

УДК 69.058.2

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ФОТОГРАММЕТРИИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ

© М.И. Ковалёва<sup>1</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Дается описание процедуры мониторинга зданий и сооружений, которые находятся в аварийном или ограниченно работоспособном состоянии. Предоставляется обзор применяемых методов для измерения вертикальных и горизонтальных перемещений, рассматривается метод фотограмметрии при мониторинге деформаций с помощью беспилотного летательного аппарата. Показывается опыт применения данного метода на объекте. Цель данной статьи – обоснование возможности применения метода при использовании в обследовании зданий и сооружений.

*Ключевые слова:* мониторинг, фотограмметрия, техническое состояние, деформации.

### SUBSTANTIATION OF THE APPLICATION OF THE PHOTOGRAMMETRY METHOD FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS

© M.I. Kovalyova

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov Str., Irkutsk 664074, Russian Federation

The article describes the procedure for monitoring buildings and structures that are in an emergency or limited working condition. The article provides an overview of the methods used to measure vertical and horizontal displacements, and also considers the photogrammetry method for monitoring deformations using an unmanned aerial vehicle. Moreover, it shows an experience of application of this method on object. The purpose of this article is to justify the possibility of using the method in a survey of buildings and structures.

*Keywords:* monitoring, photogrammetry, technical condition, deformation

#### Введение

Оценку категорий технического состояния несущих конструкций, зданий (сооружений), включая грунтовое основание, проводят на основании результатов обследования и поверочных расчетов. По результатам этой оценки конструкции, здания и сооружения, включая грунтовое основание, подразделяют на находящиеся:

- в нормативном техническом состоянии;
- работоспособном состоянии;
- ограниченно работоспособном состоянии;
- аварийном состоянии [1].

При ограниченно работоспособном состоянии конструкций, зданий (сооружений), включая грунтовое основание, контролируют их состояние, проводят мероприятия по восстановлению или усилению конструкций и (или) грунтового основания и последующий мониторинг технического состояния (при необходимости).

При аварийном состоянии конструкций эксплуатация здания не допускается, а мониторинг их должен быть установлен в обязательном порядке на весь период до полного завершения работ по приведению конструкций в работоспособное состояние.

При проведении мониторинга технического состояния зданий и сооружений, которые находятся в аварийном или ограниченно работоспособном состоянии, производится контроль процессов, протекающих в грунте и конструкциях объектов, перед началом работ по усилению или восстановлению объектов, а также во время проведения таких работ.

Данный вид мониторинга включает следующие виды работ:

- определение фактических динамических параметров объекта, а также их сравнение с данными, полученными на предыдущем этапе мониторинга;
- определение степени изменения дефектов, которые были выявлены ранее. Данное мероприятие позволяет оценить скорость их распространения, что полезно для предсказания поведения поврежденных через определенный промежуток времени;
- проведение повторных измерений кренов, деформаций, прогибов и других показателей и их сравнение с данными, полученными на предыдущем этапе проведения мониторинга. Аналогично предыдущему мероприятию оценка изменений геометрических параметров здания и сооружения позволяет во многом идентифицировать изменение технического состояния объекта во времени, что важно для формирования, например, ремонтных мероприятий;

<sup>1</sup> Ковалёва Марина Игоревна, магистрант, e-mail: kovaleva.marina.20@mail.ru  
Marina I. Kovalyova, a graduate student, e-mail: kovaleva.marina.20@mail.ru

– анализ данных мониторинга и формирование заключения о фактическом техническом состоянии здания (сооружения).

### Обзор применяемых методов измерения деформаций

Метод измерения деформаций устанавливается в зависимости от требуемой точности измерения, конструктивных особенностей фундамента, инженерно-геологической и гидрогеологической характеристик грунтов основания, возможности и экономической целесообразности применения метода в данных условиях.

Вертикальные перемещения оснований фундаментов следует измерять одним из следующих методов или при помощи их комбинирования.

*Геометрическое нивелирование.* Сущность геометрического нивелирования сводится к определению превышения точки над другой точкой горизонтальным лучом визирования с использованием нивелира и реек. Обработка результатов нивелирования заключается в уравнивании нивелирных ходов и сравнении отметок одноименных марок с течением времени.

*Тригонометрическое нивелирование.* Следует проводить короткими визирными лучами (до 100 м), точными (Т-2, Т-5 и им равноточными) и высокоточными (Т-0,5, Т-1 и им равноточными) теодолитами с накладными цилиндрическими уровнями или электронными тахеометрами. Для определения превышения между двумя точками нужно измерить угол наклона и расстояние.

*Гидростатическое нивелирование.* Применяется для измерения относительных вертикальных перемещений большого числа точек, труднодоступных для измерений другими методами, а также в случаях, когда нет прямой видимости между марками или когда в месте производства измерительных работ невозможно пребывание человека по условиям техники безопасности. При способе измерений осадок с перестановкой водомерных стаканов последовательность наблюдений на станции следующая: закрепление водомерных стаканов на марках, приведение инструмента с помощью уровней в горизонтальное положение, фиксирование по отсчетным приспособлениям положения уровня воды на обеих марках, перестановка водомерных стаканов, приведение в горизонтальное положение, повторное фиксирование по отсчетным приспособлениям положения уровня воды на обеих марках. Превышение между марками можно вычислить по формуле.

Горизонтальные перемещения фундаментов зданий и сооружения следует измерять одним из следующих методов или при помощи их комбинирования.

*Метод створных наблюдений.* Применяется в случае прямолинейности здания или его части. Смещения определяют по направлению, перпендикулярному линии створа.

Створную линию задают либо стальной струной, концы которой закрепляют на неподвижных опорных реперах, либо оптическим способом, используя в качестве линии створа визирную ось зрительной трубы теодолита, нивелира и др. При оптическом задании створа прибор центрируют над неподвижным опорным репером, а на другом конце линии, также над опорным репером, центрируют визирную марку (цель). Чаще всего при измерениях используют способы подвижной марки и малых углов.

*Метод отдельных направлений.* Применяется при невозможности закрепить створ или обеспечить устойчивость концевых опорных знаков створа. Значение горизонтального перемещения  $q$ , мм, деформационной марки с каждого опорного знака определяют по расстоянию  $L$ , мм, от опорного знака до марки (измеряемого с погрешностью  $1/2000$ ) и изменению направления  $\Delta\alpha$ , с, между ориентирным знаком и маркой в двух циклах измерений по формуле  $q = \Delta\alpha \cdot L/\rho$ , где  $\rho = 206265''$ .

Для измерения сдвига сооружений методом направлений достаточно установить три опорных знака, образующих треугольник с углами не менее  $30^\circ$ . При этом один из опорных знаков следует расположить так, чтобы направление с него на марки было перпендикулярно направлению ожидаемого сдвига.

*Метод триангуляции.* Применяется, если здание или сооружение возводится в пересеченной или горной местности, а также при невозможности обеспечить устойчивость концевых опорных знаков створа. На командных высотах местности закрепляют систему геодезических пунктов, образующих сеть треугольников. В этой сети предусматривают периодические определения координат точек с геодезических пунктов путем измерения в треугольниках всех трех горизонтальных углов, длин и азимутов базисных сторон, задающих масштаб и ориентировку сети по азимуту, с точностью  $0,5-0,7''$ . Горизонтальные смещения получают как разность координат в  $i$ -м и начальном цикле наблюдений [2].

Минусами вышеупомянутых методов являются продолжительные полевые работы и невозможность работы в верхней или затененной части объекта или трудности, возникающие при выполнении этой работы.

### Описание метода фотограмметрии и его плюсы

Фотосъемка объекта, исследуемого в рамках данной работы, была выполнена с помощью беспилотного летательного аппарата – квадрокоптера DJI Phantom 4 PRO + (производства фирмы DJI). При этом методе необходимо произвести калибровку компаса квадрокоптера, поиск спутников для пространственной ориентации, установить автоматическое фотографирование с интервалом в 3 с, выполнить полет в ручном режиме по зигзагообразной траектории параллельно фасаду здания. Калибровка камеры выполнялась в программе Agisoft Lens. Программа автоматически определяет

фокусное расстояние, координаты главной точки и коэффициенты радиальной деформации (дисторсии) камеры [3].

Исходными данными, полученными с беспилотного летательного аппарата, для фотограмметрической обработки материалов являются фотоснимки в формате JPEG, TIFF, PNG и др. Одной из программ, позволяющих самостоятельно создавать плотное облако точек, реконструировать 3D-форму и текстуру объекта по разноракурсным фотоснимкам, является программное обеспечение компании Agisoft. Обработка материалов фотосъемки состоит из следующих основных этапов: поиск общих точек на снимках, определение элементов взаимного ориентирования снимков, формирование первичной модели местности, состоящей из общих точек (разреженного облака точек) [4].

При съемке объекта получаем данные по геометрии объекта (облако точек), а также визуальные данные о повреждении конструкций. При фотографировании получаем отдельные снимки в высоком разрешении, так как они были выполнены с близкого расстояния. Из отснятых фотоснимков с помощью специальных программных комплексов для обработки одиночных снимков можно получить масштабный фотоснимок высокой детализации по всей поверхности фасада здания. Из произведенного снимка можно извлечь полную информацию не только о характере повреждения, но и о площади и объеме. Выявленные на участках повреждения представлены на рисунке.



**Фотоснимки фасада и кровли с зафиксированными дефектами**

### Выводы

Рассматриваемый метод бесконтактных измерений дает возможность использования его на значительной территории, в том числе в труднодоступных (горных) и небезопасных точках, отличается быстрыми сроками получения необходимой информации, достоверностью, объективностью отображаемых поверхностей и возможностью проверочных измерений в камеральных условиях, характеризуется высокой точностью получения необходимых результатов за счет техники и методов обработки, высокой производительностью за счет автоматизации измерительных и вычислительных процессов, возможностью использования при динамически развивающихся событиях и ситуациях, применения неконтактного способа наблюдений и съемок, а также может быть применен как экспресс-метод для предварительной оценки технического состояния.

Полученные данные с фотоаппаратуры в последующем могут быть использованы при мониторинге технического состояния здания.

### Библиографический список

1. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Введ. 01.01.2014.

2. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. Введ. 01.07.2013.
3. Азаров Б.Ф. Современные методы геодезический наблюдений за деформациями инженерных сооружений // Ползуновский вестник. 2011. № 1. С. 19–23.
4. Горьев А.С. Опыт обследования кирпичного облицовочного слоя // Geoscan [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geoscan.aero/forum/index.php?action=articles;sa=view;article=22>