

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ (СМИК)

Идиатуллин Денис Рамзилович

Начальник отдела проектирования СМИК ЗАО «Инжиниринговый центр ГОЧС «БАЗИС»

Клецин Владимир Иванович

Генеральный директор ЗАО «ИЦ ГОЧС «БАЗИС», кандидат технических наук

Введение. Предпосылки, причины создания

Идея создания и применения мониторинга объектов строительства появилась не случайно. Объясняется это участвовавшими за последнее время авариями строительных конструкций на ряде объектов с массовым пребыванием людей (рис.1).

Основная цель мониторинга – повышение безопасности и эксплуатационной надёжности объектов строительства.

Существует несколько способов решения данной задачи:

- проведение периодического инструментального мониторинга;
- установка на объекте автоматической системы мониторинга (СМИК).

Для реализации вышеперечисленных требований с точки зрения безопасности на этапе эксплуатации необходимо создание на объектах именно систем **непрерывного (в режиме реального времени) мониторинга** несущих конструкций, аппаратно-программные средства которых позволят осуществлять периодическое обследование несущих конструкций объекта.

Применительно к строительным объектам система непрерывного мониторинга характеризуется специфическими особенностями и потому требует специальных научно-методических и научно-технических проработок.



Рис.1. Пример обрушения

В первую очередь, от такой системы требуется высокий уровень долговечности при высоком уровне надёжности и достоверности собираемой информации о состоянии строительных конструкций. Такие требования следуют из того обстоятельства, что строительные объекты, особенно уникальные, рассчитаны на длительный срок эксплуатации, измеряемый десятками и даже сотнями лет, а события, приводящие к авариям, имеют весьма малую вероятность, измеряемую десятками и даже тысячными долями процента. Именно на гарантированную идентификацию этих долей процента должна быть нацелена система непрерывного мониторинга. В противном случае она теряет смысл.

Цели создания системы мониторинга

Проведение мониторинга необходимо как на этапе строительства объекта, так и на этапе эксплуатации. Исходя из этого, могут быть сформулированы следующие цели создания СММК:

на стадии строительства:

- своевременное обнаружение на ранней стадии осадок, деформаций и перемещений конструкций основания и несущего каркаса здания, которые могут привести к их разрушению, нарушению устойчивости возводимых конструкций, повлечь людские и материальные потери;
- своевременное информирование заказчика о критическом изменении контролируемых параметров;

на стадии эксплуатации:

- обеспечение безопасности персонала, посетителей путём автоматического, в режиме реального времени, информирования персонала дежурно-диспетчерской службы объекта и единой дежурно-диспетчерской службы (ЕДДС) города, района о критическом изменении состояния (деформированного состояния) конструкций объекта;
- обеспечение автоматического, в режиме реального времени, мониторинга интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния несущих конструкций объекта;
- снижение риска утраты несущей конструкцией свойств, определяющих ее надежность посредством своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения состояния (напряженно-деформированного состояния) несущих конструкций, которое может привести к их разрушению и повлечь людские потери, переход здания, сооружения в ограниченно работоспособное, аварийное состояние, к полной или частичной потере несущей способности;
- обеспечение проведения работ периодического мониторинга (обследования).

Структура системы. Функции подсистем

Структура СМИК реализует распределенную систему сбора и обработки данных от различных датчиков (рис.2).

Система состоит из датчиков, локальных контроллеров (АЦП) серверов локальных контроллеров, сервера СМИК и АРМ СМИК.

Это не только система аппаратно-программных средств, но и система взаимодействия с дежурно-диспетчерской службой (ДДС) объекта и единой дежурно-диспетчерской службой (ЕДДС) города, района посредством СМИС объекта.



Рис.2 Структурная схема СМИК

Данная система позволяет устранить человеческий фактор по сокрытию какого-либо «инцидента» или «аварии» (отсутствует возможность бесконтрольной эксплуатации объекта с нарушением режима нормальной эксплуатации конструкций объекта или предаварийным изменением состояния конструкций объекта).

Для достижения поставленных целей **система мониторинга состояния несущих конструкций** разделяется на две **функциональные подсистемы**:

1) **сигнальная подсистема мониторинга** функционирует непрерывно и реализует следующие функции:

- автоматический, в режиме реального времени, мониторинг интегральных характеристик технического состояния несущих конструкций объекта;

– обеспечение автоматического, в режиме реального времени, информирования персонала ДДС объекта и ЕДДС города, района о критическом изменении состояния (деформированного состояния) конструкций объекта;

2) **подсистема периодического мониторинга** начинает функционировать по сообщениям (инцидент, авария) от сигнальной подсистемы мониторинга или в соответствии с заранее определённым регламентом. При этом в автоматизированном режиме реализуются следующие функции:

- обеспечение оценки состояния несущих конструкций объекта и выдачи рекомендаций по их усилению (восстановлению);
- обеспечение контроля и корректировки (при необходимости) функционирования сигнальной подсистемы.

Для осуществления работ периодического (внепланового периодического) мониторинга несущих конструкций объекта привлекаются специализированные организации.

Этапы создания СМИК

Перечислим все стадии жизненного цикла СМИК объекта:

1) создание системы мониторинга:

- проектирование системы мониторинга:
 - формирование требований к системе мониторинга;
 - разработка концепции системы мониторинга;
 - разработка разделов проектной документации системы мониторинга (стадии "Проект", "Рабочая документация");
- строительно-монтажные работы;
- ввод в действие системы мониторинга;

2) эксплуатация системы мониторинга.

Проектирование

Поскольку объекты, оснащаемые СМИК, как правило, уникальны, необходимо для каждого объекта разработать собственную методику мониторинга. Оформить методику можно, например, разделом 1 проекта.

В данной методике должны определяться:

- основные методические принципы построения СМИК и требования к решению задач мониторинга;
- критически важные конструкции, конструктивные элементы, контролируемые параметры, средства контроля основных параметров и места их установки;
- порядок создания системы и проведения НИР;

- программа производства работ по созданию СМИК, требования к технологии и регламентам проведения мониторинга состояния несущих конструкций;
- требования к разработке заключений о состоянии несущих конструкций объекта, подготовке рекомендаций по усилению (восстановлению) несущих конструкций;
- требования к видам обеспечения создания и функционирования СМИК.

Для создания «методики» на этапе проектирования необходимо проведение соответствующих НИР. На этом этапе для определения основных контролируемых параметров должна быть создана расчётная компьютерная модель.

Общий порядок, организация и содержание этапов научно-технического сопровождения работ по созданию и эксплуатации систем мониторинга состояния несущих конструкций зданий и сооружений представлены в документе «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Методика мониторинга состояния несущих конструкций зданий и сооружений. Общие положения. М.2008. МЧС России».

Методика предназначена для разработки методических разделов проектов по системам мониторинга состояния несущих конструкций зданий, сооружений применительно к каждому конкретному объекту с учетом его особенностей.

Методика прошла экспертизу Межведомственного координационного научного совета по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций и аттестована Правительственной комиссией по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности (протокол от 18 марта 2009 г. №3).

СМИК является подсистемой СМИС (см. рис.2), поэтому разрабатывается с учетом требований ГОСТ Р 22.1.12-2005 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования».

Настоящий стандарт устанавливает:

- категории потенциально-опасных объектов, зданий и сооружений, подлежащих оснащению структурированными системами мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС);
- основные требования к построению СМИС;
- перечень функций СМИС, обеспечивающих решение задач безопасности объектов;
- порядок информационного сопряжения данных от СМИС с единой дежурно-диспетчерской службой города, района;
- порядок проведения испытаний и приемки в СМИС эксплуатацию.

Строительно-монтажные работы

Мониторинг на этапе строительства объекта осуществляется как с помощью традиционных методов (геодезия, измерение прочности бетона, и т.п.), так и с помощью датчиков, в том числе закладываемых в железобетонные конструкции перед заливкой.

Например, могут быть использованы тензометрические датчики для определения деформаций плиты основания и несущих стен (напряжений в них) (рис.3). Так же могут быть использованы инклинометры для определения неравномерности осадки фундаментной плиты и ее деформаций (рис.4).

На стадии строительства особенно важна защита оборудования, поэтому инклинометры должны быть установлены в фундаментную плиту в герметичных металлических коробках. Герметизация необходима в связи с неизбежным затоплением подвальных (нижних) этажей во время проведения строительных работ.

Мониторинг осуществляется специализированными организациями периодически (раз в месяц, например). По завершении месяца, этапа строительства или возведения очередного этажа заказчику предоставляется «Заключение» о техническом состоянии возводимых конструкций в соответствии с СП 13-102 2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».

Датчики, используемые при мониторинге на этапе строительства, в последующем интегрируются в СМИК на этапе эксплуатации. Рекомендуется устанавливать датчики по мере строительной готовности возводимых помещений.

Данные, снимаемые с датчиков, записываются в базу данных. Таким образом, при вводе в действие СМИК уже имеется практически полное представление о техническом состоянии здания и соответствии возведенных конструкций проектным решениям.



Рис.3. Тензометрический датчик

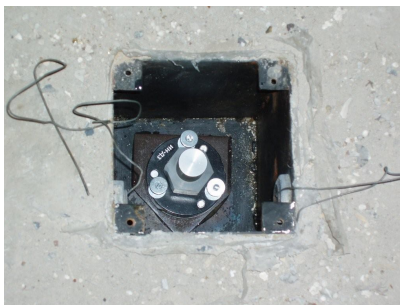


Рис.4. Измеритель угла наклона (инклинометр)

На этапе строительного-монтажных работ по возведению здания и монтажу системы необходимо проведение авторского надзора.

Могут быть использованы различные датчики в зависимости от того, какие параметры нам необходимо контролировать.

Например, на объектах, где используются в качестве несущих конструкций покрытия деревянные клеёные балки и фермы, изменение температурно-влажностного режима от нормального приведет к снижению несущей способности, поэтому (несмотря на то, что это не основной контролируемый параметр (прогиб, угол наклона в точке опирания)), используются датчики контроля температуры и влажности воздуха и древесины.

Измерительное оборудование (датчики), используемое в СММК, должно быть сертифицировано и внесено в реестр средств измерений РФ.

Ввод в действие

На этапе ввода в действие необходимо проведение первичного «периодического» мониторинга для определения категории здания, включающего в себя обследование здания в соответствии с СП 13-102 2003, испытания конструкций, испытания и тарировка системы (в соответствии с ранее разработанными и согласованными программами испытаний конструкций и системы).

Периодический мониторинг должен осуществляться специализированными организациями.

Если проводился мониторинг на этапе строительства, необходимо использовать «Заключения» о техническом состоянии здания и накопленные базы данных показаний, снимаемых с датчиков.

По результатам первичного мониторинга (а также проведения мониторинга на этапе строительства) корректируется модель (созданная на предыдущих стадиях), определяются граничные значения (уставки) и создается «**Паспорт мониторинга**».

Так же разрабатываются Регламенты проведения мониторинга и инструкции по действиям ДДС объекта и ЕДДС города, района при инцидентах, авариях.

Указанные инструкции разрабатываются, службой эксплуатации объекта. Основой для разработки инструкций являются «Регламент действий при предаварийных, аварийных и чрезвычайных ситуациях», который разрабатывается на стадии «Рабочая документация».

Эксплуатация

На этапе эксплуатации система функционирует непрерывно, в режиме реального времени.

На этапе эксплуатации системы в соответствии с регламентом осуществляется периодический мониторинг:

- 1 раз – через 2 года после ввода в эксплуатацию;
- затем – 1 раз в 5 лет
- или по сообщениям от сигнальной подсистемы.

Паспорт мониторинга

Паспорт мониторинга объекта – это совокупность документов, моделей, включающая в себя:

- заключения о техническом состоянии несущих конструкций здания¹, сооружения, рекомендации по усилению, восстановлению несущих конструкций, полученные в результате работ периодического (внеочередного) мониторинга, рекомендации по совершенствованию математического, программного и методического обеспечения системы мониторинга (при необходимости);
- расчетную (компьютерную) модель объекта (здания, сооружения и его системы мониторинга – СМИК), адекватную текущему состоянию несущих конструкций;
- матрицу граничных значений интегральных характеристик, соответствующих нарушению нормальной эксплуатации и предаварийному изменению состояния несущих конструкций для каждого из определенных воздействий и/или нагрузок на строительные конструкции здания, сооружения.

1. Заключения о состоянии несущих конструкций объекта формируются по результатам проведения обследования здания при проведении мониторинга на этапе строительства, при вводе в действие системы, при дальнейшем периодическом мониторинге.

2. Расчетная² (компьютерная) модель объекта должна позволять рассчитывать любые перемещения (линейные и угловые), деформации элементов и динамические параметры (собственные формы, частоты и амплитуды колебаний) для всех нормативных и расчетных видов нагрузок и/или воздействий, в том числе импульсных (землетрясения, взрывы).

Для обеспечения адекватности объекту расчетная модель корректируется по результатам периодического мониторинга.

3. Матрица граничных значений интегральных характеристик разрабатывается для оценки состояния несущих конструкций зданий, со-

¹ Указанные заключения и рекомендации являются результатом проведения работ по обследованию (выборочному, сплошному) несущих конструкций.

² Расчетная модель разрабатывается с использованием специализированных программных средств, имеющих сертификаты, подтверждающие их применимость для решения задач моделирования.

оружений по критериям: нарушение нормальной эксплуатации и предаварийное изменение состояния несущих конструкций.

При определении таких критериев целесообразно исходить из принципов **методики предельных состояний**, положенных в основу обеспечения надёжности в строительстве (ГОСТ 27751-88 «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту»).

Соответственно, к расчётной модели прикладываются нормативные и расчётные нагрузки.

Согласно этой методике, различают два основных предельных состояния здания, сооружения:

- первое предельное состояние, когда конструкция полностью утрачивает свои эксплуатационные свойства, например, разрушается, теряет устойчивость, опрокидывается и т.д. При проектировании в этом случае исходят из максимально возможных расчётных нагрузок и/или воздействий и минимально возможных расчётных сопротивлений конструктивных материалов;
- второе предельное состояние, когда при сохранении несущей способности затруднена нормальная эксплуатация сооружения. Например, перемещения (прогибы) конструкций приводят к нарушению работы технологического оборудования, колебания конструкций вызывают дискомфортное состояние людей, находящихся в помещениях верхних этажей высотного здания. Проектирование зданий, сооружений в этом случае выполняется, исходя из так называемых нормативных значений – пониженных для нагрузок и/или воздействий и повышенных для прочности материала, так как предполагается, что такое дискомфортное состояние будет кратковременным или может быть устранено штатными средствами. После этого сооружение будет полностью удовлетворять эксплуатационным требованиям, в том числе требованиям безопасности.

Выводы

1. СМИК разрабатывается для обеспечения безопасности зданий и сооружений, проектируется и реализуется в соответствии с требованиями:

- ГОСТ Р 22.1.12-2005 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования»;
- «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Методика мониторинга состояния несущих конструкций зданий и сооружений. Общие положения и требования».

2. В отличие ряда других систем СМИК функционирует:

- автоматически, непрерывно, в режиме реального времени и обеспечивает мониторинг и решение задач оповещения, в том числе на эвакуацию людей;
- в автоматизированном режиме по обеспечению периодического мониторинга (обследования).

3. Аппаратно-программные средства СМИК используются при проведении обследования несущих конструкций объекта в соответствии с СП 13-102 2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» при проведении периодического мониторинга.

4. База данных измерений, накопленных сигнальной подсистемой, – это аналог «черного ящика» самолета, позволяющий более точно определить изменение технического состояния несущих конструкций объекта, сформировать адекватные заключения.

5. Внедрение СМИК позволит снизить риски чрезвычайных ситуаций, связанных с обрушением конструкций и гибелью людей (Аквапарк, Бауманский рынок в г.Москве и т.п.).

Библиографический список

1. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования.
2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Методика мониторинга состояния несущих конструкций зданий и сооружений. Общие положения. М.2008. МЧС России.
3. СП 13-102 2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
4. Патент №86007. Система мониторинга безопасности несущих конструкций, конструктивных элементов зданий, сооружений в режиме реального времени.
5. Патент №83618. Система мониторинга безопасности несущих конструкций, конструктивных элементов зданий, сооружений в режиме реального времени.
6. Патент №83617. Система мониторинга безопасности несущих конструкций, конструктивных элементов зданий, сооружений в режиме реального времени.
7. Патент №86763. Система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС).