

УДК 69.058

## МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

◆◆◆◆

## MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF HIGH-RISE BUILDINGS

**Кибирова Надежда Астемировна**

студентка,  
Кубанский государственный технологический университет  
nadezhda.kibirova@mail.ru

**Леонова Анна Николаевна**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры строительных конструкций,  
Кубанский государственный технологический университет  
lan\_kubstu@mail.ru

**Аннотация.** Повысить уровень безопасности при строительстве и эксплуатации высотных зданий позволяют системы автоматизированного мониторинга несущих конструкций. В статье рассматриваются цели и задачи автоматизированного мониторинга высотных зданий, а также методики мониторинга оснований и несущих конструкций высотных зданий.

**Ключевые слова:** высотные здания, мониторинг, техническое состояние, станция мониторинга, методики мониторинга.

**Kibirova Nadezhda Astemirovna**

Student,  
Kuban State Technological University  
nadezhda.kibirova@mail.ru

**Leonova Anna Nikolaevna**

Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor of the department  
of building structures,  
Kuban State Technological University  
lan\_kubstu@mail.ru

**Annotation.** Automated monitoring systems of load-bearing structures allow to increase the level of safety during the construction and operation of high-rise buildings. The article discusses the goals and objectives of automated monitoring of high-rise buildings, as well as methods for monitoring the foundations and supporting structures of high-rise buildings.

**Keywords:** high-rise buildings, monitoring, technical condition, monitoring station, monitoring methods.

Развитие строительства высотных зданий на сегодняшний день является актуальным направлением во всех крупных городах. Для обеспечения безопасности при их строительстве и эксплуатации требуется непрерывный диагностический контроль – мониторинг. Он представляет собой такую систему наблюдений за техническим состоянием объекта, которая обеспечивает своевременное обнаружение изменений в конструктивных элементах здания, тем самым предоставляя возможность предотвратить и устранить последствия негативных процессов. Кроме того, мониторинг позволяет в любой момент получить необходимые данные о состоянии элементов и конструкции в целом.

Поскольку высотное здание представляет собой сложное инженерное сооружение, необходимо следить за техническим состоянием и функционированием различных его составляющих: инженерных сетей, конструкций в целом и отдельных узлов, поведением грунтового массива и пр. Все эти элементы взаимосвязаны и образуют единую систему мониторинга здания. При создании системы мониторинга важную роль имеет решение вопросов подбора оборудования и методик инструментального мониторинга, а также их сочетания для контроля состояния строительных конструкций надземной и подземной части высотного здания и грунтов основания [1].

Основной целью мониторинга технического состояния здания является контроль за процессами, протекающими в конструкциях здания и грунте оснований, для своевременного выявления недопустимых отклонений НДС конструкций и оснований, которое может привести к переходу объекта в ограниченно работоспособное или аварийное состояние, а также получения необходимых данных для разработки мероприятий по устранению возникших негативных процессов [2].

Задачи мониторинга и состав работ по контролю технического состояния оснований и конструкций высотных зданий устанавливаются индивидуальными программами выполнения измерений и анализа состояния несущих конструкций в зависимости от архитектурно-конструктивного решения здания и его деформационного состояния [2].

Так как функциональное назначение, материалы и конструктивные схемы высотных зданий отличаются от зданий меньшей этажности, мониторинг высотных зданий необходимо проводить иными методами и с применением новейших средств измерения: цифровых датчиков, инклинометров, лазерных сканеров, оптико-волоконных датчиков, навигационных спутниковых систем и автоматизированных систем геодезического мониторинга.

Для контроля технического состояния оснований и несущих конструкций высотных зданий на них устанавливаются станции мониторинга технического состояния здания. Станция представляет собой автоматизированную измерительную систему, которая в автоматическом режиме определяет напряженно-деформированное состояние конструкций, выявляет расположение их опасных зон, а также другие необходимые параметры (например, крен здания, деформации, давление и т.д.).

Станцию мониторинга проектируют на основании программы мониторинга в соответствии с техническим заданием на проектирование и настраивают, используя разработанную заранее математическую модель для выполнения инженерных расчетов по оценке возникновения и развития дефектов в строительных конструкциях на основании результатов измерений, произведенных в автоматическом режиме.

Создание системы мониторинга предполагает решение следующих вопросов:

- выбор основных контролируемых элементов каркаса здания, имеющих наибольшую чувствительность к вероятным видам деформирования каркаса;
- выбор основной аппаратуры для измерений, первоочередно перечня используемых сенсоров;
- формирование алгоритма оценки на основе измеренных данных деформации несущего остова здания и текущего состояния основных элементов каркаса, а далее на основе этой оценки обнаружение опасной ситуации, в которой требуется быстрое принятие решений [3].

Таким образом, к задачам автоматизированной стационарной системы мониторинга относятся:

- комплексная обработка результатов измерений;
- анализ измеренных параметров строительных конструкций (динамических, деформационных, геодезических и др.) и сравнение с их предельными допустимыми значениями;
- обеспечение информацией, необходимой и достаточной для раннего выявления изменения напряженно-деформированного состояния конструкций [4].

Для выявления изменений технического состояния конструкций уже в процессе возведения здания или сооружения необходимо устанавливать автоматизированные системы контроля, которые в последующем могут использоваться при проведении мониторинга здания в период эксплуатации. Поэтому мониторинг на этапе строительства уникального высотного здания начинается с установки датчиков наклона, представляющих собой электронный уровнемер, по верху плитной части ростверка или фундаментной плиты, как это описано в СП 267.1325800.2016.

Следует иметь в виду, что система мониторинга индивидуальна для конкретного высотного здания. Для различных высотных зданий проекты станций могут иметь значительные отличия, так как они проектируются в соответствии с определённой концепцией мониторинга в зависимости от архитектурных и конструктивных особенностей здания.

В сейсмически опасных районах уникальные здания и сооружения дополнительно оборудуются инженерно-сейсмометрическими станциями – комплексами регистрации перемещений элементов здания и участков прилегающего грунта при землетрясениях [2].

Различные проекты станций мониторинга связывает только общая структура и основная задача проектирования, которая заключается в обеспечении безопасной эксплуатации высотного здания.

В настоящее время благодаря развитию методов и технических средств измерений главным вопросом является выбор не инструментов и методик выполнения из-

мерений, а подбор оптимальной схемы мониторинга для каждого конкретного объекта с учётом технико-экономических показателей.

В эксплуатируемом высотном здании возникают некоторые трудности контроля состояния конструкций с помощью традиционных методов визуального и инструментального обследования в связи с ограниченным доступом к значительной части несущих конструкций. Также методы, основанные на обследовании конструкций зданий и успешно применяемые для обычных зданий, являются экономически неэффективными для высотных зданий по причине их высоких трудоёмкости и стоимости выполнения значительного объёма обследований.

Кроме того, если в малоэтажных зданиях возникновение деформаций несущих конструкций связано в основном с неравномерностью просадок различных частей здания, в высотных зданиях значительное влияние на напряжённо-деформированное состояние несущих конструкций оказывают ветровые нагрузки, что создаёт большую рассеянность мест накопления деформационных повреждений в этих конструкциях.

В связи с вышеперечисленными факторами для высотных зданий возникает необходимость использования других методов, позволяющих автоматизировать процесс измерений.

Инструментальный мониторинг конструкций и оснований зданий опирается, в основном, на четыре типа методик [1]:

**1. Геодезические измерения** для определения пространственных перемещений здания и его частей. Высокоточное нивелирование по деформационным маркам строящегося здания, коммуникациям и окружающей застройке является наиболее точным методом определения осадок и деформации зданий. Измерения, проводимые с использованием высокоточных тахеометров, позволяют своевременно выявлять крены зданий. Для получения точной информации о перемещении и деформации фундаментов, стен, перекрытий применяются современные цифровые датчики, устанавливаемые на конструкцию и регистрирующие любое изменение, микроповреждение или изменение формы здания. Также наблюдение может осуществляться с помощью спутниковых GPS-технологий и систем лазерного сканирования.

**2. Инженерно-геологические наблюдения изменения состояния грунтового массива в основании здания и его окрестности.** При данной методике используются схемы мониторинга с различной трудоёмкостью и информативностью – от измерений в отдельных скважинах до межскважинной сейсмической томографии, позволяющей получить трехмерное изображение. Использование разных датчиков позволяет вести наблюдения за осадками грунтов основания (послойными или суммарными), уровнем грунтовых вод и другими параметрами, необходимыми для расчетов. Кроме того, значимую информацию о протекании деформационных процессов фундамента здания получают с помощью размещения сети датчиков давления на грунт под фундаментной плитой, а также датчиков в сваях для измерения вертикальных нагрузок. Наблюдения можно проводить достаточно часто или даже непрерывно, что дает возможность следить за динамикой изменений объекта.

**3. Измерения нагрузок и деформаций фундамента и надземной части здания** с использованием сети вибрационных датчиков напряжений. Напряжение в каждой точке конструкции имеет прямую связь с деформациями, возникающими в данной точке, что позволяет выразить его через параметры вибрации. Датчики устанавливают на конструкцию высотного здания (фундаментную плиту, стены, пилоны) по пространственным координатам и ведут наблюдения в непрерывном режиме, так как такой мониторинг является автоматизированным.

Для повышения точности измерений в настоящее время ведутся разработки по применению сенсоров, устанавливаемых в железобетонные несущие элементы непосредственно при их возведении. Такие сенсоры позволяют проводить неразрушающие методы контроля и могут использоваться для мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) железобетонных строительных конструкций, например, сборных и монолитных колонн и ригелей зданий и сооружений, а также для мониторинга интенсивности автомобильного движения. Сенсоры состоят из блока,

имеющего форму прямоугольного параллелепипеда, и изготавливаемый из цементного раствора с добавлением углеродных нанотрубок и установленными в нем при формировании электродами для измерения полного электрического сопротивления по четырехточечной схеме при подключении крайних электродов к источнику переменного тока, покрытый эпоксидным клеем для снижения зависимости показаний сенсоров от условий окружающей среды, и исключения колебаниях их электрического сопротивления при изменении влажности. Преимущества способа заключается в повышении точности измерений сенсоров за счет стабилизации их работы при различных условиях окружающей среды и влажности [5].

**4. Сейсмометрические методики** выполняются при помощи различных измерительных устройств, таких как сейсмометры (велосиметры, акселерометры), наклонометры и деформографы. Для полного обследования здания используются датчики с диапазоном частот 0,2 Гц и выше, причём применение низких частот направленно на выявление изменений в состоянии конструкций и может применяться для определения физических характеристик грунтов оснований в условиях естественного залегания. Кроме того, используются различные схемы наблюдений в зависимости от источников возбуждения колебаний здания: искусственных (удары, вибраторы) и естественных (ветровая нагрузка, сейсмическая и т.д.). Сейсмометрические измерения предоставляют подробную «мгновенную» картину состояния объекта, позволяющую получить информацию об особенностях динамики здания в определенном временном интервале.

Следует отметить, что в отличие от первых трёх типов мониторинга, предоставляющих «прямую» информацию о величинах нагрузок, деформаций и других параметров, сейсмометрические методики, основанные на регистрации колебаний, требуют сложной дополнительной обработки и создания моделей динамики здания. При этом особенностью сейсмометрического мониторинга является возможность выбора простой схемы наблюдений, вплоть до одной точки. Достоинством сейсмометрических методик является возможность оценки совместной работы здания и грунтов основания помимо контроля величины ускорений [1].

Комплексное применение первых трех типов мониторинга с сейсмометрическими наблюдениями позволяет объединить между собой все получаемые данные.

Таким образом, мониторинг технического состояния является одним из важнейших инструментов обеспечения безопасности высотных зданий как технически сложных объектов во время строительства и эксплуатации является. Для высотных зданий в связи с отличиями от обычных многоэтажных объектов возникает необходимость использования методов, позволяющих автоматизировать процесс измерений. Поэтому в настоящее время актуальным направлением является применение систем автоматизированного контроля за деформационным состоянием несущих конструкций высотных зданий. Автоматизированная станция мониторинга обладает высокой точностью измерений и позволяет оперативно получать достоверную информацию о текущем состоянии несущих конструкций зданий, тем самым исключая возникновение аварийных ситуаций.

## Литература

1. Зугров М.М. Проектирование и эксплуатация мониторинга конструкций и оснований высотных зданий // Инновации в отраслях народного хозяйства, как фактор решения социально-экономических проблем современности: Сборник докладов и материалов V Международной научно-практической конференции, Москва, 03–05 декабря 2015 года / Институт непрерывного образования. – М. : Негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Институт непрерывного образования», 2015. – С. 202–214.

2. ГОСТ 32019-2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования и установки стационарных систем (станций) мониторинга\* = Technical condition monitoring of the unique buildings and constructions Rules of design and installation of permanent systems (stations) of monitoring : Межгосударственный стандарт : дата введения 2014-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200100943>

3. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н. Автоматизированный мониторинг высотного здания с учетом фактора температуры // Проблемы современного бетона и железобетона. – 2018. – № 10. – С. 233–249.

4. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния = Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition : межгосударственный стандарт : дата введения 2014-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – URL : <https://www.informcad.ru/templates/doc/gost-31937-2011-zdaniya-i-sooruzheniya-pravila-obsledovaniya-i-monitoringa-tekhnicheskogo-sostoyaniya.pdf>

5. Тамов М.М., Грешкина Е.В., Табагуа Г.Р. Устройство для мониторинга состояния железобетонных конструкций / Патент на полезную модель 203093 U1, 22.03.2021. Заявка № 2020135125 от 26.10.2020.

6. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Мониторинг энергоэффективных зданий // Строительство в прибрежных курортных регионах : материалы IX Международной научно-практической конференции / Министерство образования и науки РФ; Сочинский государственный университет. – 2016. – С. 145–148.

## References

1. Zugrov M.M. Design and operation of the monitoring of structures and foundations of high-rise buildings // Innovations in the sectors of national economy as a factor in solving socio-economic problems of our time: Collection of reports and materials of the V International Scientific-Practical Conference, Moscow, 03-05 December 2015 / Institute for Continuing Education. – M. : Non-state educational institution of higher professional education «Institute for Lifelong Learning», 2015. – P. 202–214.

2. GOST 32019-2012. Monitoring of Technical Condition of Unique Buildings and Structures. Rules of design and installation of permanent systems (stations) of monitoring\* = Technical condition monitoring of the unique buildings and constructions Rules of design and installation of permanent systems (stations) of monitoring : Interstate standard : date of entry 2014-01-01 / Federal Agency on Technical Regulation and Metrology. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200100943>

3. Snezhkov D.Y., Leonovich S.N. Automated monitoring of high-rise building taking into account the temperature factor // Problems of modern concrete and reinforced concrete. – 2018. – № 10. – P. 233–249.

4. GOST 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of technical condition = Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition : interstate standard : date of entry 2014-01-01 / Federal Agency on Technical Regulation and Metrology. – URL : <https://www.informcad.ru/templates/doc/gost-31937-2011-zdaniya-i-sooruzheniya-pravila-obsledovaniya-i-monitoringa-tekhnicheskogo-sostoyaniya.pdf>

5. Tamov M.M., Greshkina E.V., Tabagua G.R. Device for monitoring the condition of reinforced concrete structures / Useful model patent 203093 U1, 22.03.2021. Application № 2020135125 of 26.10.2020.

6. Karpanina E.N., Leonova A.N. Monitoring of energy-efficient buildings // Construction in coastal resort regions : materials of IX International scientific-practical conference / Ministry of Education and Science of Russia; Sochi State University. – 2016. – P. 145–148.