

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Л. А. Исламутдинова¹, А. И. Салихов²

¹islamutdinoval@mail.ru, ²salikhovaydar@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема автоматизированного мониторинга технического состояния высотных зданий. Для обработки данных, получаемых с устройств измерений, в рассматриваемой системе используется корреляционный анализ углов наклона колонн каркаса здания. Эффективность таких систем заключается в оперативном выявлении изменений напряженно-деформированного состояния строительных конструкций.

Ключевые слова: строительные конструкции; колебания; напряженно-деформированное состояние; мониторинг; отклонение угла наклона; building structures; vibrations; stress-strain state; monitoring; deviation of the angle of inclination.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы во многих крупных городах все больше и больше появляются высотные здания (более 75 м) и уникальные сооружения. Для обеспечения безопасности при эксплуатации таких зданий и сооружений требуется постоянный контроль их состояния, так как аварийное состояние объектов данной категории может вызвать катастрофические последствия.

Так как высотное здание относится к одним из очень сложных инженерных сооружений, появляется задача контроля технического состояния различных компонентов сооружения.

При проектировании и эксплуатации систем автоматизированного мониторинга технического состояния зданий и сооружений возникает несколько ключевых вопросов, которые являются общими для всех таких систем [1].

Первая задача – это сокращение числа контролируемых параметров: устанавливать на каждом элементе конструкции весь перечень датчиков нецелесообразно, так как это значительно увеличивает стоимость системы, кроме того мы получаем информационную избыточность. Показания многих датчиков в таком случае будут либо совпадать друг с другом, либо иметь сильную взаимную корреляцию, которая объясняется пространственной связанностью элементов (изменение положения одного элемента неизбежно отразится на состоянии других).

Еще одним важным вопросом, с которым неизбежно сталкиваемся во время проектирования системы мониторинга, является проблема выбора необходимого оборудования и способов их объединения для непрерывного контроля технического состояния конструкций надземной и подземной частей объекта мониторинга, а также грунтов основания.

Для контроля технического состояния зданий наиболее распространены следующие типы датчиков: датчик сжатия-растяжения (линейной деформации), датчик угла наклона (инклинометры), датчик вибраций (акселерометры) и датчики ветровой нагрузки (анемометры).

Другая не менее важная проблема, которая возникает при использовании автоматизированного мониторинга, – это критерий выявления предаварийных и аварийных состояний контролируемого объекта. В настоящее время нормативные документы дают следующие рекомендации для углового отклонения всего здания в целом, которое для расстояния от верхней границы фундамента до верха несущих конструкций покрытия h не должно превышать:

- при h до 150 м – 1/500;
- при h до 200 м – 1/600,

что составляет соответственно $0,114^\circ$ и $0,095^\circ$. Эти значения закладываются в систему как граничные. Дополнительным ориентиром для оценки предаварийного состояния здания может быть тенденция в развитии деформации элементов каркаса, то есть скорость деформативных изменений и, следовательно, предполагаемое время, в которое изменения достигнут максимально допустимых значений.

Следующей ключевой задачей является выбор основных элементов конструкции, наиболее чувствительных к возможным деформациям. Для решения данной задачи необходимо использовать технологии компьютерного моделирования зданий. Трехмерная информационная модель конструкции разрабатывается на этапе проектирования и содержит сведения о каждом элементе, о его фактических упруго-деформативных параметрах. Это позволяет по изменению состояния некоторых элементов рассчитать состояние остальных. Соответственно, благодаря компьютерной модели можно решать задачу выбора ключевых элементов.

Таким образом, создание системы мониторинга технического состояния зданий включает в себя решение таких задач, как:

- выбор ключевых контролируемых элементов каркаса здания, обладающих наибольшей чувствительностью к деформациям каркаса;
- выбор необходимого оборудования для системы, в первую очередь – перечня используемых датчиков;
- формирование алгоритма оценки деформации каркаса здания по данным измерений состояния ключевых элементов каркаса;
- определение ситуаций, при которой требуется принятие оперативных решений.

В качестве примера рассмотрено 21-этажное здание, которое состоит из двух основных частей: шестиэтажной части (торгового центра) и 14-этажной гостиницы. Верхняя отметка здания – +85,650 м. В этом здании задача мониторинга решается вышеописанными методами.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Основными элементами в рассматриваемой системе мониторинга являются специальные двухосевые датчики-инклинометры и центральный базовый блок, связь между которыми организована по сетевому принципу. Также осуществлен доступ к центральному блоку через сеть Интернет.

Угол отклонения колонн каркаса здания от своего проектного положения измеряется инклинометрами, которые оснащены беспроводным интерфейсом. При этом датчики устанавливаются на уровне подвального этажа, а также на уровнях 7-го и 21-го этажей, это соответствует отметкам 28 и 78 метров. Кроме этого, устанавливаются анемометр для измерения скорости и направления ветра и датчик-акселерометр. Сигналы, полученные с датчиков, в реальном времени обрабатываются в центральном базовом блоке, который работает в автономном режиме. Также центральный базовый блок имеет объем памяти, достаточный для сбора и хранения данных о состоянии объекта в течение 20 лет. В дальнейшем эти данные могут быть использованы для прогнозирования наступления каких-либо изменений.

Датчики угла наклона расположены в основном на угловых колоннах несущего каркаса сооружения. Программное обеспечение базового блока дает возможность настраивать параметры конфигурирования информационной сети, периода опроса датчиков и т.д.

АНАЛИЗ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА

Методическую основу мониторинга несущих конструкций здания составляет регистрация угловых отклонений сенсора от нормального (первоначального) положения в режиме реального времени. Основными входными информационными параметрами для системы мониторинга деформации несущего каркаса являются углы наклона ключевых конструкций каркаса – монолитных колонн в двух ортогональных вертикальных плоскостях X и Y.

Анализ деформации каркаса базируется на разработанной методике, основанной на сопоставлении коэффициентов взаимной корреляции углов наклона угловых колонн. Конструктивная схема здания обуславливает сильную механическую связанность элементов каркаса в пределах каждого этажа, взаимную зависимость деформации элементов (рис. 1), которая будет проявлять себя значимыми величинами коэффициентов взаимной корреляции углов наклона контролируемых элементов реальной модели, которые позволят получить необходимую геометрическую точность.

Некоторые из наиболее вероятных деформационных изменений несущего каркаса представлены на рис. 2–4. Для всех приведенных схем факт деформации каркаса может быть зарегистрирован по изменению углов наклона контролируемых колонн, а конкретный вид деформации – по показателям корреляционных связей углов наклона. Рис. 2 отображает связь наклона колонн каркаса с прогибом диска перекрытия.

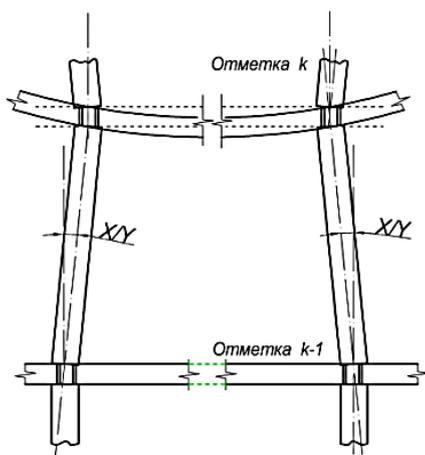


Рис. 1. Схемы деформации диска перекрытия и колонн несущего каркаса здания

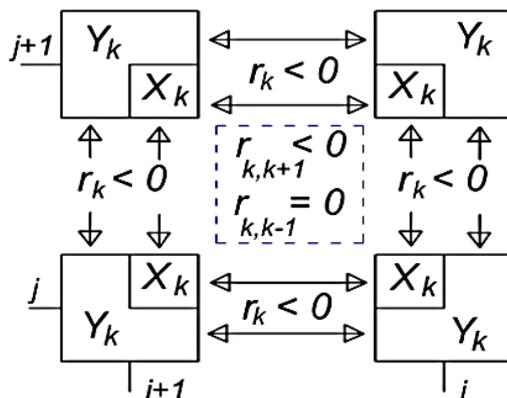


Рис. 2. Соотношения коэффициентов корреляции углов наклона колонн

На рис. 3 показана деформация горизонтального сдвига каркаса в пределах одного этажа здания: изменяются углы наклона колонн одного этажа, колонны, смежные по высоте с контролируемыми, сохраняют свое угловое положение., что является довольно трудно реализуемой задачей на практике. Возникает следующая задача – определение положения РИ в пространстве, которую следует решить в дальнейшем.

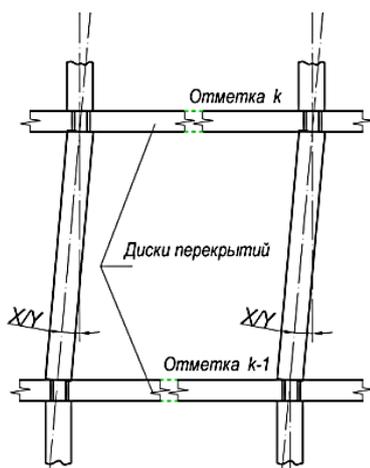


Рис. 3. Схемы деформации горизонтального сдвига диска перекрытия

Аналогичным образом можно составить схему корреляционных связей для случаев наклона всего каркаса здания и для более сложных видов деформации каркаса, например, деформации кручения каркаса в горизонтальной плоскости.

Визуализацию деформационных изменений несущего каркаса здания удобно осуществлять посредством построения годографов угловых перемещений колонн в полярных координатах, привязанных к координатной сетке здания (рис. 4).

Угловая координата (азимут) ang годографа рассчитывается по формуле:

$$ang = \arctg\left(\frac{x}{y}\right),$$

где x , y – значения угловой составляющей каждого сенсора в приведенной системе координат.

Расчет модулей mod углов производился по формуле:

$$mod = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

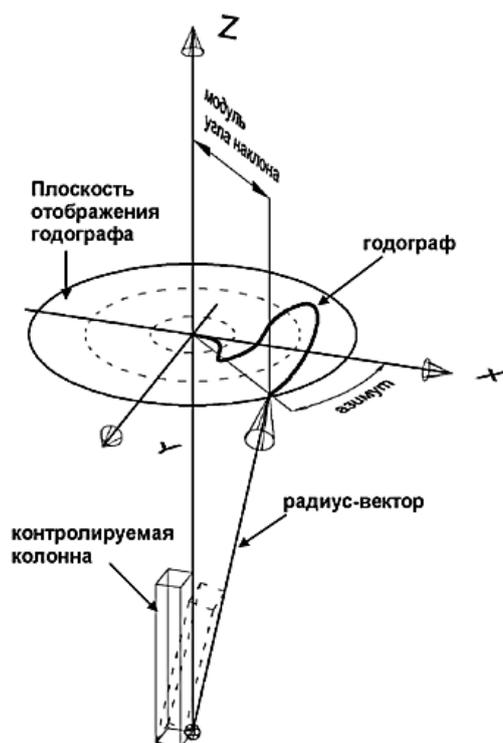


Рис. 4. Схема отображения данных угловых отклонений колонн здания

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье была рассмотрена система мониторинга для высотного здания, в качестве основе которой применяются инклинометры. В качестве основы анализа полученных данных взят корреляционный анализ изменений углов наклона конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снежков, Д. Ю. Автоматизированный мониторинг высотного здания с учетом фактора температуры / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 10. – С. 233–249.
2. Мониторинг высотных зданий: <https://extxe.com/15322/monitoring-vysotnyh-zdaniy/>.
3. О. К. Акмаев, Б. А. Еникеев, А. И. Нигматуллин, "Кинематический анализ станка с параллельной кинематикой оригинальной двухуровневой компоновки" // СТИН, 2015. – № 7. – С. 5–9.

ОБ АВТОРАХ

ИСЛАМУТДИНОВА Лилия Альфировна, магистрант 1-го курса АВИАТ.

САЛИХОВ Айдар Илдарович, доцент каф. ТС ФАВИЭТ.

METADATA

Title: Monitoring the technical condition of bearing structures of high-rise buildings.

Authors: L. A. Islamutdinova¹, A. I. Salikhov²

Affiliation: Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹islamutdinova@mail.ru, ²salikhovaydar@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (26), pp. 37-41, 2022. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract. This article discusses the problem of automated monitoring of the technical condition of high-rise buildings. As a basis for processing monitoring data, a correlation analysis of the angles of inclination of the columns of the building frame is proposed. The effectiveness of such systems lies in the prompt detection of changes in the stress-strain state of building structures.

Key words: building structures; vibrations; stress-strain state; monitoring; deviation of the angle of inclination.

About authors:

ISLAMUTDINOVA, Liliya Alfirovna, postgraduate student 1 year, Ufa State Aviation Technical University.

SALIKHOV, Aidar Ildarovich, Associate Professor of the Department of Telecommunication Systems.