

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Снежков Д.Ю., канд. техн. наук, доцент, **Леонович С.Н.**, д-р техн. наук, профессор (БНТУ)

Аннотация. Назначением автоматизированных информационно-измерительных систем мониторинга деформационного состояния несущих конструкций здания является снижение риска аварийных ситуаций на основе ранней диагностики изменений напряженно-деформированного состояния конструкций и локализации мест такого изменения. В статье рассматривается система основанная на регистрации изменений углов наклона элементов каркаса здания датчиками - инклинометрами. Для определения характера деформации каркаса предлагается использовать показатели корреляции угловых перемещений его элементов.

По действующему в Беларуси ТКП 45-3.02-108-2008 – «Высотные здания. Строительные нормы проектирования» для всех проектируемых в Республике высотных зданий «... необходимо предусматривать научно-техническое сопровождение, включающее комплекс мероприятий, в том числе геотехнический мониторинг, мониторинг состояния несущих конструкций и фасадных систем, необходимые испытания конструкций и материалов, аэродинамические испытания и др.».

Структурно в системе автоматизированного мониторинга можно выделить два уровня:

- технический, в который входит собственно система сбора информации с сенсорными элементами, физическим интерфейсом объединения сенсоров в информационную сеть, центральным сервером под управлением программного пакета *SCADA (supervisory control and data acquisition)* для сбора, архивации, долговременного хранения информации и обеспечения доступа к ней ответственных лиц;

- уровень принятия решений, ядром которого является алгоритм распознавания приближения аварийной ситуации по совокупности фактических значений полученных от сенсоров параметров деформации контролируемых элементов.

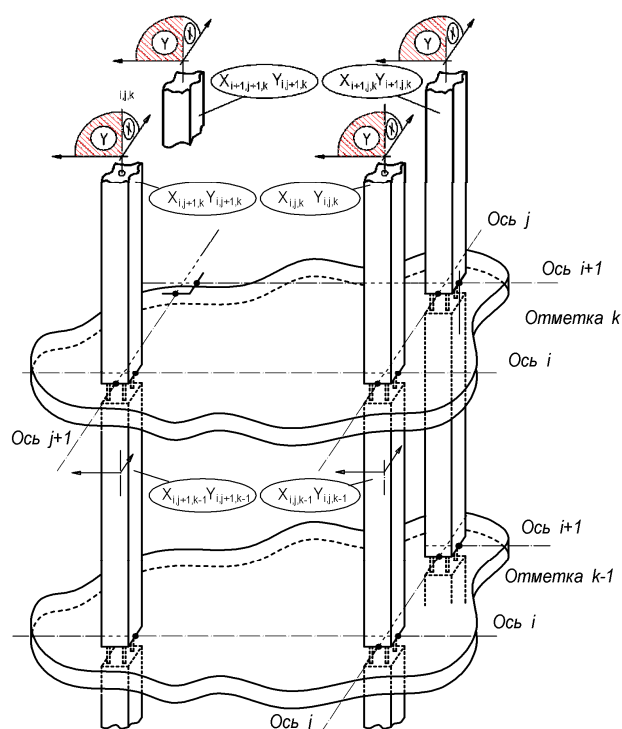
В настоящее время на рынке приборных средств нет недостатка в предложениях такого рода измерительно-информационных систем. Типичными контролируемыми параметрами являются величины линейной деформации, углы наклона и колебательное ускорение. Дополнительно могут устанавливаться сенсоры скорости и направления ветра, сенсоры температуры, а также датчики акустической эмиссии.

Было бы идеальным снабдить каждый элемент силового каркаса здания всем перечнем сенсоров. В реальности, конструктору приходится руководствоваться принципом разумной достаточности, принимая в

рассмотрение конструктивную схему здания, характеристики грунта, диапазон рабочих нагрузок, вероятные техногенные и прочие факторы, а также характер использования помещений. Установка датчиков линейной деформации, независимо от физического принципа их работы, требует достаточно протяженной базы, на которой производится регистрация взаимного перемещения контрольных точек силового каркаса. Но это может быть неприемлемым по условиям монтажа или архитектурным или эстетическим соображениям. Выбор ключевых контролируемых конструкций и количество устанавливаемых сенсоров должен производиться на основе анализа вероятностных моделей деформации каркаса, что является нетривиальной задачей, зависящей от конкретного конструктивного исполнения здания, эволюции упруго-прочностных характеристик конструкционных материалов, характеристик грунтов и внешних воздействий. Ясной, однозначной регламентации этого вопроса действующими нормативами в настоящее время нет.

Рассматриваемый в этой статье один из “эконом-вариантов” основан на использовании датчиков угловых перемещений – так называемых инклинометров. Типичные модели инклинометров обеспечивают измерение углов своего наклона в двух ортогональных вертикальных плоскостях X и Y (рис. 1).

а).



б).



Рисунок 1 – Схема привязки индексов инклинометров и углов наклона колонн к осям здания (а); сенсор-инклинометр с беспроводным интерфейсом (б)

Система установки инклинометров должна обеспечивать максимальную информативность, позволяя регистрировать наиболее вероятные изменения геометрии несущего каркаса здания. С таких позиций наиболее эффективными местами установки инклинометров являются несущие колонны в осях по периметру дисков перекрытий монолитного каркаса. Для прямоугольных в плане зданий целесообразно устанавливать инклинометры на угловых колоннах. Некоторые наиболее вероятные деформационные изменения несущего каркаса представлены на рис. 2 и рис. 3.

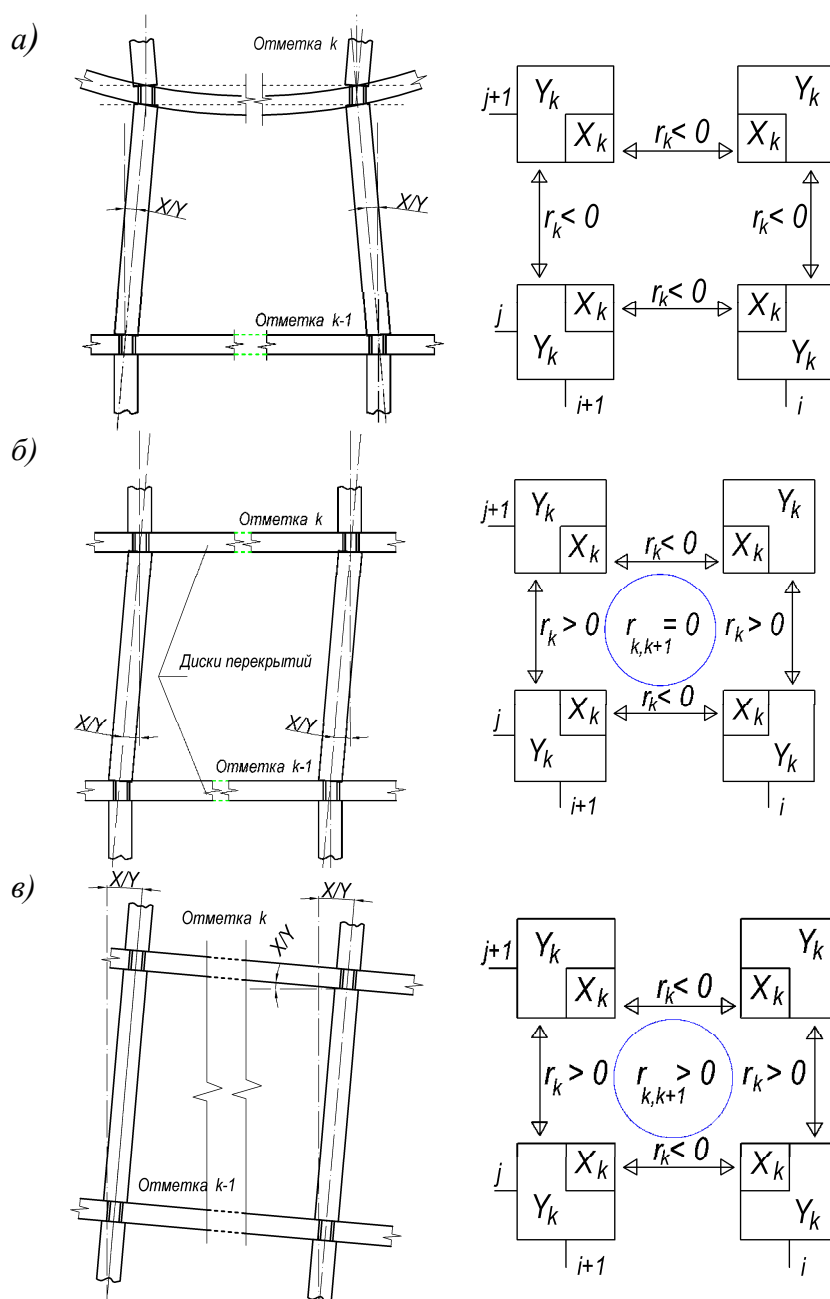


Рисунок 2 – Схемы деформации фрагментов несущего каркаса здания (слева); соотношения коэффициентов корреляции углов наклона колонн (справа)

Для всех приведенных выше схем факт деформации каркаса может быть зарегистрирован по изменению углов наклона контролируемых колонн, а

конкретный вид деформации – по показателям корреляционных связей углов наклона. На рис. 2,б показана деформация горизонтального сдвига каркаса в пределах одного этажа здания: изменяются углы наклона колонн одного этажа, колонны смежные по высоте с контролируруемыми сохраняют свое угловое положение. На рис. 2,в отображен наклон всего каркаса здания: углы наклона смежных по высоте колонн одинаковы. Схемы корреляционных связей в пределах одного этажа по рис. 2,б и рис. 2,в совпадают. Ориентация осей колонн и наименования углов наклона на рис. 2, рис. 3 выполнены в соответствии с рис. 1.

На рис. 3 отображена деформация кручения каркаса в горизонтальной плоскости. Характерным для такого типа деформации является взаимная корреляция углов в ортогональных плоскостях X и Y (см. рис. 3,б).

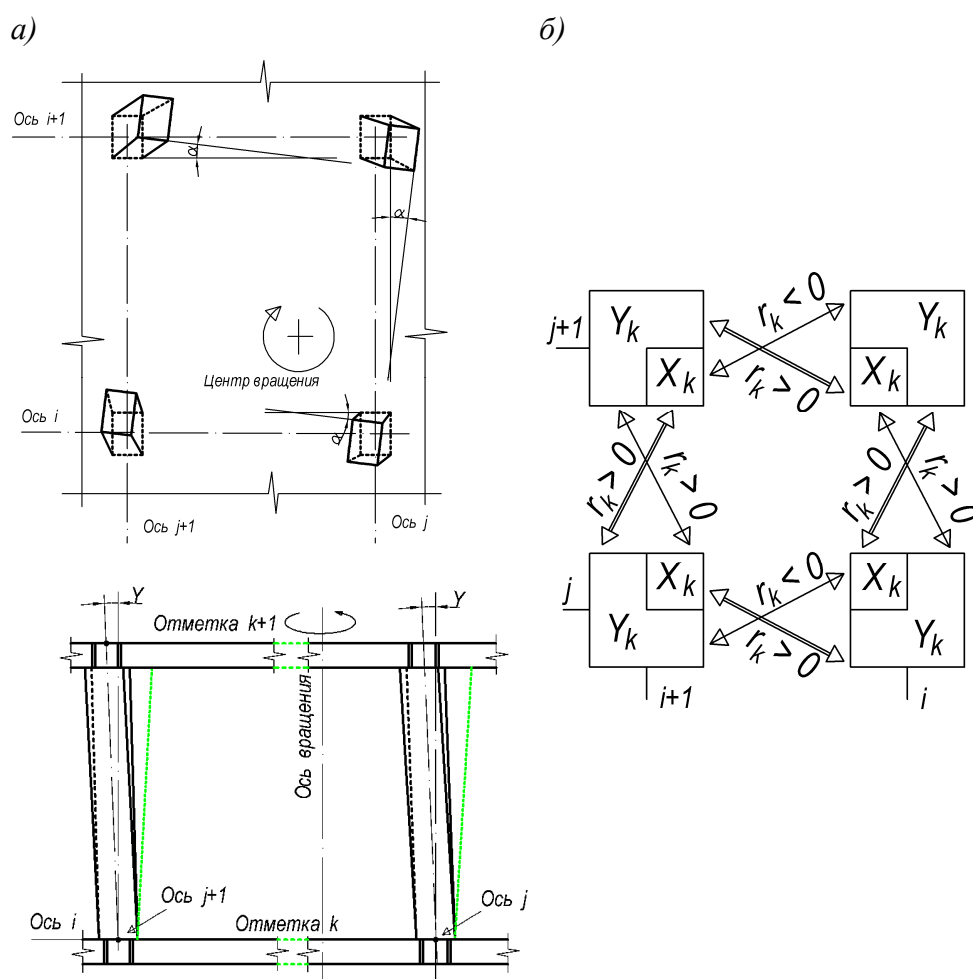


Рисунок 3 – Схема деформации кручения фрагмента несущего каркаса здания (а); соотношения коэффициентов корреляции углов наклона колонн (б)

Реальная картина деформирования несущего каркаса здания может представлять комбинацию приведенных на рис.2, рис.3 вариантов. Соответственно, схема корреляционных связей контролируемых углов будет представлять собой интерференцию рассмотренных выше составляющих.

Объектом мониторинга являлось высотное 21-этажное здание с монолитным железобетонным каркасом. Основу несущего каркаса объекта

составляли несущие монолитные колонны, диски монолитных перекрытий и элементы поперечной жесткости.

Беспроводные сенсоры контроля угловых отклонений несущего каркаса здания устанавливались на трех уровнях: в подвальном этаже, 7 и 21 этажах в ключевых узлах конструкций здания. На кровле были установлены проводные сенсор скорости и направления ветра и сенсор-акселерометр. Обработка сигналов сенсоров происходила в центральном базовом блоке системы, в режиме реального времени. Предварительный анализ сигналов сенсоров-инклинометров за период июль – сентябрь 2015 года выявил сильную зависимость углов наклона от температурных изменений (см. рис. 4 и рис. 5).

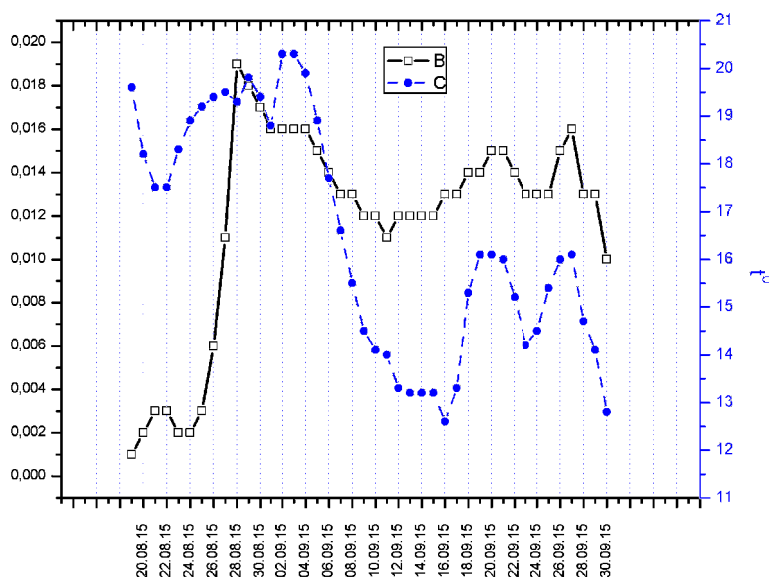


Рисунок 4 - Совместные временные диаграммы угловых перемещений инклинометра ID-01 технического этажа и температуры

Также присутствовала значительная динамическая составляющая углов наклона, имеющая стохастический характер, что могло иметь разные причины, в том числе и не связанные с реальной деформацией элементов каркаса: ударными вибрациями при транспортировке и продолжающемся монтаже оборудования здания, шумами измерительного тракта сенсоров, значительными перепадами и бросками напряжения питающей сети. На рис. 5 приведены диаграммы угловых перемещений сенсоров в плоскости осей X^* , Y^* приведенной системы координат, в таблице 1 приведены показатели корреляции угловых перемещений контролируемых колонн.

Выполненные работы показали достаточно высокую эффективность использования инклинометров в качестве измерительной основы автоматизированной системы мониторинга несущего каркаса строительных объектов.

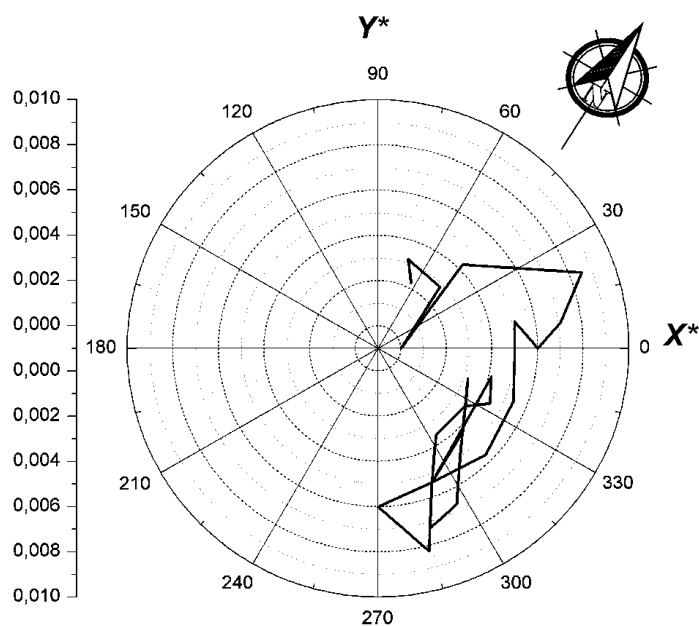


Рисунок 5 - Годографы векторов угловых перемещений инклинометра ID-05 7 этажа здания за период наблюдения

Таблица 1 – Коэффициенты взаимной корреляции модулей отклонения контролируемых колонн и их корреляции с температурой

Кoeff. коррелл.	Инклинометры технического (21) этажа				Инклинометры 7 этажа				Инклинометры подвального этажа				
	ID-01	ID-02	ID-03	ID-04	ID-05	ID-06	ID-07	ID-08	ID-09	ID-10	ID-11	ID-12	ID-13
$r_{i,t}$	-0,767	-0,896	-0,970	-0,861	-0,283	-0,586	-0,560	-0,140	-0,985	-0,975	-0,756	+0,287	-0,733
$r_{01,02}$	0,297												
$r_{01,04}$	0,345												
$r_{03,02}$	-0,801												
$r_{04,02}$	0,899												
$r_{05,06}$					0,282								
$r_{05,08}$					0,067								
$r_{07,06}$					0,968								
$r_{07,08}$					0,208								
$r_{09,10}$									0,921				
$r_{09,13}$									0,898				
$r_{11,10}$									0,854				
$r_{11,12}$									-0,317				
$r_{12,13}$									0,280				
$r_{10,13}$									0,838				

Показатели чувствительности и долговременной стабильности метрологических характеристик инклинометров позволяют регистрировать практически любые деформационные изменения геометрии несущего каркаса здания, в том числе, обусловленные вариацией температуры. Компактность конструкции и удобство монтажа датчиков в сочетании с беспроводным интерфейсом позволяет оперативно, с малыми издержками организовать информационно-измерительную мониторинговую сеть, а при необходимости осуществлять её переконфигурирование в эксплуатируемых зданиях и сооружениях.