

**МОНИТОРИНГ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННОМ И  
ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: КОНЦЕПЦИЯ, РЕАЛИЗАЦИЯ,  
ПЕРСПЕКТИВЫ**

**STRUCTURAL MONITORING IN INDUSTRY AND CIVIL ENGINEERING:  
CONCEPT, IMPLEMENTATION AND PROSPECTS**

Неугодников А.П., заместитель Генерального директора ЗАО «Мониторинг-Центр»,  
Москва

Егоров Ф.А., кандидат физико-математических наук, Главный конструктор ЗАО  
«Мониторинг-Центр», Москва

Ахлебинин М.Ю., кандидат технических наук, заместитель Генерального директора ЗАО  
«Мониторинг-Центр», Москва

Волчок А.С., представитель ЗАО «Мониторинг-Центр» в Республике Беларусь, Минск

**АННОТАЦИЯ**

Рассматривается проблема внедрения мониторинга технического состояния строительных сооружений во время строительства и в период эксплуатации. Анализируются нормативные аспекты регулирования технического мониторинга в строительстве в России и Беларуси. Рассмотрены примеры строительного мониторинга на базе волоконно-оптических информационно-измерительных систем в России. Обсуждаются перспективы развития высотного домостроения и необходимость строительного мониторинга в Беларуси.

**ABSTRACT**

The problem of introducing of technical monitoring during construction and operation is presented. Normative aspects of monitoring technology in construction in Russia and Belarus are analyzed. Examples of the construction monitoring at the fiber-optic information-measuring systems in Russia are presented. The prospects for the development of high-rise housing and the need to monitor construction in Belarus are discussed.

## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость создания систем мониторинга строительных сооружений сегодня не требует доказательств и обоснований. Более того – в России и за рубежом идет активный процесс разработок различных систем технического мониторинга строительных сооружений (ТМСС) [1].

Основной вопрос, который можно определить как наиболее важный в этой сфере – почему существующие системы мониторинга не стали инструментом, надежно и эффективно отслеживающим деструктивные изменения в конструкциях? Вопрос далеко не простой и ответ на него следует искать в комплексе причин. Перечислим основные аспекты, влияющие на разработку систем ТМСС:

- технический – определение физико-технических принципов, на которых базируется измерительная система;
- технологический – разработка методов и способов производства комплектующих, монтажа системы и эксплуатации;
- экономический – оптимизация ценовых параметров системы.

Помимо перечисленных аспектов важное значение имеют социальное и психологическое определение места ТМСС. Поскольку мониторинг должен касаться, в конечном итоге, каждого гражданина, необходима законодательная база, определяющая и регламентирующая его цель и функции. При этом юридический механизм, определяющий статус мониторинга, должен сочетаться с продуманной политикой внедрения, которая учитывает психологическое восприятие всех аспектов: технического, технологического и экономического.

## КОНЦЕПЦИЯ

Очевидно, что главная причина отсутствия типовой системы мониторинга кроется в том факте, что большинство разрабатываемых систем ограничиваются рассмотрением одного или нескольких параметров контроля. При этом контроль конкретных параметров базируется на датчиках различных типов. Поскольку любая измерительная система обязательно имеет две основные составляющие – преобразователь физической величины и электронный блок обработки, то отсутствие единообразия в каждой из этих частей многократно увеличивает разнотипность систем мониторинга и, как следствие, уменьшает возможность создания типовой системы.

Информация от большого количества разнотипных измерительных систем требует создания сложной системы обработки. С другой стороны, специалисты по автоматизации систем развивают все более сложные технологии, не задаваясь вопросом оптимизации

процедур физического контроля. При этом конкретные системы создаются под различные задачи, конструкции и контрольно-измерительные условия. В результате появляется масса независимых систем различного принципа действия, при новой задаче появляется новая система и т.п. Типовая система при таких условиях создана быть не может. Увлечение западными технологиями или использование морально устаревших разработок при современном активном строительстве, определяемых российской спецификой, тоже не приближает к цели.

Для создания системы мониторинга как типового инструмента следует формализовать цель. Необходимо создать систему ТМСС в базовом варианте, который предусматривает, как минимум, контроль всех типовых жилых зданий. Базовый вариант мониторинга должен обеспечивать контроль основных параметров, отвечающих за наиболее распространенные причины потенциальных аварий. При необходимости базовый вариант должен иметь возможность расширения, как по количеству точек контроля, так и по видам контролируемых конструкций, а также по списку контролируемых параметров. Типовая система ТМСС должна содержать:

- измерительный блок, построенный на базовом физическом принципе;
- электронный блок обработки сигналов, легко адаптируемый при расширении базовой системы.

Для достижения цели разработки оптимальной системы строительного мониторинга, предлагается контрольно-измерительная система на базе волоконно-оптических датчиков [3]. Сформулируем основные принципы этой системы (Рис. 1).

Базовым датчиком, используемым в системе мониторинга, является амплитудный волоконно-оптический датчик деформаций. Датчик имеет несколько вариантов исполнения, позволяющих заливать его в железобетонную конструкцию или крепить на поверхности строительных элементов. Установка датчиков в точках максимально вероятных точках потенциального источника деструкции (большие нагрузки, моменты) регламентируется на стадии проекта. Контроль может вестись как в течение монтажа, так и во время эксплуатации сооружения. Электронный блок обработки сигналов получает постоянную информацию о состоянии конструкции во внутренних и внешних точках контроля [4]. Сопоставление этой информации с проектными данными в постоянном режиме позволяет делать выводы о «здоровье» конструкции.

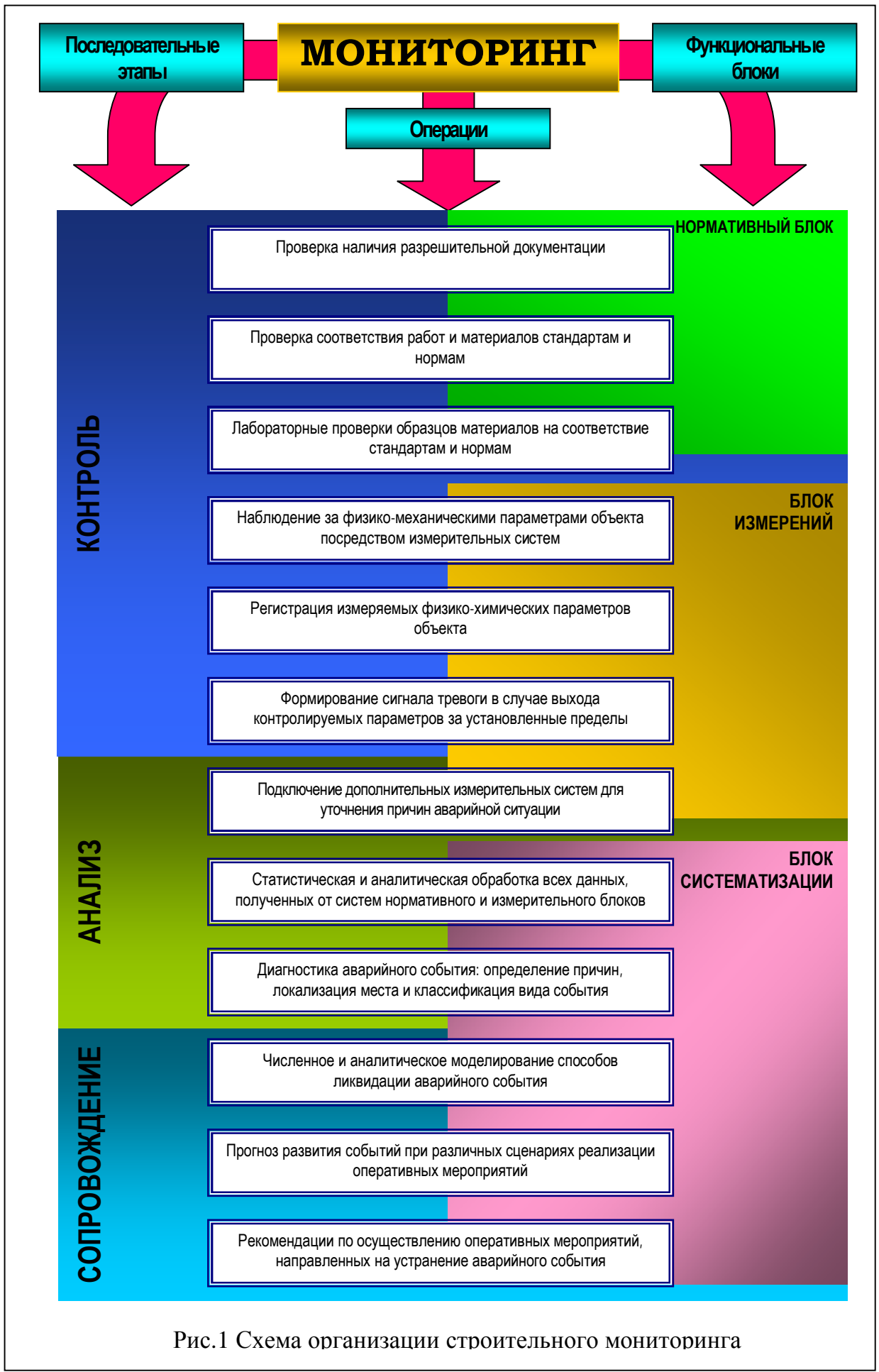


Рис.1 Схема организации строительного мониторинга

При этом анализ производится путем численного моделирования состояния сооружения с реально измеренными данными, которые закладываются в расчет. Полученный результат позволяет понять, как деформировалось здание в целом. Важно отметить, что информация получается только по локальным деформациям, а выводы можно сделать по изменению здания в целом. Дополнительно в системе присутствует волоконно-оптический датчик температуры, миниатюрность чувствительного элемента которого позволяет монтировать его в самых труднодоступных местах, в том числе, опять же внутри железобетонных конструкций.

Полученная система является примером унификации по базовому физическому принципу, технологиям изготовления и монтажа. При этом разнообразие механизмов преобразования физических величин на базе волоконной оптики позволяет охватывать весь спектр параметров, которые необходимо контролировать в строительстве. Для ответственных объектов или в случаях необходимости дополнительного контроля количество датчиков увеличивается, система дополняется иными датчиками (как волоконно-оптическими, так и традиционными). Используемый в системе электронный блок передачи и обработки сигналов имеет унифицированную структуру. Передача сигналов может осуществляться как по волоконно-оптическим каналам связи, так и по имеющимся электрическим сетям (что не требует дополнительных работ по оборудованию каналов связи), а также и в беспроводном формате.

Волоконно-оптические датчики являются примером максимально безопасных датчиков, которые гарантируют обеспечение взрывобезопасности и пожаробезопасности даже в условиях взрывоопасного газа или горючих веществ, поскольку в них нет электрических цепей и сигналов. Кроме того, волоконно-оптические датчики не подвержены влиянию электромагнитных полей и сами их не индуцируют. Все эти свойства с точки зрения социально-психологического восприятия внедрения волоконно-оптических систем строительного мониторинга не менее важны, чем технические аспекты реализации.

## ПРИНЦИПЫ

Общие принципы расстановки измерительных узлов в системе мониторинга, базирующейся на датчиках ЗАО «Мониторинг-Центр», определяются следующими условиями [2]:

- Зоны, подконтрольные конкретным датчикам, должны покрывать максимально возможный объем или площадь контролируемого сооружения.

- Количество и места установки датчиков должны быть достаточными для того, чтобы, аппроксимируя измеренные параметры, была возможность получить восстановленную картину полей распределения контролируемого параметра.
- Расстановка датчиков должна быть оптимизирована таким образом, чтобы данные одного типа датчиков можно было сопоставить с данными другого типа датчиков с последующими выводами о степени корреляции различных параметров.
- Количество датчиков должно быть минимизировано с точки зрения затрат на создание системы мониторинга.
- Конфигурация сети датчиков должна обеспечивать, помимо локального контроля параметра здания или сооружения в зоне измерительного узла, возможность оценивать глобальные характеристики сооружения, в частности, корреляцию взаимодействия подземной и надземной частей здания или сооружения.

Исходя из вышеперечисленных условий, определяют расположение измерительных узлов на следующих уровнях (Рис. 2):

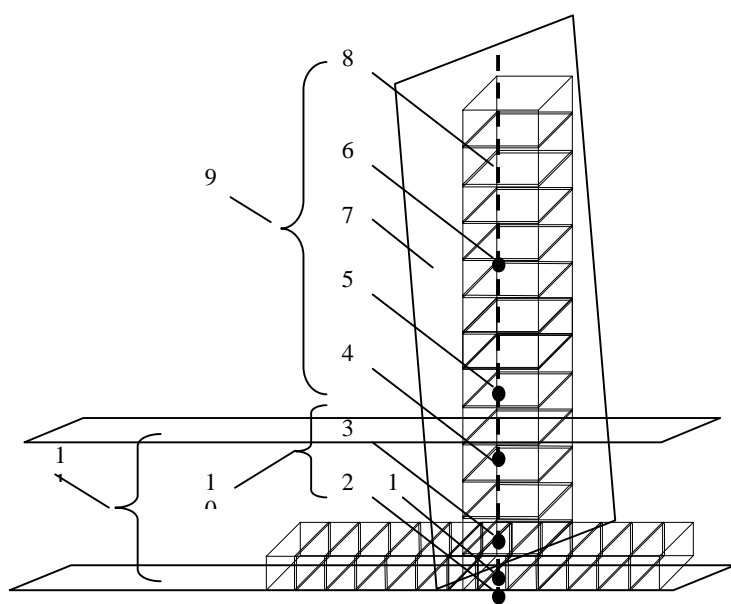


Рис. 2 Принцип расположения измерительных узлов по вертикали на разных уровнях. Обозначено: 1 – датчик контактных напряжений в уровне I, 2 – датчик деформаций в уровне II, 3 – датчик деформаций в уровне III, 4 – датчик деформаций в уровне IV, 5 – датчик деформаций в уровне V, 6 – датчик деформаций в уровне VI, 7 – вертикальная секущая плоскость, 8 – вертикальная прямая, соединяющая датчики всех уровней, 9 – надземная часть, 10 – граница раздела, 11 – подземная часть.

- Уровень грунтового основания – подошвы фундаментной плиты – уровень I.
- Уровень нижней зоны армирования фундаментной плиты – уровень II.
- Уровень верхней зоны армирования фундаментной плиты – уровень III.
- Уровень «минус» первого этажа (если имеется) – уровень IV.
- Уровень первого этажа – уровень V.
- Уровень этажа, находящегося в центре здания по вертикали – уровень VI.

Организация сети уровней I – VI позволяет получить количество информации, в целом характеризующее состояние здания во всех основных составных частях сооружения по вертикали: подземная часть (уровни I – III)– зона стыка подземной и надземной частей (уровни IV – V)– надземная часть (уровень VI). основополагающим принципом в

решении этой задачи является соблюдение следующего условия (Рис. 2): измерительный узел, определенный на уровне I, занимает место проекции соответствующего измерительного узла на уровне II, уровне III, уровне IV, уровне V и уровне VI. Таким образом, все измерительные узлы, размещенные на каждом из уровней, имеют одни и те же координаты в плоскости (x-y). Организованные таким образом вертикальные «кусты» датчиков позволят регистрировать данные об изменении параметров на разных уровнях, но находящихся на одной вертикали. Поэтому есть возможность анализировать корреляцию параметров по мере изменения высоты расположения контрольных уровней.

## ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

**Объект мониторинга:** Офисный блок многофункционального высотного комплекса «МонАрх-Центр» (Рис.3)

**Адрес:** г. Москва, Ленинградский проспект, вл. 31, стр.2,3

**Период мониторинга:** с 20 сентября 2006

**Цели мониторинга:**

- Мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкции
- Корреляция осадок и распределения контактных напряжений
- Контроль деформаций в пилонах на 4-х этажах здания
- Анализ моментов в пилонах
- Контроль параметров во время строительства и в период эксплуатации

**Количество измерительных узлов:** 130

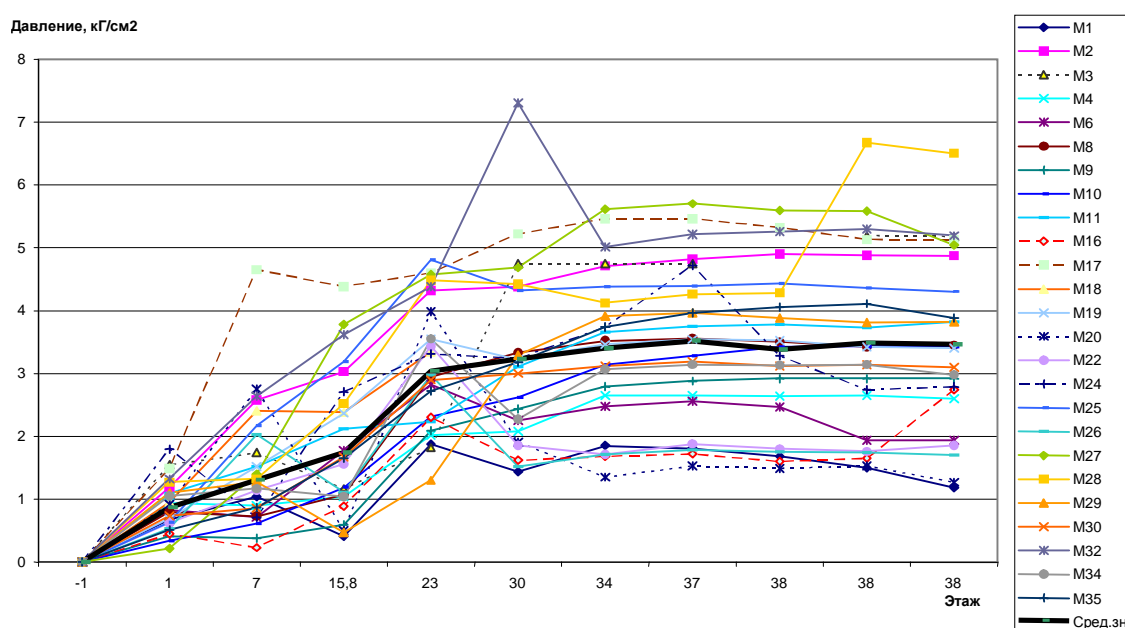


Рис.3. Офисный блок многофункционального высотного комплекса «МонАрх-Центр». Данные мониторинга: Контактные напряжения в грунте при строительстве

**Объект мониторинга:** Многофункциональный высотный комплекс SIEMENS-АФК "Система" (Рис. 4, 5)

**Адрес:** г. Москва, Ленинградский проспект, вл. 39

**Период мониторинга:** с 15 июля 2007

**Цели мониторинга:**

- Мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкции
- Контроль контактных напряжений
- Анализ моментов в пилонах

**Количество измерительных узлов:** 162

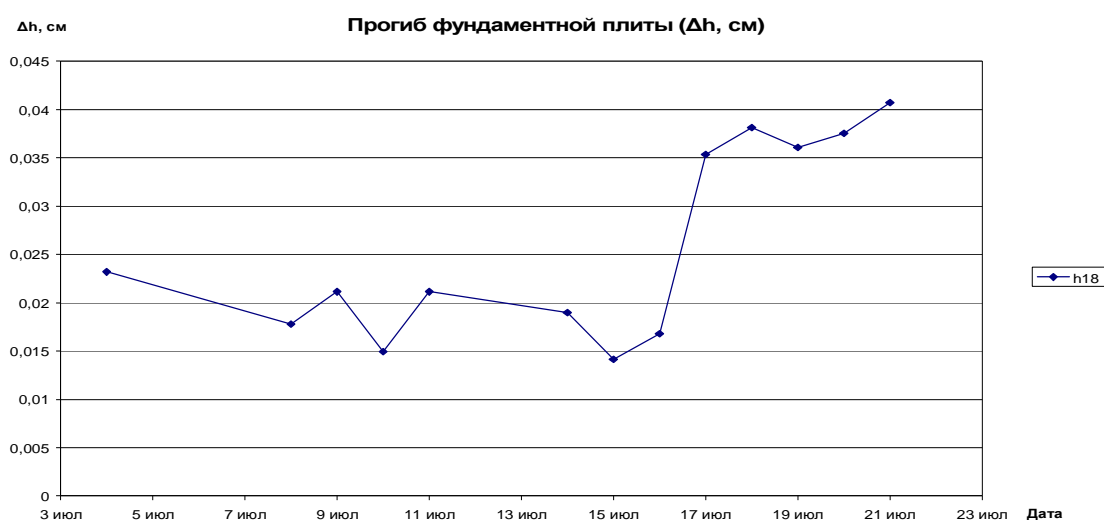


Рис.4. Многофункциональный высотный комплекс SIEMENS-АФК "Система". Данные мониторинга: прогиб фундаментной плиты.

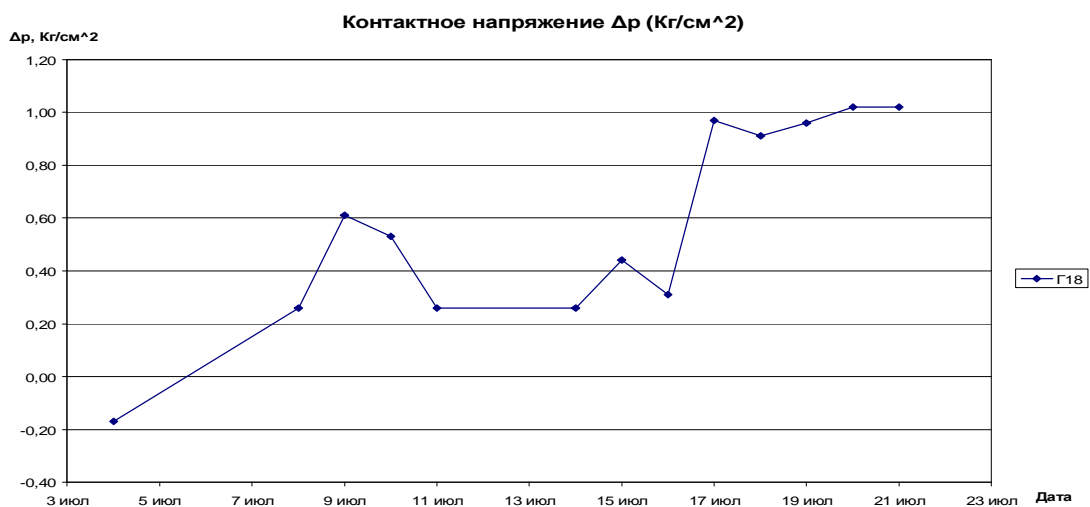


Рис.5.. Многофункциональный высотный комплекс SIEMENS-АФК "Система". Данные мониторинга: контактные напряжения.



**Объект мониторинга:** Ледовый Дворец «Уральская молния» (Рис. 6)

**Адрес:** г. Челябинск, Центральный район, ул. Труда, 187-а

**Период мониторинга:** с 30 сентября 2008

**Цели мониторинга:**

- Контроль деформаций 15 арочных ферм конструкции крыши

**Количество измерительных узлов:** 34

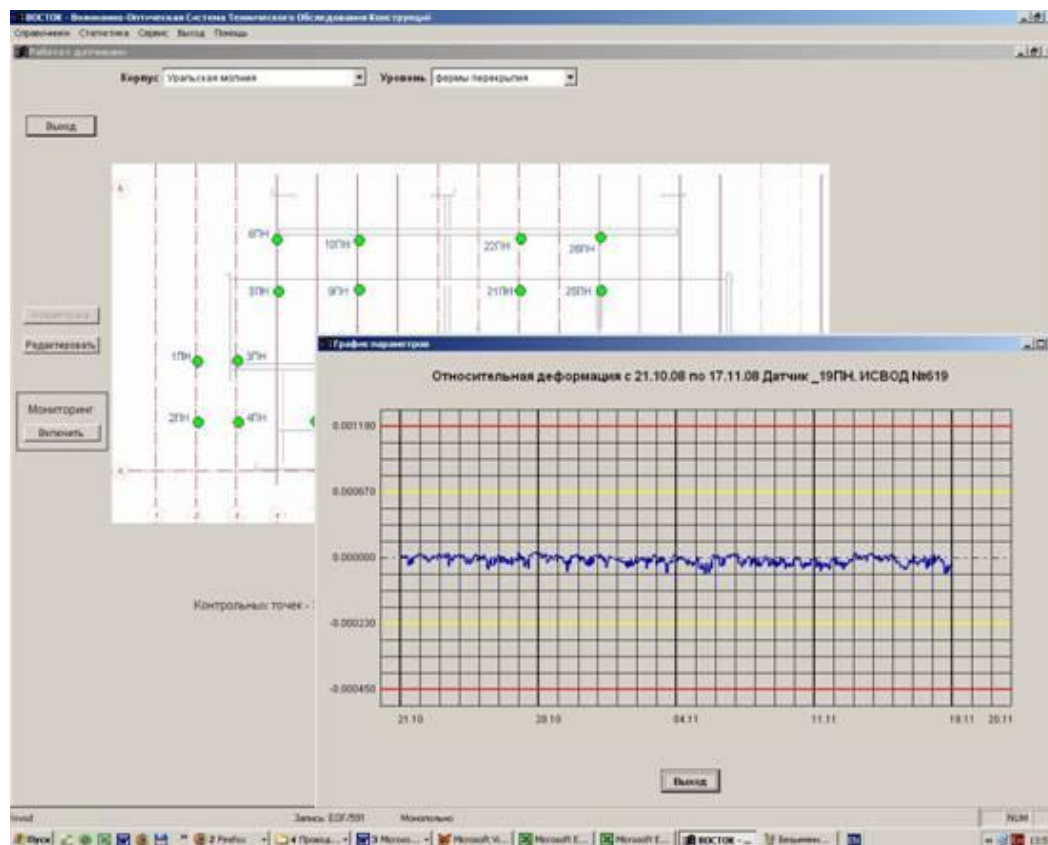


Рис.6 Экран Диспетчерского пункта регистрации Системы мониторинга ЗАО «Мониторинг-Центр» на Ледовом дворце «Уральская молния».

**Объект мониторинга:** Строительство Балтийского тоннеля как часть работ первого этапа первого пускового комплекса транспортной развязки Ленинградского и Волоколамского шоссе

**Адрес:** г. Москва, в районе станции метро «Сокол»

**Период мониторинга:** с 12 сентября 2008

**Цели мониторинга:**

- Мониторинг давления в грунтовом массиве в области непосредственной близости проведения работ
- Контроль деформаций конструкций крепи при проходке выработок

**Количество измерительных узлов:** 35

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА В БЕЛАРУСИ

Развитие высотного домостроения в Беларуси переживает сегодня начальную стадию: разработаны первые нормативы, разрабатываются планы и проекты первых высотных зданий. В частности, проектируются две административно-торговые высотки — примерно в 40 и 45 этажей — на улице Максима Танка в районе Юбилейной площади. Уникальным высотным комплексом станет административно-деловой и общественный центр Минск-Сити, который расположится на месте нынешнего аэропорта “Минск-1” и авиаремонтного завода. Там может появиться здание в 60—70 этажей.

Кроме гостиниц, намечено строительство высотных административно-торговых объектов. Например, такое здание появится на месте бывшего кафе “Реченька” на пр.Победителей. Есть также интересный инвестиционный проект по сносу находящегося рядом общежития БГУ со строительством на этом месте крупного торгово-административного центра.

В свете обозначенных уникальных проектов значение и опыт мировых и, в частности, российских систем строительного мониторинга приобретает важное значение.

При этом следует отметить, что смысл мониторинга конструкции в постоянном режиме не ограничивается исключительно задачей оповещения служб эксплуатации о надвигающейся чрезвычайно ситуации, когда накопление неблагоприятных деформаций происходит постоянно с нарастающим итогом. Безусловно, сигнал тревоги, предупреждающий об аварии – самая главная задача. Но есть еще ряд важных аспектов необходимости системы мониторинга. Проектировщикам важно знать, как ведет себя конструкция летом и зимой, как она «дышит», например, даже в суточном цикле. Кроме того, каждое строительное сооружение имеет график плановых обследований и ремонтов. Система мониторинга, ежечасно фиксируя состояние конструкции, позволит заранее принять решение о внеплановом ремонте (если присутствуют факты «износа» контрольных элементов, по данным мониторинга) или – напротив, провести ограниченный ремонтный цикл (в случае удовлетворительных данных мониторинга). Наконец, ведение журнала регулярных регистраций состояния контролируемой конструкции – это фактически составление «Паспорта здоровья» конкретного сооружения, который будет единственным достоверным документом, свидетельствующем о реальной надежности и степени амортизации сооружения спустя 50, 70, 100 лет. Стало быть, система мониторинга – это инструмент безопасности, надежности и разумного экономического подхода в современном строительстве.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Неугодников А. П., «Опыт реализации системы мониторинга напряженно-деформированного состояния высотных зданий: разработка, проектирование, монтаж, сопровождение», XVIII Международная специализированная выставка «Форум Уралстройиндустрия-2008», Материалы семинара "Проблемы высотного строительства в республике Башкортостан", 2008
2. Неугодников А.П., Шахраманьян А.М., Давыдов А.А., «Технологии строительства систем мониторинга высотных зданий», Технологии строительства, № 1, 2008
3. Неугодников А. П., «Передовые технологии безопасности: строительный мониторинг в Сочи», Югспецтехника, № 1, 2008
4. Егоров Ф. А., Неугодников А. П., Поспелов В. И. «Контроль и диагностика параметров строительных сооружений с помощью волоконно-оптических систем мониторинга», Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика., № 6, 2006.