

ДИФРАКЦИОННО-ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ

Канд. техн. наук, доц. МАРХВИДА В. Г.

Белорусская государственная политехническая академия

При фотограмметрическом способе определения деформаций на сооружении закрепляются измерительные марки, производится съемка до и после деформации на две фотопластинки. Деформации определяются по измерениям величин смещений или координат на стереокомпараторе. Недостаток этого способа заключается в том, что при съемке на две фотопластинки объектов, подвергаемых кратковременным нагрузкам, даже при неизменных элементах внешнего ориентирования элементы внутреннего ориентирования нарушаются, что требует наличия контрольных точек, которые усложняют вычисления и не всегда могут быть закреплены неподвижно.

Автором предложен метод повышения точности фотограмметрических измерений смещений – применение марки с большим количеством определяемых точек (несколько тысяч). Он позволяет скомпенсировать случайные погрешности факторов, снижающих точность. Но измерение такого фотоснимка классическим методом с помощью компаратора весьма затруднительно ввиду того, что необходимо на каждой марке произвести тысячи измерений.

Выход из создавшегося положения – использование дифракции когерентного света для «измерения» такого фотоснимка. Фотографирование деформируемого объекта осуществляется обычным фотограмметрическим способом с применением специальных дифракционных марок. Для обработки же снимков используют дифракцию когерентного луча света на парных точках, образованных в результате смещения изображений марок. Предлагаемый дифракционно-фотограмметрический метод (ДФМ) позволяет повысить точность и упростить измерения деформаций. Это достигается тем, что смещение определяют измерением параметров интерференционной картины, получаемой при прохождении когерентного излучения через изображения дифракционных марок, представляющих собой систему мелких пятен.

На этапе получения интерференционной картины существует тесная связь между ДФМ и методом спекл-интерферометрии, особенно методом спеклов в белом свете (МСБС). Поэтому многие методики, применяемые в области спекл-интерферометрии, могут быть трансформированы для ДФМ.

Получаемые при восстановлении спеклограммы интерференционные полосы характерны для двухлучевой интерференции, причем период этих полос зависит от величины смещения изображения марки и геометрии съемки и восстановления. Величина смещения, определенная ДФМ, будет

$$L = \lambda f_B U / f_K D, \quad (1)$$

где λ – длина волны лазерного излучения; f_B – расстояние от спеклограммы до плоскости изображения полос; U – отстояние марок при съемке; f_K – фокусное расстояние съемочной камеры; D – период интерференционных полос.

Точность определения смещений ДФМ можно получить в результате дифференцирования формулы (1) и перехода к средним квадратическим погрешностям

$$m_L^2 / L^2 = m_\lambda^2 / \lambda^2 + m_{f_B}^2 / f_B^2 + m_y^2 / y^2 + m_{f_K}^2 / f_K^2 + m_D^2 / D^2, \quad (2)$$

где m_λ , m_{f_B} , m_y , m_{f_K} , m_D – соответственно погрешности величин, указанных выше.

Проанализируем члены выражения (2) по их величине и влиянию на точность измерения смещений m_L . Для гелий-неонового (He-Ne) лазера величина $m_\lambda / \lambda = 10^{-6} \dots 10^{-7}$.

Из практических соображений величина $m_y / f_B = 1/5000$.

Значение отстояния U на весь период съемки остается неизменным. Поэтому его неточное определение вызовет лишь незначительное из-

менение масштаба, в котором определяется смещение, и практически не окажет влияния на величину смещения.

Как известно [1], погрешность определения фокусного расстояния фотокамеры f_k не превышает 0,01...0,02 мм. Для фотокамеры с $f_k \approx 200$ мм

$$m_{f_k} / f_k \leq 10^{-4}.$$

Полученные в результате анализа формулы (2) величины позволяют сделать заключение, что поскольку первые четыре члена формулы имеют значительно меньшую величину, чем пятый, ими можно пренебречь. Формула погрешности определения смещений ДФМ будет

$$m_L \equiv L(m_d / D). \quad (3)$$

Величина погрешности определения смещения в спекл-интерферометрии [2]

$$m_L = M / (25N_{\text{оф}}), \quad (4)$$

где M – знаменатель масштаба изображения; $N_{\text{оф}}$ – разрешающая способность системы объектив-фотоматериал.

При масштабе съемки, близком к единице, $m_L \approx 1/25N_{\text{оф}}$. Поскольку диаметр спекла $d \approx 1/N_{\text{оф}}$ [3], для ДФМ $m_L = a/25$, где a – диаметр пятен на дифракционных марках.

При $M = 100 \dots 250$, $a = 2 \dots 5$ мм, $m_L \leq (2 \dots 5) / 25 = 0,08 \dots 0,2$ мм.

При фотограмметрическом определении смещений

$$m_L = m_{x,z} M = 0,01(100 \dots 250) = (1,0 \dots 2,5) \text{ мм}.$$

Наряду с повышением точности ДФМ упрощает фотограмметрическое определение смещений тем, что при обычном этапе съемки объекта этап измерения снимков менее трудоемок и не требует наличия высокоточного измерительного оборудования. Процесс измерения периода интерференционных полос достаточно прост и может быть выполнен с помощью обычной металлической измерительной линейки, причем требуемая точность определения центра интерференционной полосы невелика – 0,5 мм.

Восстановление спеклограммы сводится к измерению двух параметров интерференцион-

ной картины, возникающей на экране при просвечивании спеклограммы когерентным пучком лазерного излучения. Такими параметрами являются период интерференционных полос D и угол наклона β полос относительно координатной оси. Для получения информации по записанной площади необходимо последовательно в лазерный луч вводить все участки спеклограммы. При большой площади записи такое сканирование представляет собой трудоемкий процесс.

Полуавтоматическое определение параметров [4] – начальный этап на пути автоматизации восстановления спеклограмм – заключается в следующем. Интерференционные полосы проектируются на измерительную линейку с фотоэлементами. Сигналы с линейки считываются с частотой 65 кГц, оцифровываются и запоминаются в ЭВМ. Линейка устанавливается вручную нормально к направлению интерференционных полос. При числе полос менее 8 погрешность линейного параметра достигает 3 % измеряемой величины.

Автоматизированный ввод распределения интенсивности интерференционных полос осуществляется со спеклограммы, установленной на специальной платформе, которая перемещается двухкоординатным шаговым двигателем, управляемым ЭВМ. Непрерывный лазерный луч, проходя через сканируемую спеклограмму, попадает на вращающуюся призму Дове, что вызывает на телемониторе движение интерференционных полос. Но полосы не движутся при совпадении их ориентации с ориентацией телевизионной строки, что и позволяет автоматически фиксировать их угол наклона. С призмы луч направляется на матовый экран, за которым установлена телекамера. Изображение интерференционных полос попадает на интегратор телевизионной строки. В дальнейшем информация поступает на аналого-цифровой преобразователь и ЭВМ. Погрешность измерения смещений составляет 0,8 % от измеряемой величины, а погрешность измерения угла наклона интерференционных полос – 30'. Изображение полос Юнга может приниматься на ТВ-камеру с ПЗС-матрицей (ПЗС – прибор с зарядовой связью). Предельное

разрешение получаемого изображения составляет половину расстояния между линиями телевизионной развертки. Величины погрешностей линейных и угловых измерений аналогичны предыдущему способу.

Быстрота обработки спеклограммы повышена за счет применения матричных процессоров, при использовании которых точность системы обработки в автоматическом режиме адекватна точности визуальной обработки. Приведенные примеры свидетельствуют о том, что автоматизация считывания информации при различных технических решениях значительно облегчает и ускоряет процесс обработки спеклограмм, обеспечивая достаточно высокую точность определения смещений.

Способ измерения смещений и деформаций объектов с использованием двухэкспозиционной фотографии пятнистых структур (метод спеклофотографии), являясь бесконтактным, высокоточным, несложным в применении, позволяет определять смещения и деформации строительных конструкций, макетов сооружений, исследовать различные приборы. Однако этот метод становится нерациональным при испытаниях крупногабаритных строительных конструкций, натурном испытании сооружений, определении перемещений в период монтажа оборудования. Смещения и деформации таких крупноразмерных объектов при наличии на них большого количества регистрируемых точек удобно определять фотограмметрическим методом, в котором по изображениям, полученным в двух экспозициях на одной или двух фотопластинках до и после смещения или деформации объекта, измеряют величину смещения. Однако точность фотограмметрического метода не всегда удовлетворяет требованиям практики. Повысить точность диагностики таких объектов можно, применив дифракционно-фотограмметрический метод, в котором вместо обычных марок, используемых в фотограмметрии, используют марку, представляющую собой стохастически распо-

ложенную систему мелких пятен. Следовательно, для получения спеклограммы используют пространственно-временные корреляционные свойства излучения не естественной поверхности самого объекта, а некоторой структуры пятен, нанесенной специально на такую поверхность.

ДФМ позволяет определять смещения и деформации строительных конструкций и сооружений любых размеров, проводить испытания мостовых переходов [5], диагностику монтажа и эксплуатации современного крупногабаритного технологического оборудования; при этом значительно повышается точность измерений по сравнению с фотограмметрическим методом. Для обработки же спеклограмм не требуются дорогостоящие приборы, достаточно иметь лишь лазер.

Этот же метод может применяться для выявления характеристик движения естественных природных объектов: ледников, лавин, селей, оползней [6]. «Спекл-структуру» в этом случае создает излучение, отраженное от различных включений и образований перемещающейся среды, например, валунов, горных пород и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по применению фотограмметрических методов для составления обмерных чертежей инженерных сооружений. – М.: Стройиздат, 1984. – 311 с.
2. Мархвида В. Г. Применение свойств лазерного излучения для испытания на смещение и деформацию строительных конструкций. – Мн.: БелНИИНТИ, 1990. – 46 с.
3. Франсон М. Оптика спеклов. – М.: Мир, 1980. – 170 с.
4. Фомин Н. А. Спекл-интерферометрия газовых потоков. – Мн.: Наука и техника, 1989. – 168 с.
5. Markhvida V. G., Koushch N. N., Luksha L. K. Measurement of bridge elements displacements By the uncontact method // Durability and service life of bridge structures, II International Scientific Conference. – Poznan, Poland, 1994. – С. 187–190.
6. Блинков Г. Н., Мархвида В. Г., Фомин Н. А. Спекл-диагностика перемещений и деформаций естественных и искусственных объектов // Голография в промышленности и научных исследованиях: Тез. докл. респ. науч. практ. семинара. – Гродно, 1985. – С. 128–130.