности. Или можно "настроить" ФПУ на определенное расстояние и получить изображение объектов, находящихся именно на этом расстоянии. При этом в изображение не попадут объекты, находящиеся ближе и дальше этого расстояния. Точность выделения по дальности в данном случае составляет 8—10 мм (в настоящее время ведутся разработки по увеличению точности измерения до 5 мм). Выделение области на заданной дальности с шириной 10 мм позволяет убрать ненужные детали и шумы, которые в традиционных приборах наблюдения являются неизбежными.

Таким образом, с помощью ФПУ нового поколения можно получать непосредственно без сложных промежуточных процедур реальную трехмерную ЦММ, которая позволит выполнить значительную часть задач полевого периода и существенно облегчить проведение проектных работ и повысить их эффективность [1, 2]. По-видимому, в ближайшем будущем развитие измерительной и другой техники для инженерной геодезии и строительства пойдет по этому направлению.

На основе ФПУ нового поколения и вычислительного модуля на основе сигнального процессора со специальным программным обеспечением авторами настоящей статьи разработан прибор для определения деформации зданий и инженерных сооружений. Кроме ФПУ, он состоит из источника излучения — лазера с блоками управления и синхронизации, лазерного устройства для построения плоскости, компактного переносного сигнального процессора в промышленном исполнении с системой отображения информации.

Этот прибор позволяет непосредственно на месте автоматически определять:

разность высот точек относительно отчетной поверхности (т. е. нет необходимости проведения нивелирования);

любые углы (отпадает необходимость проведения угломерных работ);

расстояние между любыми точками просматриваемого пространства (не нужно проводить трудоемкие специальные измерения);

любые площади и объемы (определение которых обычными средствами невозможно выполнить);

практически любую объемную деформацию (трудоемкая задача для существующих средств измерения).

Другими словами, разработанный прибор выполняет функции видеокamеры, множества дальномеров, электронного и лазерного теодолита, компьютера, стереоавтографа.

С помощью разработанного прибора можно непосредственно на местности:

определять отклонение от вертикали внешней поверхности здания;

синтезировать объемное изображение с пространственными координатами объектов — зданий;

строить плоскость под любым углом к горизонтальной плоскости (X, Y).

Кроме того, с помощью разработанного прибора можно производить на месте поиск точек с заданными координатами по расстоянию или углу и проводить измерения температуры, давления, влажности воздуха, значения которых автоматически заносятся в память сигнального процессора.

Полученные данные совместимы с системами автоматизированного проектирования (CAD), геоинформационными системами (GIS).

Предлагаемый прибор позволит поднять на совершенно новый качественный уровень такое перспективное направление в строительстве и геодезии, как создание ЦММ — создание стерео ЦММ в автоматическом режиме непосредственно на месте, которые будут, во-первых, достаточно полными в смысле собранной информации и, во-вторых, дадут возможность рассматривать рельеф местности с разных ракурсов.

## Л и т е р а т у р а

1. Инженерная геодезия. — М.: Наука, 1991. — 583 с.
2. Справочник строителя. Инженерные изыскания в строительстве. — М.: Стройиздат, 1990.
3. Визиров Ю. В. Лазерные уровни и рулетка фирмы LEICA//ПГС. 1997. № 5. С. 60.
4. Edmund Scientific. Industrial Optics Division. 1999. № . С.
5. Telecommunication Information Management Journal. 1999. V. 1.
6. Кузнецов Ю. А. и др. ПЗС-95 — Приборы с зарядовой связью и системы на их основе//Оптическая техника, 1996. № 1. С.
7. Оптическая голография. — М.: Мир, 1982. Т. 1.
8. Ландсберг Г. С. Оптика. — М.: Наука, 1984.
9. Юсупалиев У., Шутеев С. А. Физические основы синтеза объемного изображения с пространственными координатами//Препринт физического факультета МГУ. Центр гидрофизических исследований и перспективных информационных систем. 1999. Т. 2. № 1.

## **Intellectual device for definition of building deformations**

*U. Yusupaliev, V. V. Mikheev, S. A. Shuteev, A. K. Maslov,  
V. V. Rozanov, V. I. Telichenko, A. N. Strepetov, E. V. Turbin*  
Moscow State University, Moscow, Russia

*The new digital device is developed. It allows to receive objects images and to measure distance to each element of the received image simultaneously. The intellectual device for definition of buildings deformations and different engineering constructions deformations is developed on the basis of the mentioned above digital device, computing module with digital signal processor and special software.*