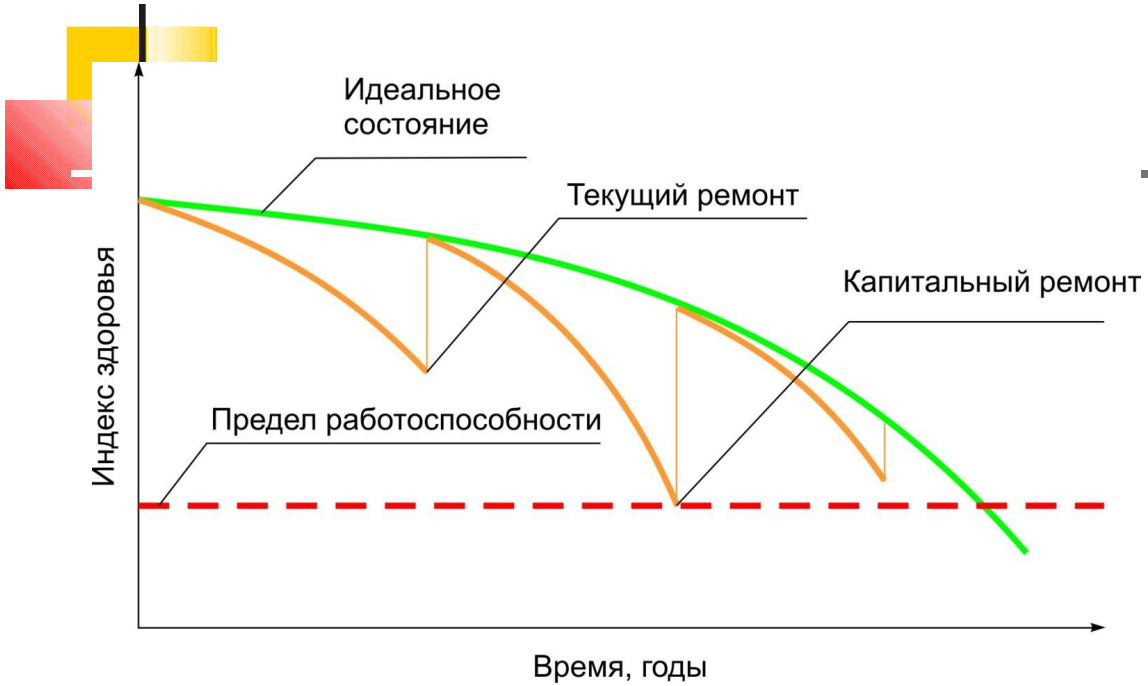
ООО «НПП Геотек»

Интеллектуальные системы мониторинга

Болдырев Г.Г., Живаев А.А.

2011

Назначение систем мониторинга

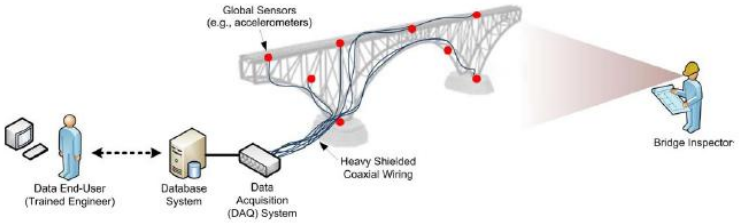


Целесообразность применения:

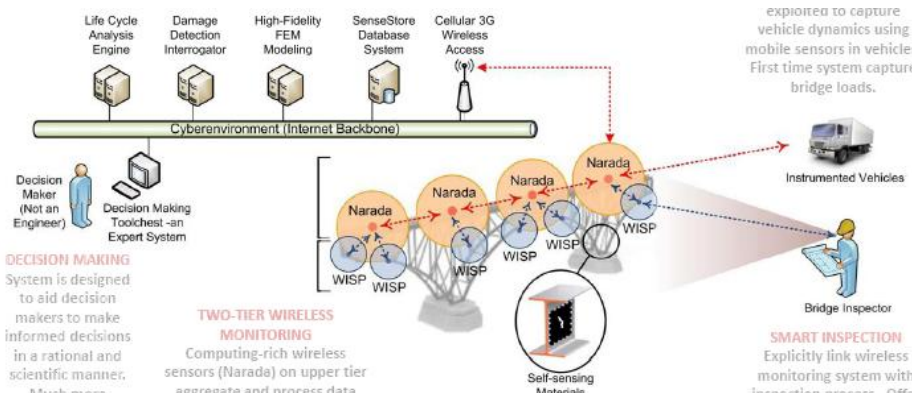
- обеспечение безопасности и повышение надежности эксплуатируемых объектов;
- продление сроков эксплуатации;
- определение сроков обслуживания и ремонта;
- снижение затрат на ремонт и обслуживание

Технологические платформы

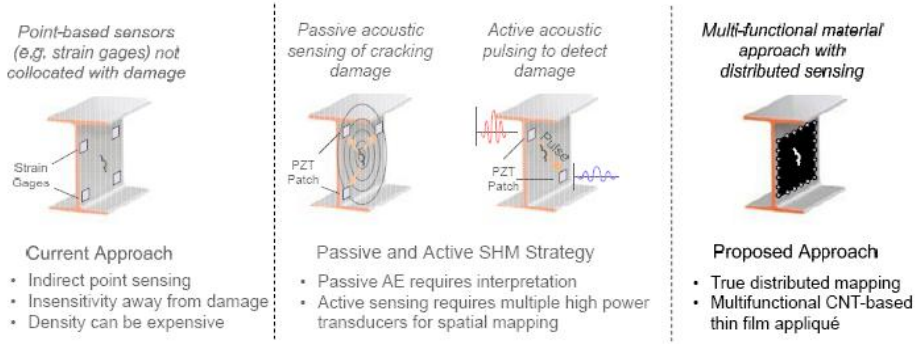
Первый уровень



Второй уровень



Третий уровень



Методы глобального и локального мониторинга

Global Techniques

Features

- Acceleration, Deflection, Freq, Modes
- Accelerometer / OFS / GPS, etc
- Low frequency response
- Global vibration-based monitoring

Advantage/Disadvantage

- Applicable to ***Global Damage Behavior***
- ***Less Accurate*** to Local Damage

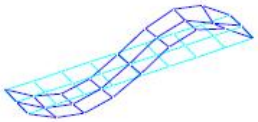
Local/NDE Techniques

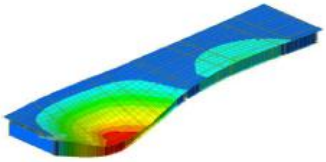
Features

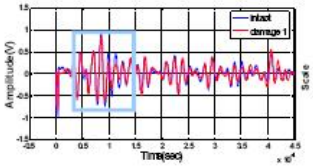
- Strain, **E/M Impedance**, Guided waves
- **Piezoelectric** / OFS / Laser interferometer
- High frequency response
- Local vibration-based monitoring

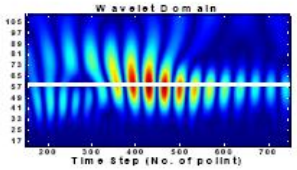
Advantage/Disadvantage

- Applicable to ***Local Critical Members***
- ***Limited Sensing Ranges***



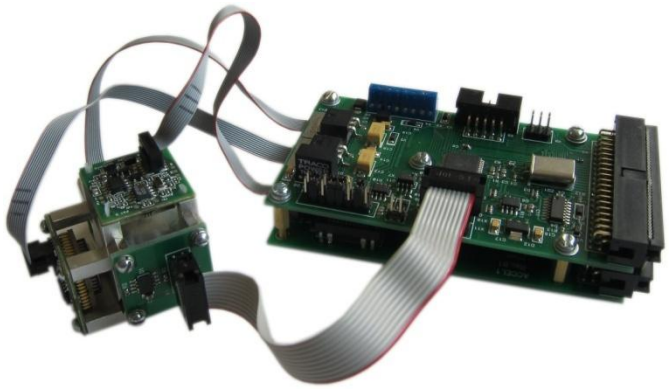




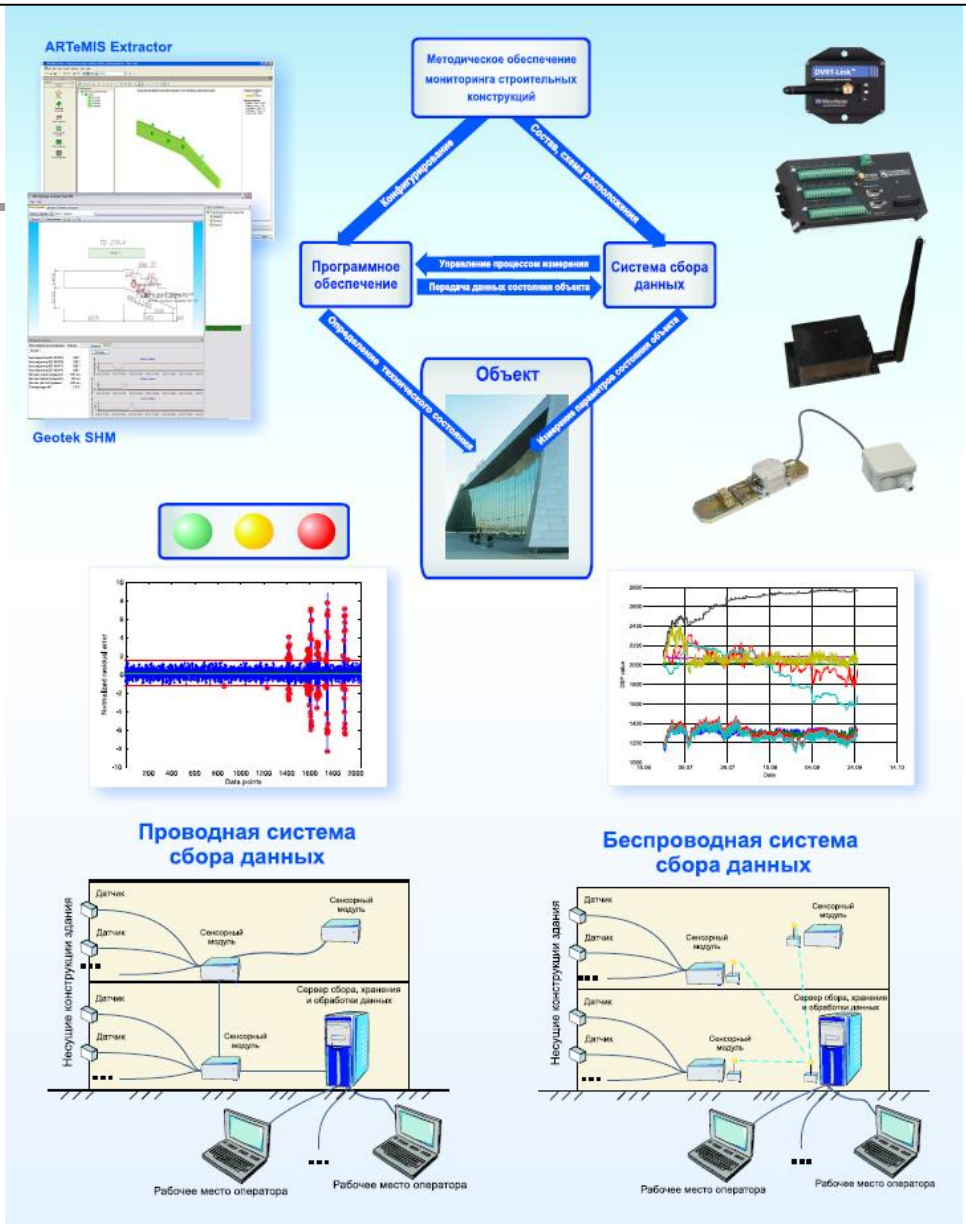


Глобальный мониторинг

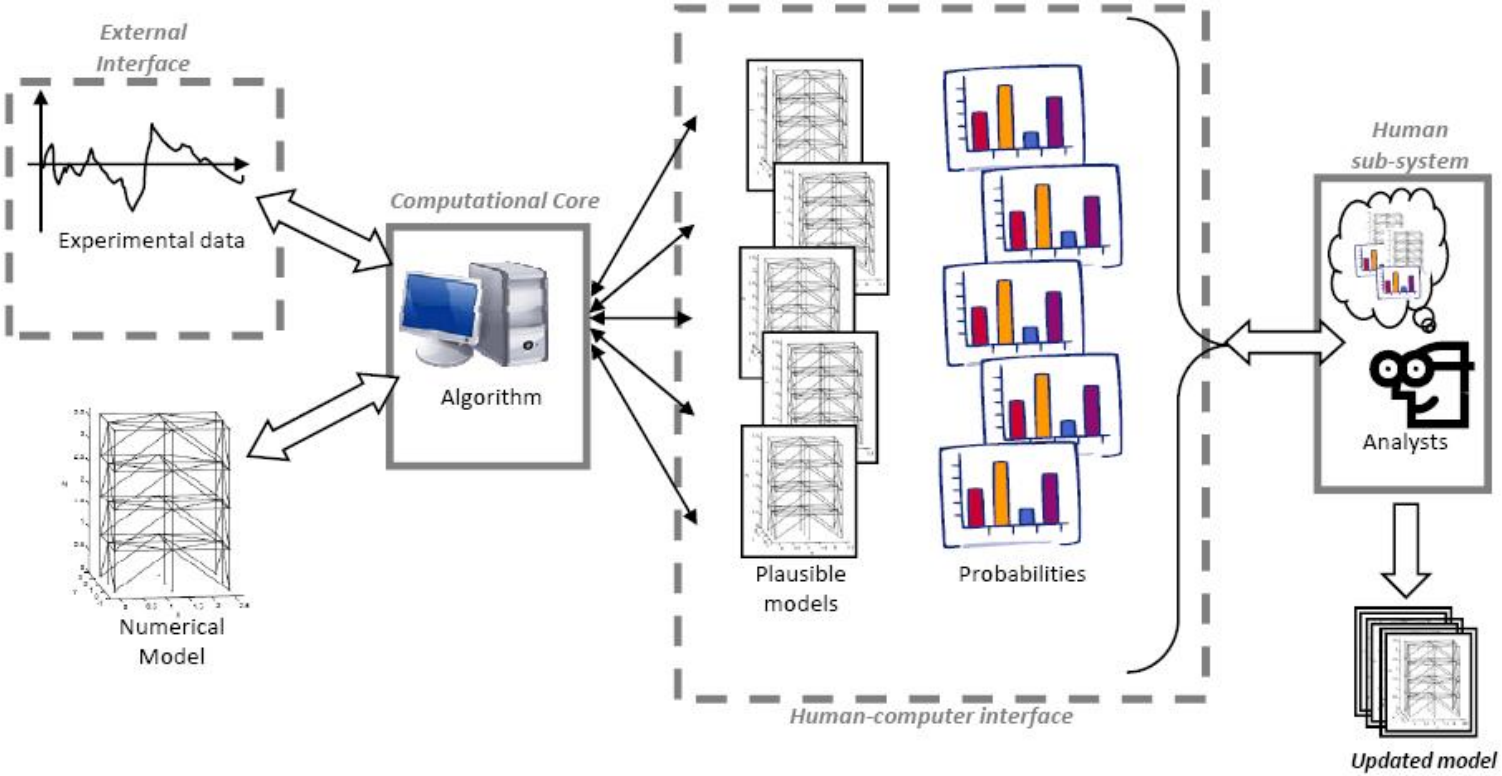
Проводные и беспроводные системы мониторинга



Трехкоординатный модуль измерения ускорения колебаний



Структурная схема мониторинга



Способ определения НДС

Здание или сооружение

Расчет напряженно-деформированного состояния конструкции методом конечных элементов в ANSYS

Определение собственных частот и форм колебаний

Выбор мест установки датчиков и шейкеров

Система мониторинга

Измерение пространственных колебаний конструкции

Определение собственных частот и форм колебаний (программа ARTeMIS)

Идентификация модели

Определение MAC-критерия

Оценка изменения НДС (программа Geotek SHM)

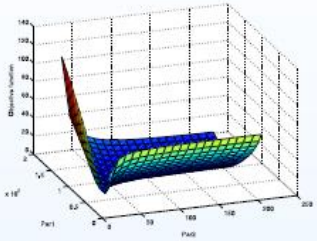


График целевой функции идентификации модели

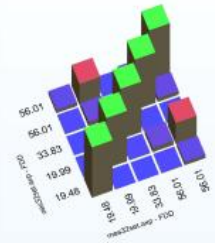


График сравнения MAC

Modal Assurance Criterion

$$MAC(\{\phi_a\}\{\phi_e\}) = \frac{(\{\phi_a\}^T\{\phi_e\}^*)^2}{(\{\phi_a\}^T\{\phi_a\}^*)(\{\phi_e\}^T\{\phi_e\}^*)}$$

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2392403

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ИЛИ СООРУЖЕНИЯ

Патентообладатель(ли): *Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственное предприятие "Геотек" (ООО "НПП "Геотек") (RU)*

Автор(ы): *Болдырев Геннадий Григорьевич (RU)*

Заявка № 2009110921

Приоритет изобретения 25 марта 2009 г.

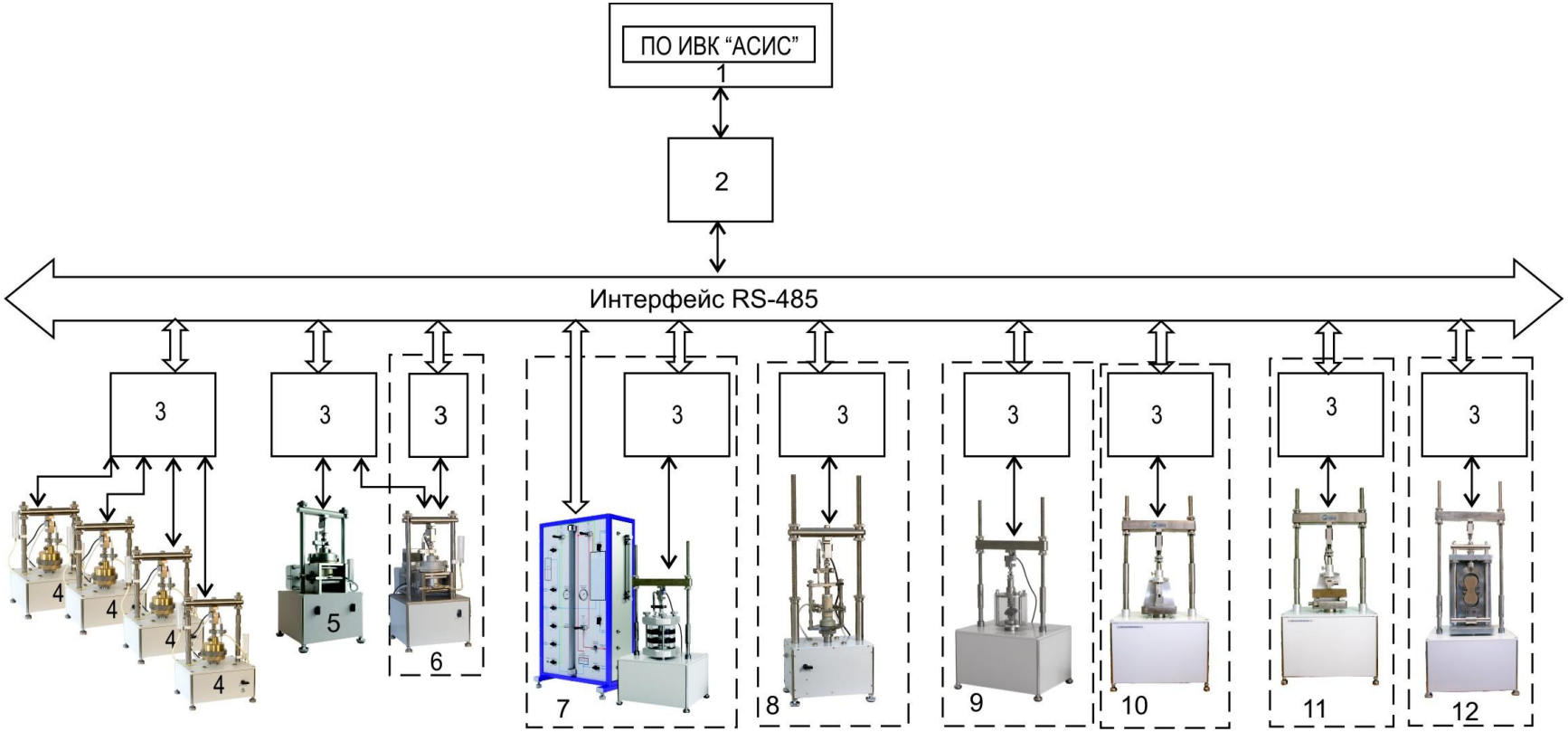
Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации *20 июня 2010 г.*

Срок действия патента истекает 25 марта 2029 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

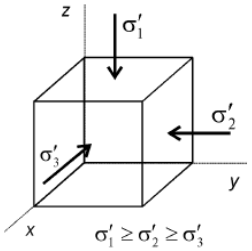
Структурная схема ИВК-АСИС



Приборы для испытания материалов

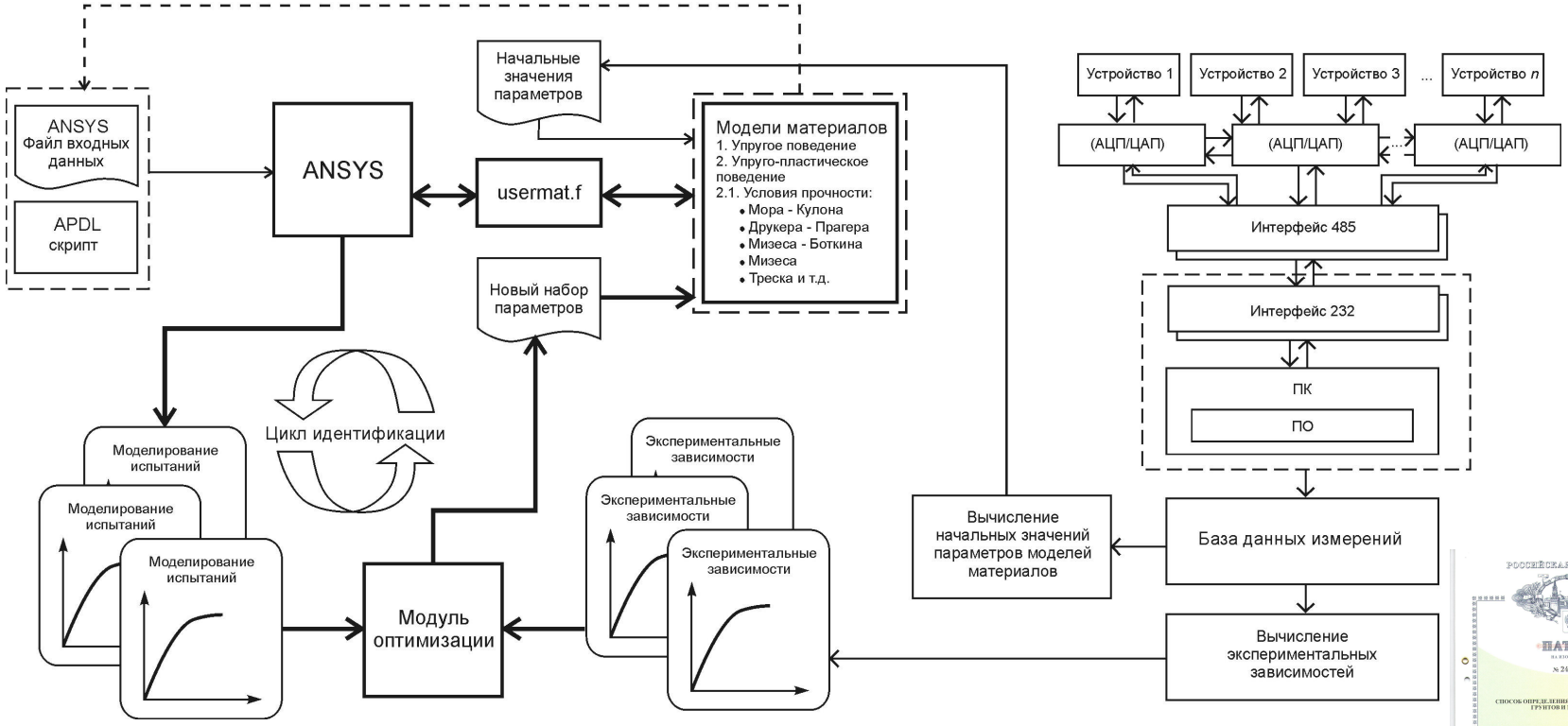
Испытания в условиях осесимметричной деформации

Испытания в условиях пространственной деформации

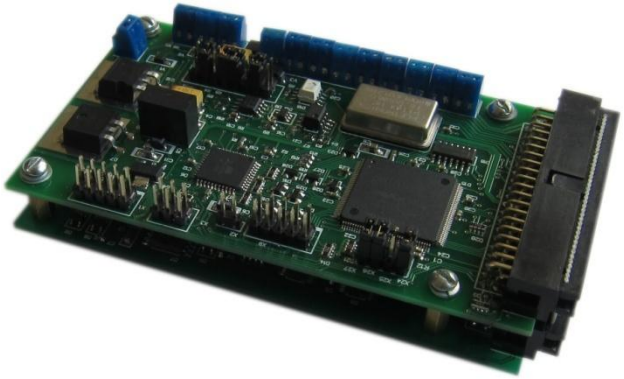


Определение параметров моделей материалов

ИВК “АСИС”



Локальный мониторинг



Модуль измерения деформаций

Модуль измерения угла наклона

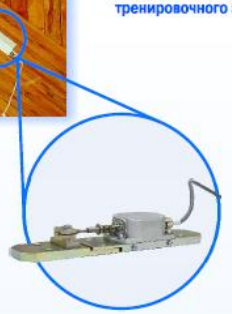
Предприятие «ООО «НПП Геотек» разработало и внедрило проект системы мониторинга напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций многофункционального спортивного комплекса «Буртасы», г. Пенза. Общие габариты здания 192 x 90 x 22,5 м. Система мониторинга позволяет оценивать текущее напряженно-деформированное состояние несущих конструкций покрытия из металлодеревянных арок пролетом 48 м (первая очередь) и 36 м (вторая очередь), а также несущих железобетонных колонн под арки.

Здание спортивного комплекса

Строительство первой очереди спортивного комплекса

Интерьер тренировочного зала

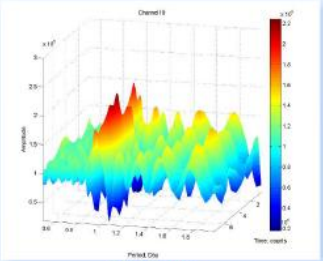
Датчики деформации ГТ 5.4.1 на деревянной арке покрытия спортивного сооружения



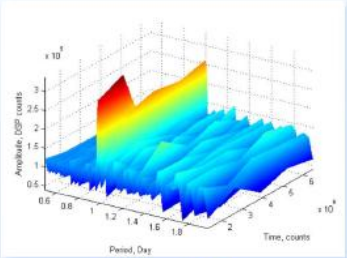
Монтаж датчиков деформации на стальные тяжи

Блок электроники

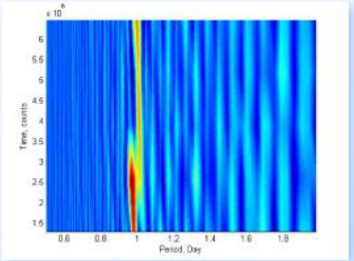
Спектрограммы показаний датчиков



Деформации



Температуры (вид 1)



Температуры (вид 2)

Система статического и динамического мониторинга ледовой арены

Профессор д.т.н. Болдырев Г.Г., инженер Живаев А.А.
Россия, ООО «НПП «Геотек»

Введение

Система включает две независимые подсистемы для оценки статического и динамического поведения конструкций. Система измеряет деформации элементов ферм покрытия, углы отклонения колонн и частоты собственных колебаний трибун.

Цель и задачи

Представляемая система мониторинга производит статические и динамические измерения. На объекте выполняются статические измерения деформаций (напряжений) элементов ферм покрытия. Датчики деформации установлены в местах наибольшей концентрации напряжений, вычисленные при помощи ANSYS. Прогиб центральной части пролета определяется по углам наклона узлов фермы. Динамические измерения включают собственные частоты колебаний, формы колебаний, соответствующие коэффициенты демпфирования. Вычисление динамических параметров производится программой ARTeMIS Extractor.

Оборудование

Система статических измерений включает следующие компоненты:
- ПК с установленной программой Geotek-SHM, работающей под управлением ОС Windows;
- блоки питания;
- блоки электроники для обработки сигналов датчиков;
- датчики деформации (элемент Холла SS49E);
- инклинометры (MEMS ADXL103);
- датчики температуры (AD22103);
- кабельные линии.

Динамическая система включает:
- ПК с установленной программой GAZ4KAN, работающей под управлением ОС Windows;
- коммутационный котроллер, соединенный с ПК и измерительными модулями;
- измерительные модули;
- однокомпонентные пьезокерамические акселерометры A16 с частотным диапазоном 0,1-100 Гц.

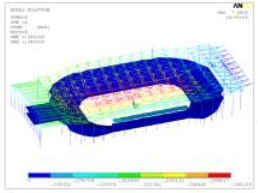
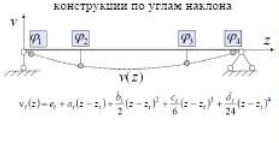


Схема для определения прогиба конструкции по углам наклона



$$v_i(z) = a_i + a_1(z - z_i) + \frac{b_i}{2}(z - z_i)^2 + \frac{c_i}{6}(z - z_i)^3 + \frac{d_i}{24}(z - z_i)^4$$

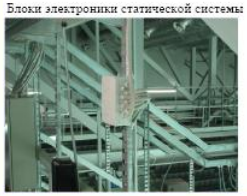
Теоритические вертикальные перемещения [м]

Датчик деформации

Инклинометр

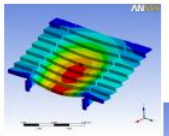
Диспетчерская

Блоки электроники статической системы

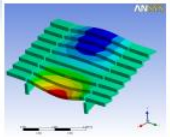


Блок электроники динамической системы

Акселерометр



1ая форма колебаний FEM



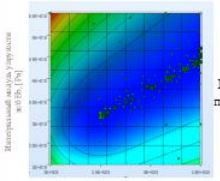
2ая форма колебаний FEM

Формы колебаний фрагмента трибуны FEM в ANSYS

1ая форма колебаний из эксперимента

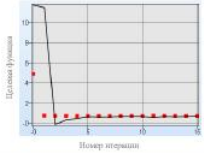
2ая форма колебаний из эксперимента

Формы колебаний из эксперимента (ARTeMIS Extractor)

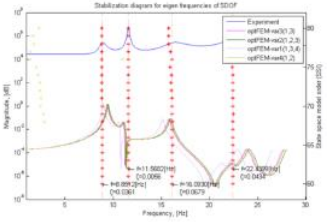


Целевая функция для процесса оптимизации

$$\Sigma\left(f_{i,meas} - f_{i,sim}(Eb, ro)\right)^2$$



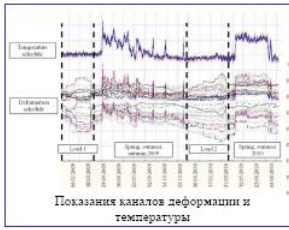
Минимумы целевой функции



Сравнение спектров эксперимента и калиброванной FEM модели

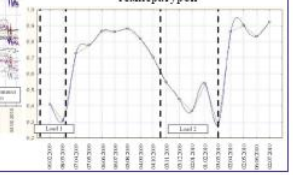
Результаты

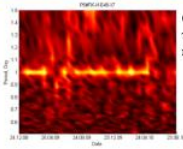
Дневные температурные изменения зафиксированы в показаниях каналов измерения деформации, наклона и температуры. Следовательно, оценка адекватности показаний измерительных каналов может быть произведена путем анализа отклика канала - если канал исправен, то он реагирует на дневные изменения температуры.
В период весна-лето-осень датчики повторяют температуные изменения. В зимний период корреляция между показаниями измерительных каналов деформации и температуры снижается, что говорит о наличии внешнего фактора - снеговой нагрузки.
Первая собственная частота фрагментов трибун составляет 8-9Гц.



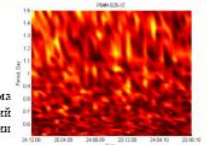
Показания каналов деформации и температуры

Корреляция между деформацией и температурой





Спектрограмма типичных показаний канала деформации



Спектрограмма аномальных показаний канала деформации

Деформация

Типичные показания

Аномалии

Выводы

1. Опыт применения разработанной системы мониторинга показывает возможность применения аналогичных систем для оценки технического состояния конструкций.
2. Анализ данных позволил выявить зависимость показаний от температуры. Существенное влияние на изменения температуры оказывает система микроклимата здания.
3. В зимний период фермы покрытия подвержены воздействию внешнего фактора - снеговой нагрузки. Эта нагрузка не превышает допустимых значений. Измерения свидетельствуют о существенном влиянии снеговой нагрузки в сравнении с температурными явлениями.

Благодарность

Мы выражаем благодарность администрации спортивного комплекса Арена-Омск за поддержку данных исследований.

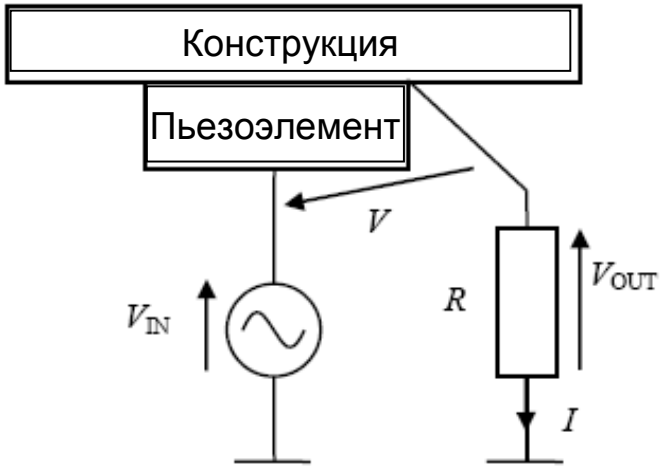
Список литературы

1. Theory Reference for ANSYS and Workbench. Canonsburg: ANSYS Inc, 2008. (www.ansys.com).
2. Artemis Extractor Pro. (www.svibs.com).

Контактная информация

ООО «НПП «Геотек», 440068, Пенза, ул. Центральная, 1, Россия,
http://www.npp-geotek.ru/
Профессор д.т.н. Болдырев Г.Г., g-boldyrev@geoteck.ru
Инженер Живаев А.А., zhivaev@geoteck.ru

Электро-механический импеданс



Пьезоэлементы

Параметр повреждений

$$DI1 = \sum_{i=1}^{n} \left| \left(\mathrm{Re}(Z_{0,i}) - \mathrm{Re}(Z_i)\right)\left(\mathrm{Re}(Z_{0,i})\right)^{-1} \right|$$

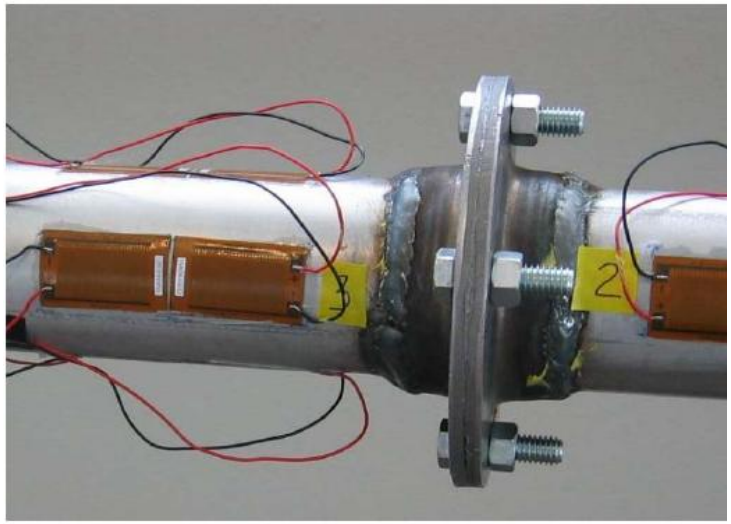
$$DI2 = \left(\sum_{i=1}^{n} \left(\left(\mathrm{Re}(Z_{0,i}) - \mathrm{Re}(Z_i)\right)\left(\mathrm{Re}(Z_{0,i})\right)^{-1} \right)^2 \right)^{1/2}$$

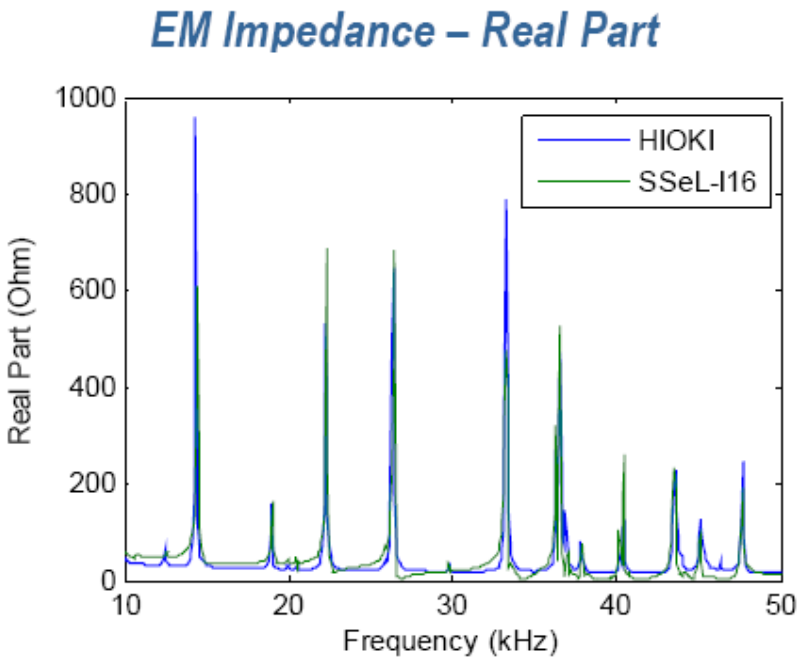
$$DI3 = \sum_{i=1}^{n} \left(\left| \left(\mathrm{Re}(Z_{0,i}) - \mathrm{Re}(Z_i)\right)\left(\mathrm{Re}(Z_{0,i})\right)^{-1} \right| \right)^{1/2}$$

Определение импеданса

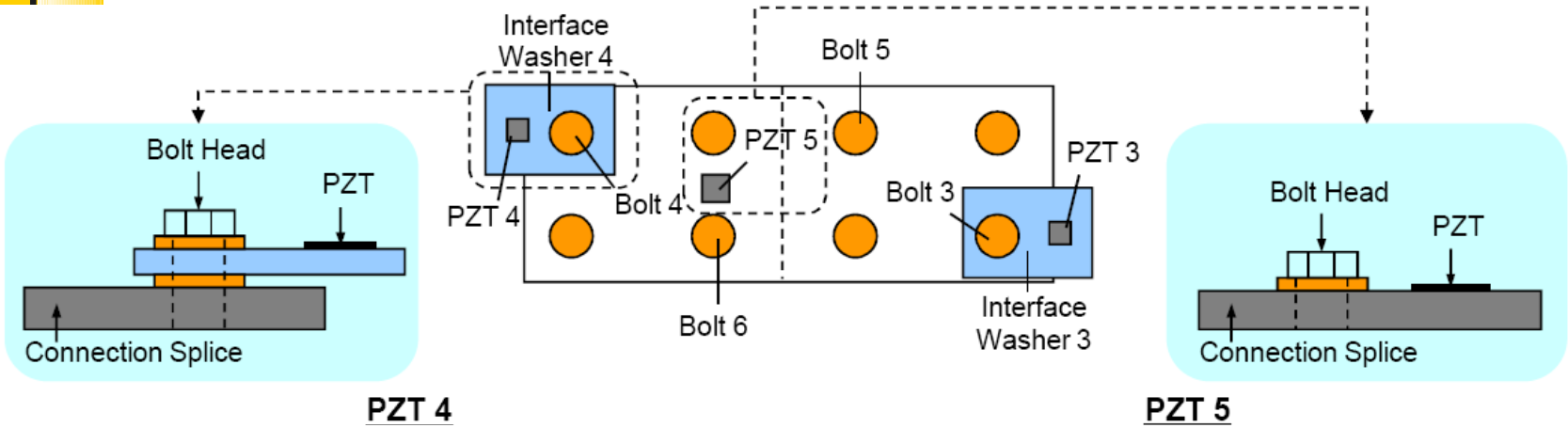
$$Z_E = R\left(\frac{V_{IN}}{V_{OUT}} - 1 \right)$$

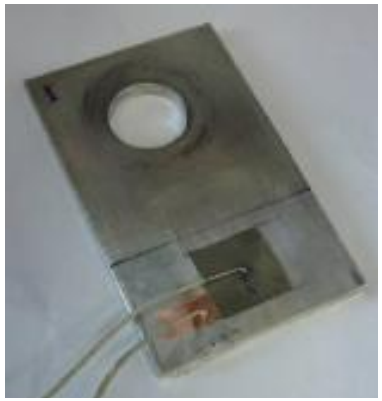
Контроль трубопроводов

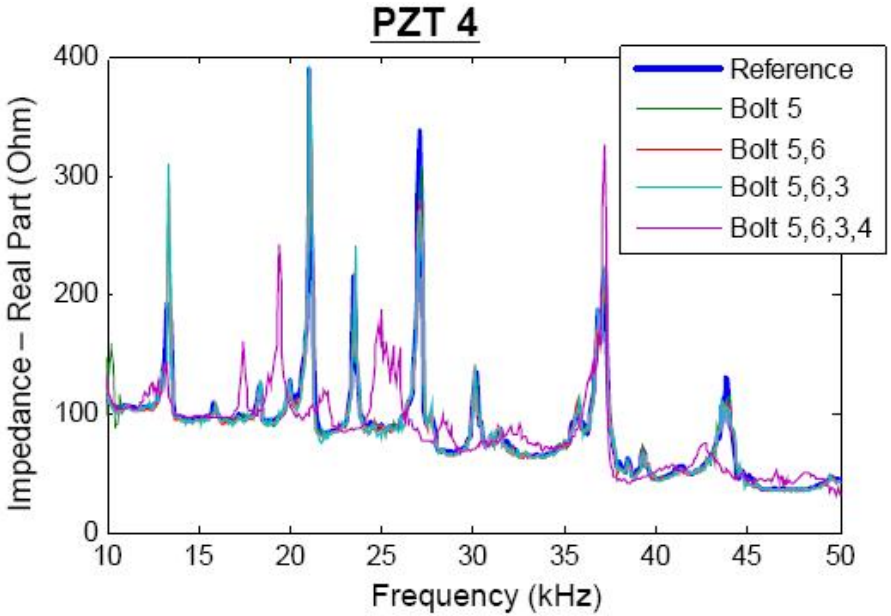




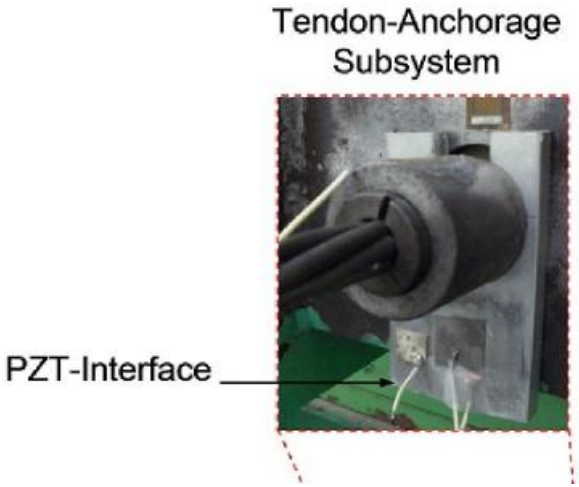
Контроль болтовых соединений

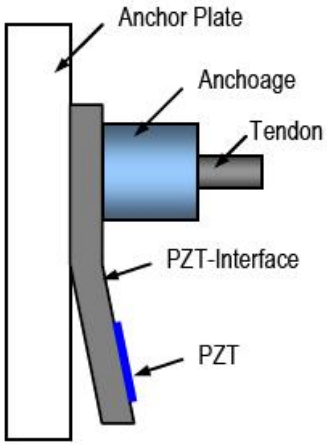


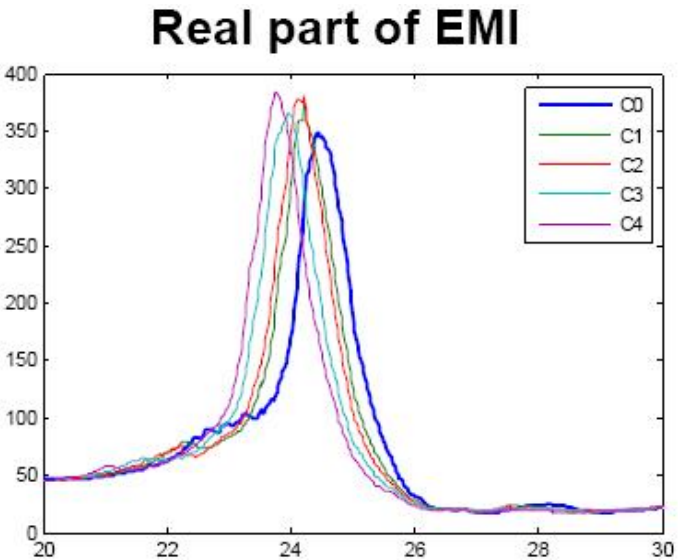




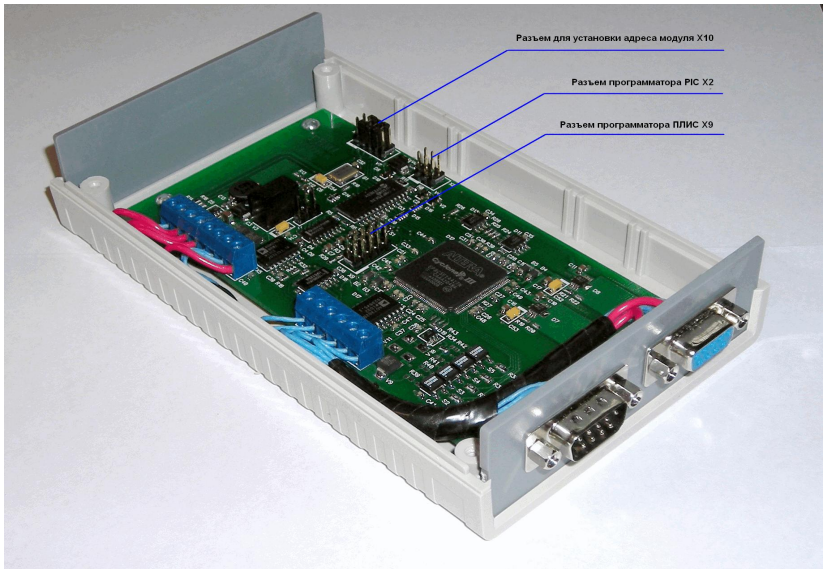
Контроль натяжения канатов

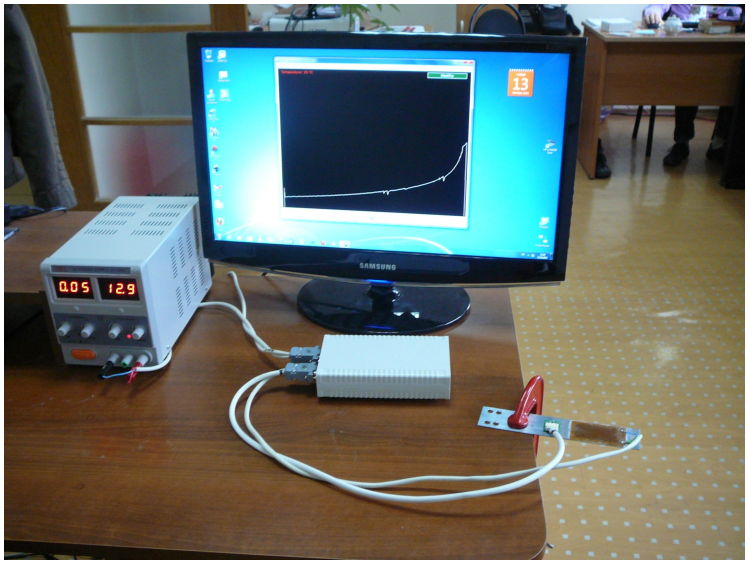






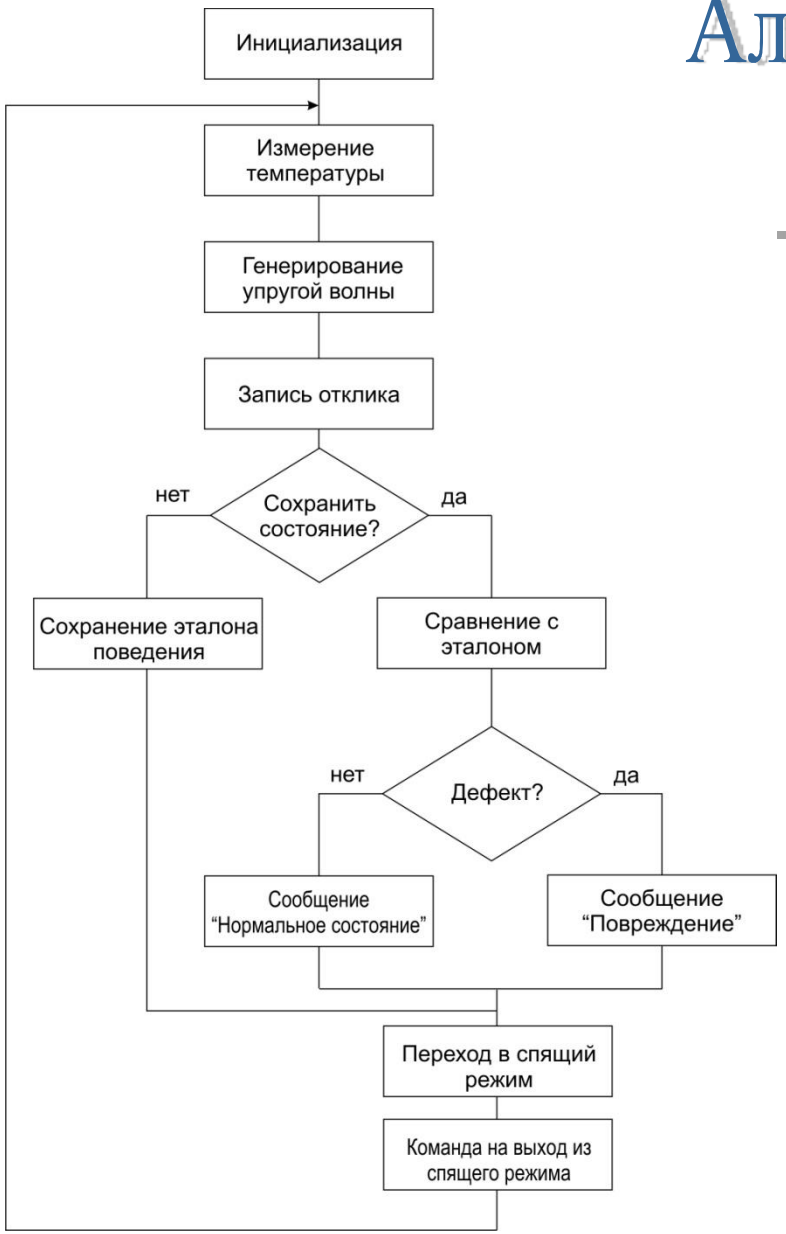
Модуль измерения импеданса

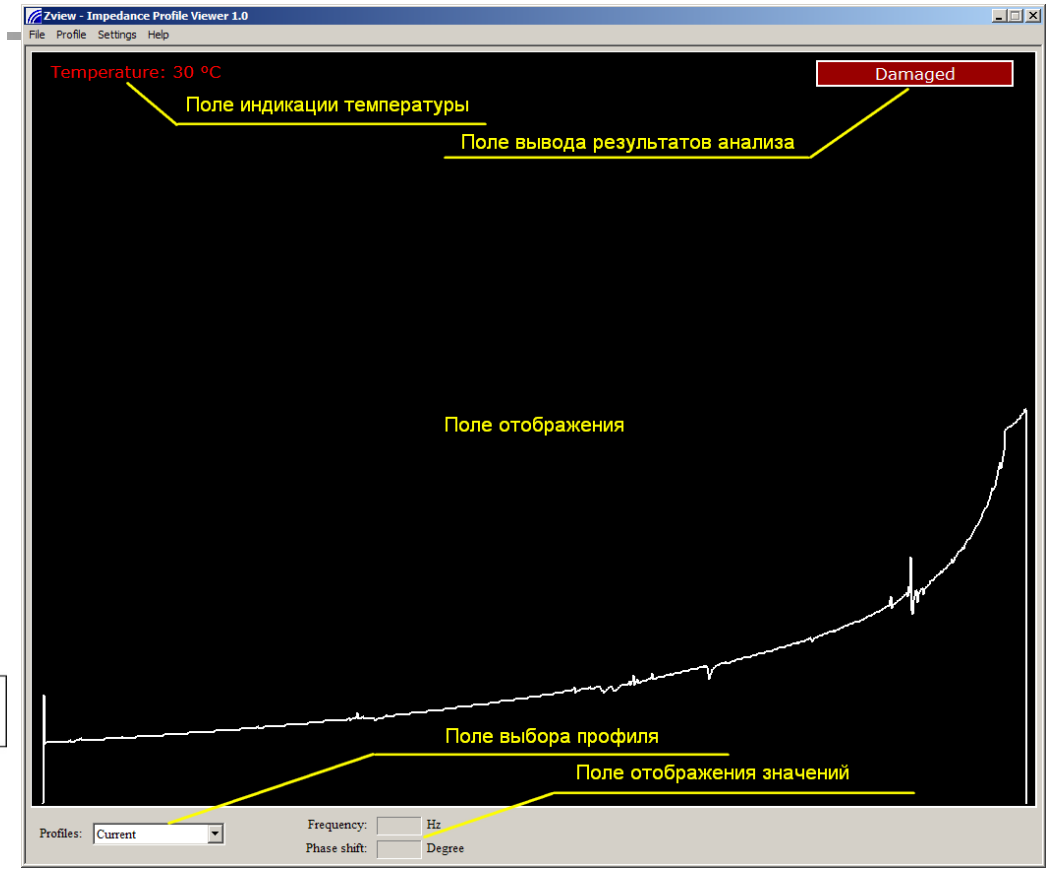




$$\mathrm{DM} = \frac{\sum_{f_i=f_1}^{f_h} \left|\phi_{base}(f_i) - \phi_{SUT}(f_i)\right|}{M(f_1, f_h)}$$

Алгоритм работы





Принцип работы модуля измерения сдвига фазы РНМ1

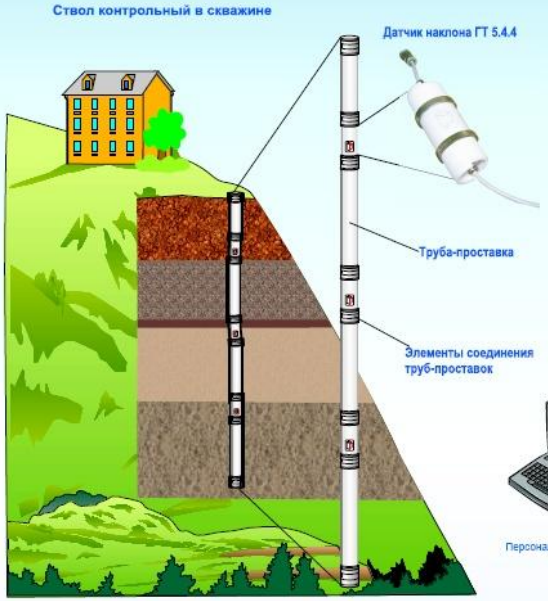
При снятии профиля фазы модуль производит формирование сигнала возбуждения пьезоэлектрического датчика. Данный сигнал имеет прямоугольную форму, его частота последовательно изменяется от высшей до низшей частоты диапазона сканирования. Интервал формирования возбуждающего сигнала определенной частоты имеет длительность 10 мс для устранения влияния переходных процессов при смене частоты на результат измерения сдвига фазы. Указанное измерение производится в конце интервала формирования частоты, после чего частота изменяется автоматически и производится новый цикл измерения.

В качестве значения сдвига фазы модуль измеряет значение временной задержки между передним фронтом сигнала возбуждения и передним фронтом сигнала, прошедшего через датчик. Далее это значение преобразуется в градусную меру в зависимости от периода возбуждающего колебания и выдается в качестве результата измерения.

После окончания расчета профиля разности модуль автоматически производит сравнение всех значений этого профиля с порогом и в случае превышения рассчитанным значением порогового формирует сигнал о возможном наличии дефектов в объекте измерения. Указанное пороговое значение в диапазоне от 0 до 360 градусов задается в модуль по команде и хранится в энергонезависимой памяти.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ

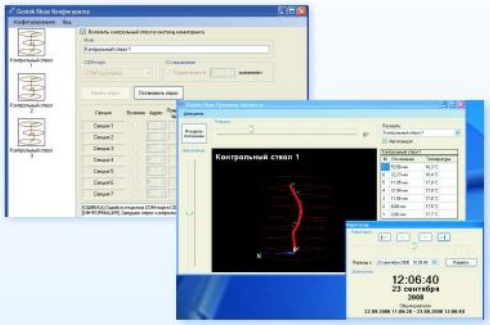
Назначение системы: контроль положения свободно стоящих и пригруженных склонов, мониторинг состояния тоннелей, опор мостов, плотин, насыпей, котлованов и т.д.



Состав инструментальных средств:

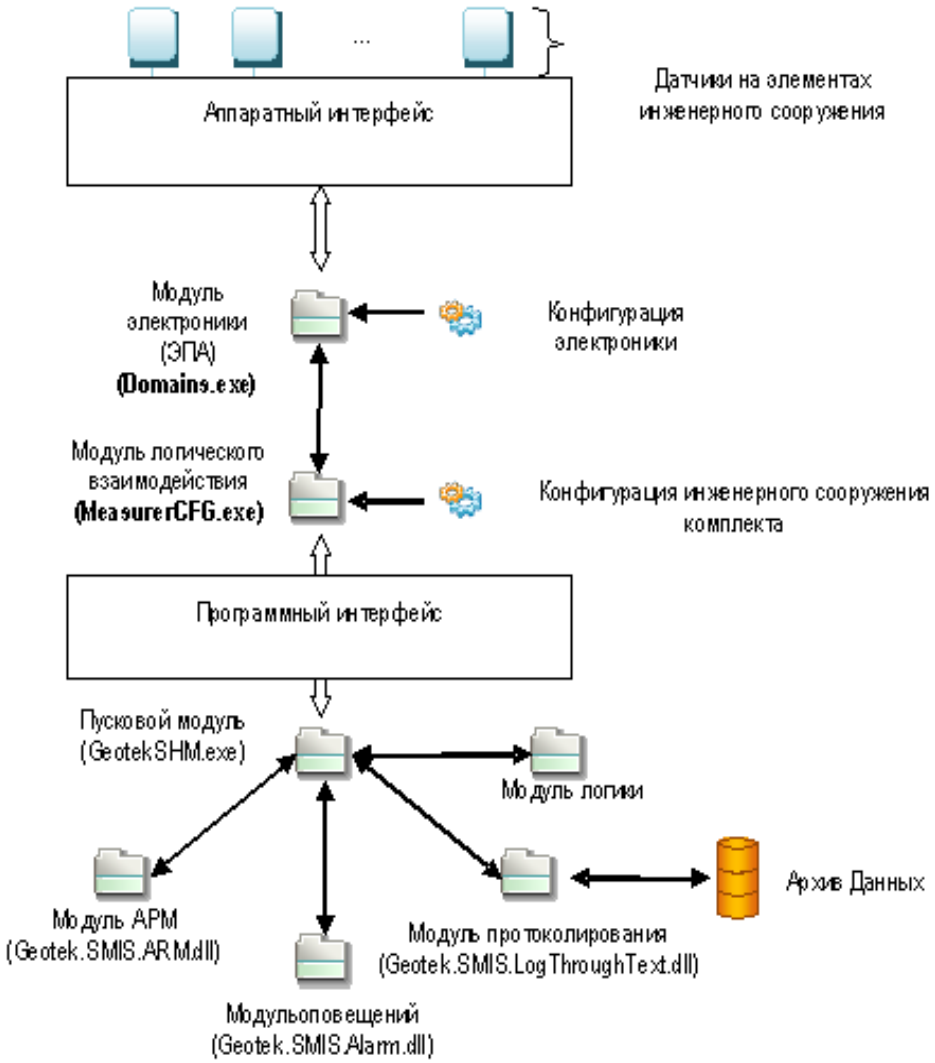
- персональный компьютер или ноутбук;
- устройство сопряжения ГТ 6.0.12, обеспечивающее подключение к компьютеру произвольного количества контрольных стволов;
- набор кабелей;
- контрольные стволы, включающие в себя:
  - датчики наклона ГТ 5.4.4, состоящие из ёмкостного двухкоординатного акселерометра, АЦП, микропроцессора, датчика температуры;
  - трубы-проставки, объединяющие датчики наклона в гирлянду («ствол»), погружаемую в скважину;
  - элементы соединения труб-проставок.
- программный пакет Geotek-Slope, обеспечивающий сбор, обработку, визуальную интерпретацию данных.

Мобильный комплекс на стенде в лаборатории

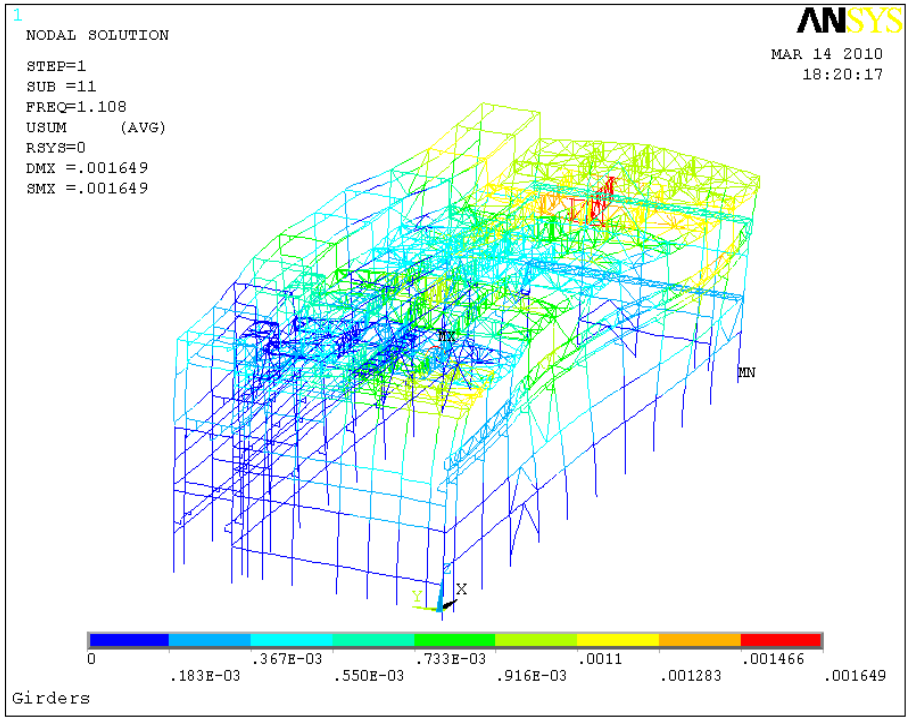


Geotek Slope Монитор. Фрагмент работы программы

Программный модуль Geotek SHM



Модальный анализ каркаса БАЭС



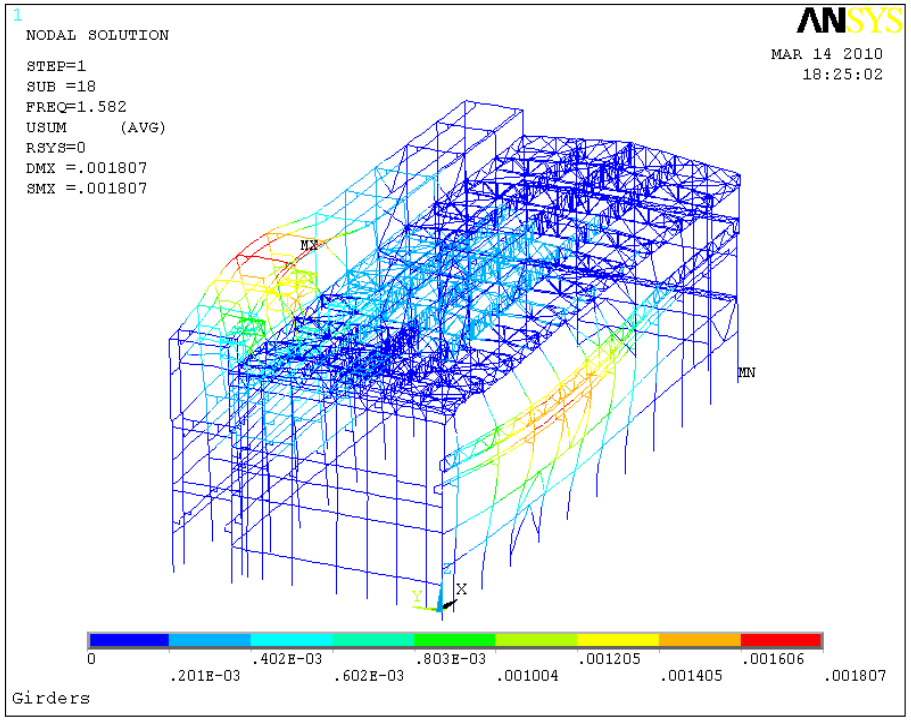
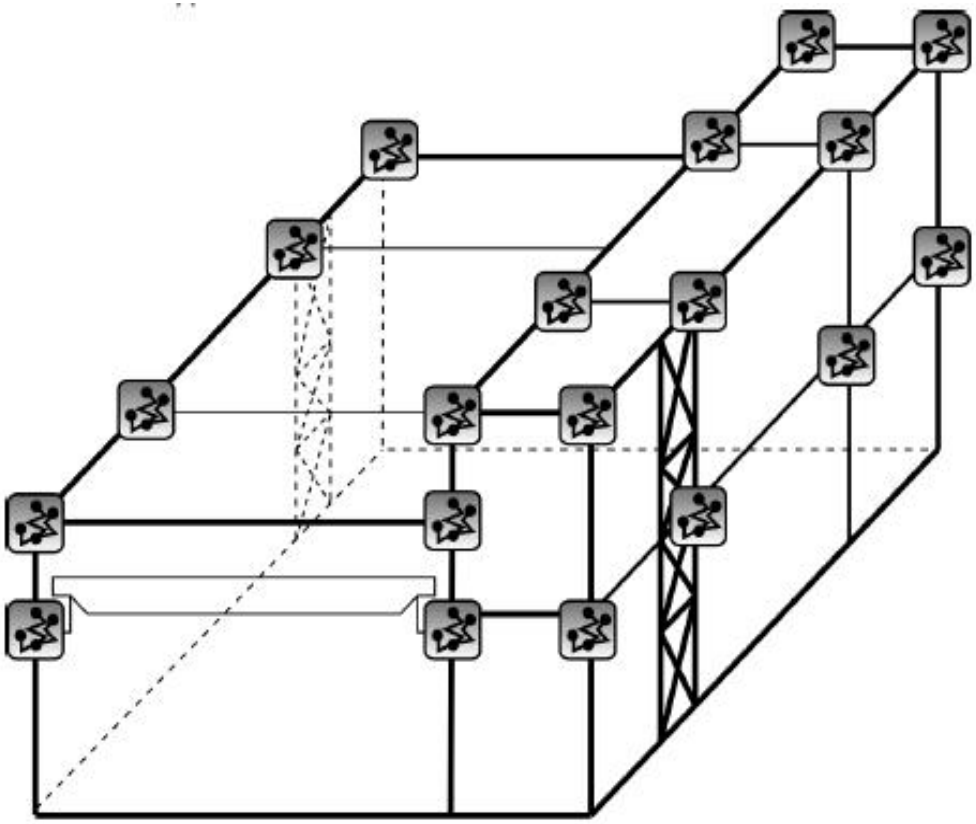


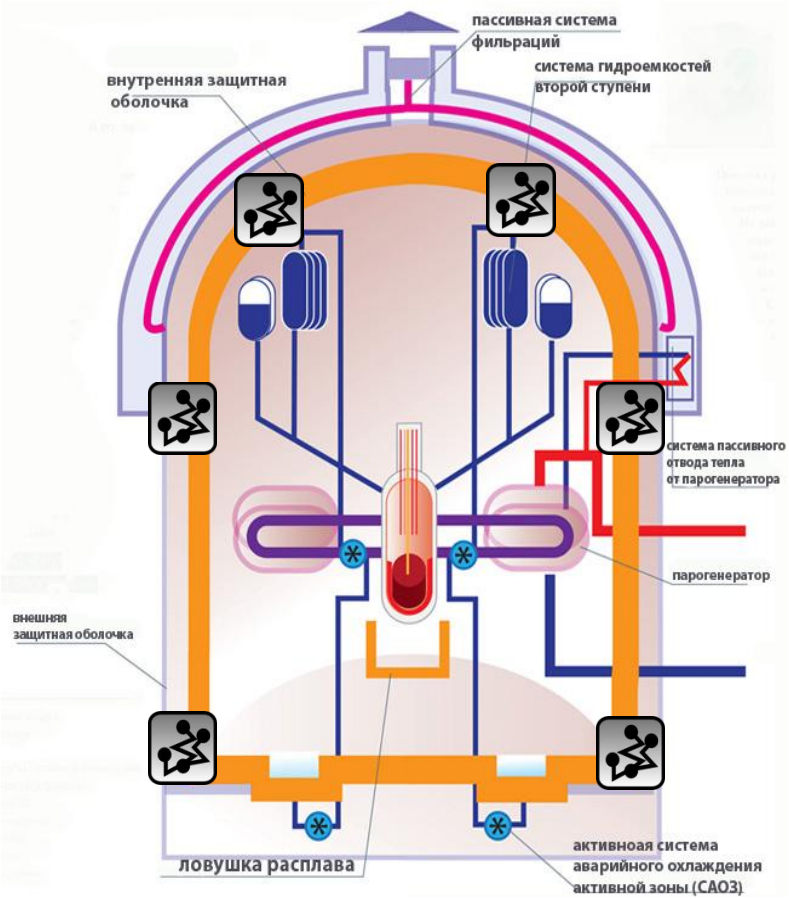
Схема размещения акселерометров МЗ БАЭС



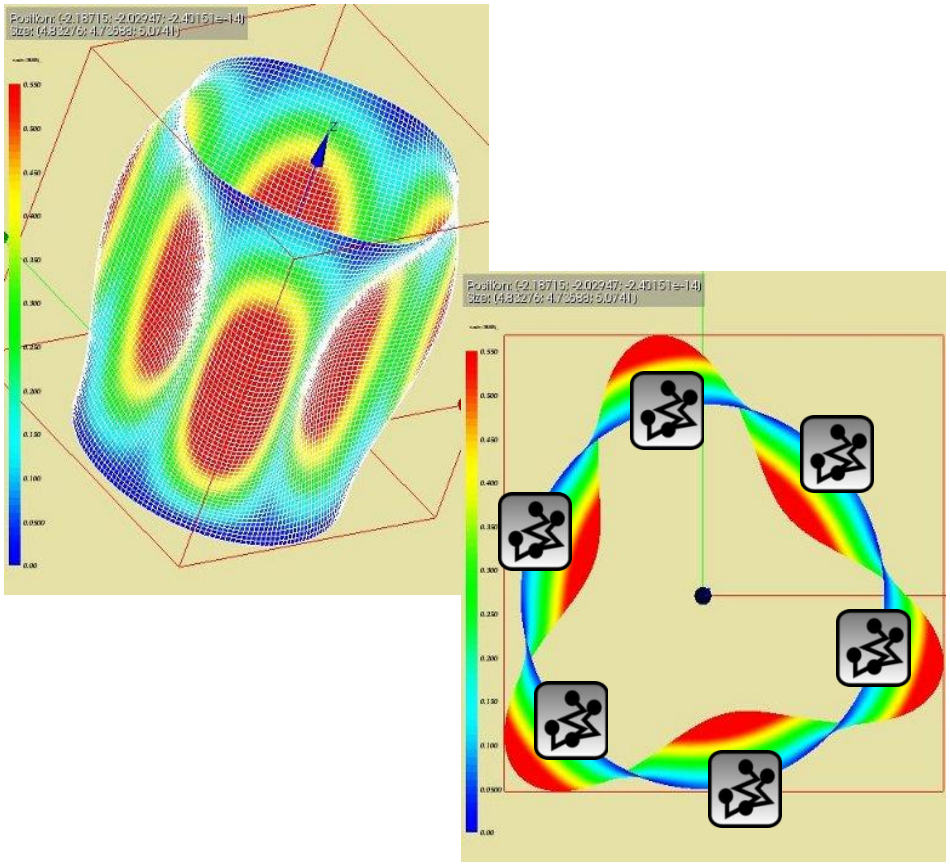
– акселерометр трехкомпонентный

Топология сенсорной сети оболочки ВВЭР

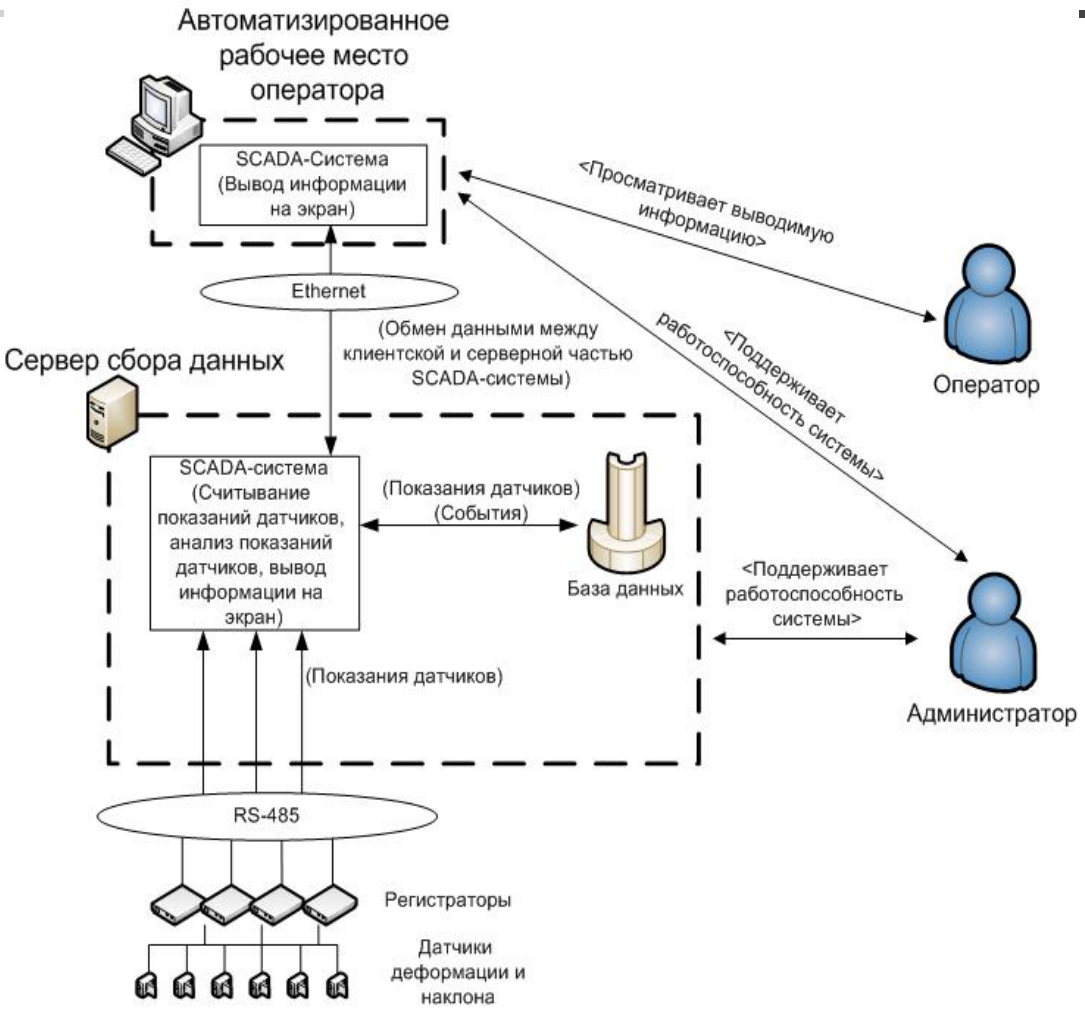
Акселерометры на оболочке



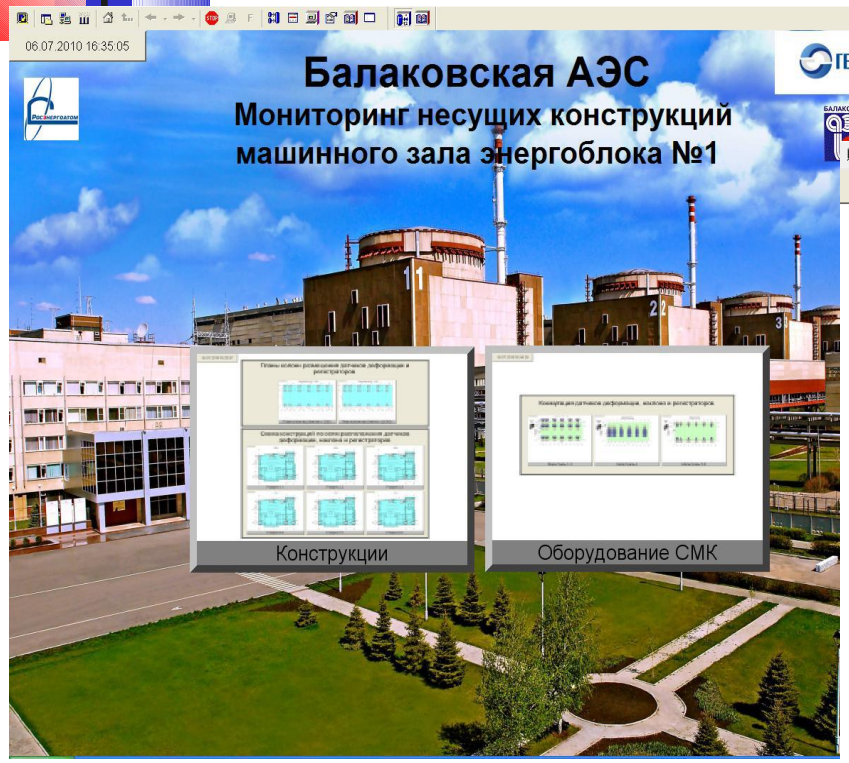
Первая собственная форма колебаний

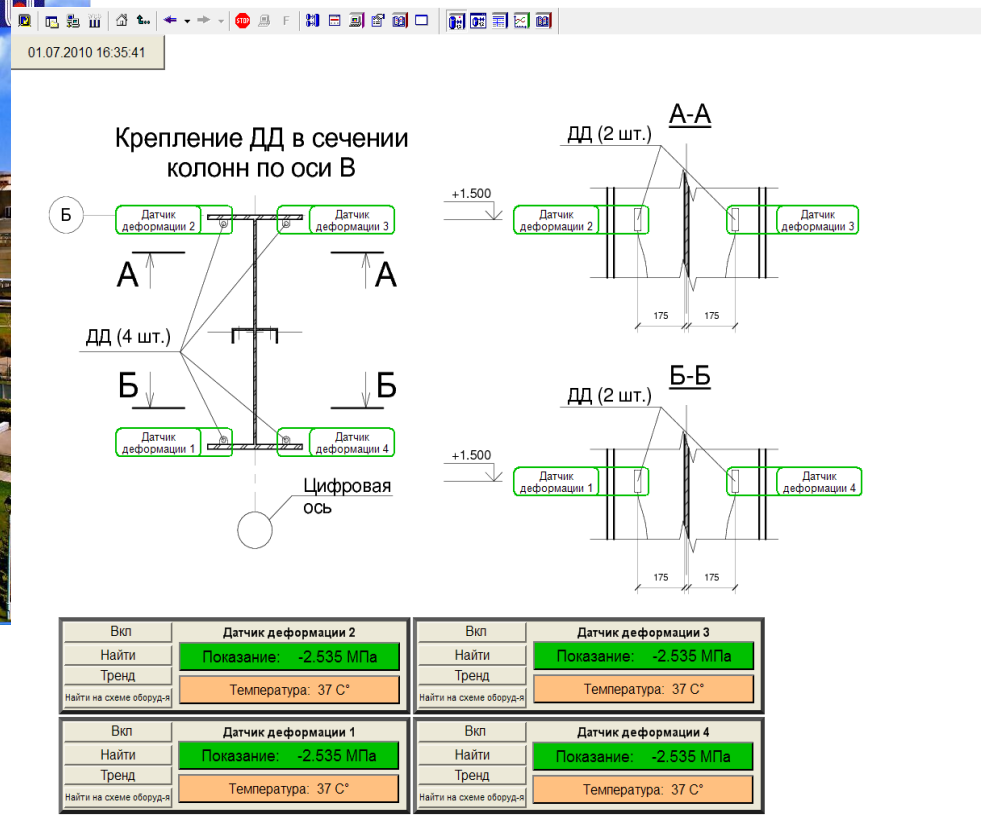


Структура мониторинга с использованием SCADA систем

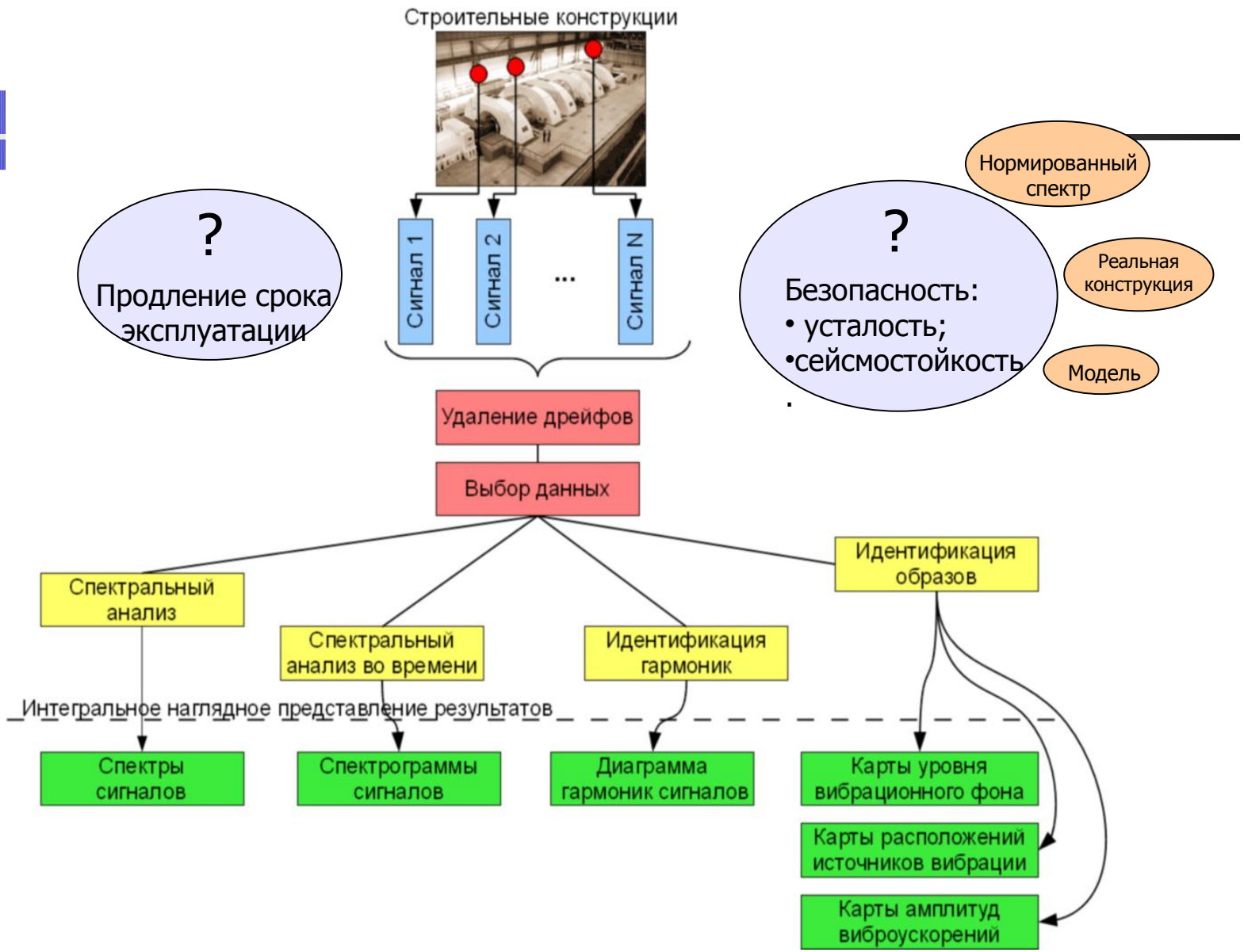


Фрагменты интерфейса АРМ оператора МЗ БАЭС

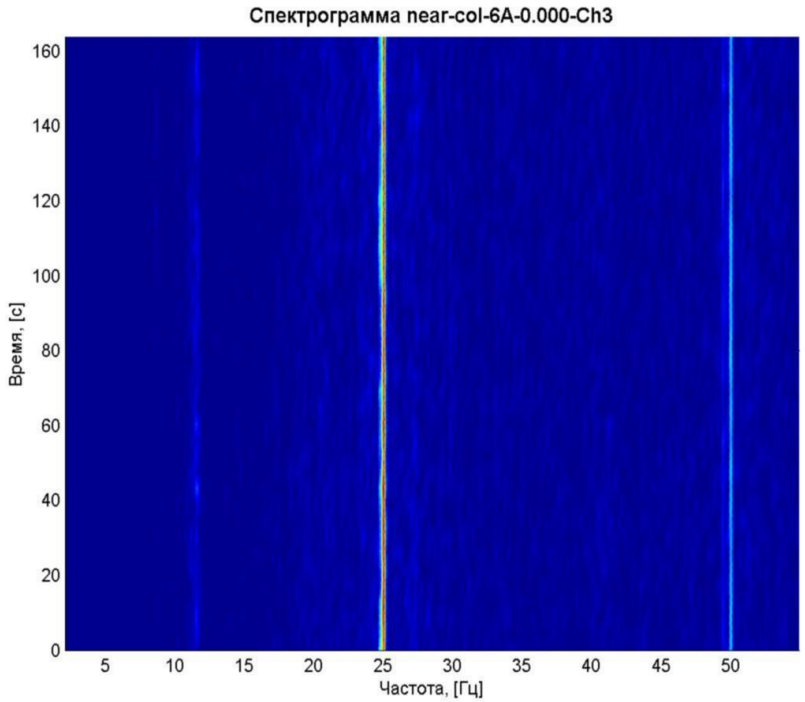


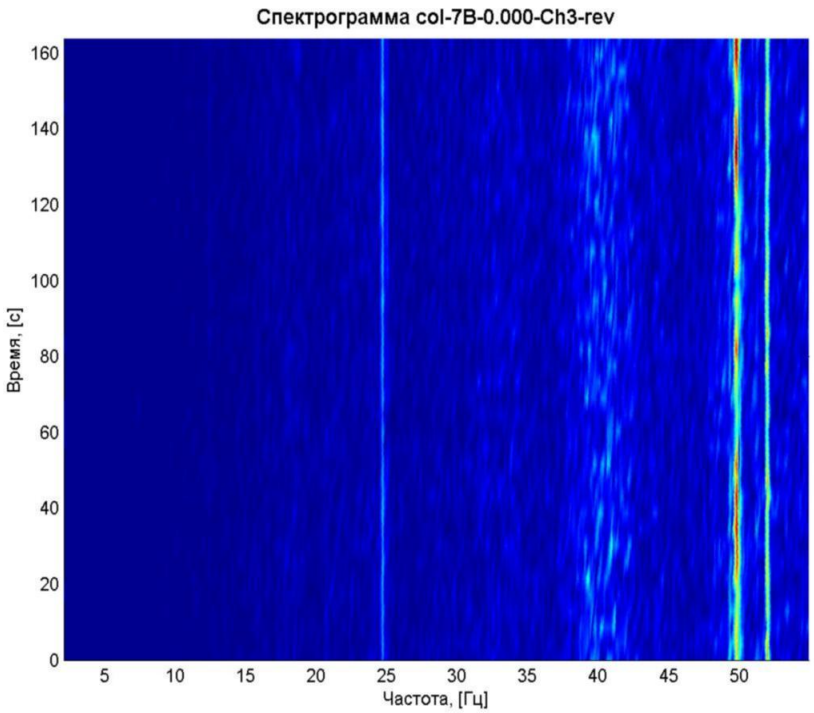


Анализ виброускорений колонн МЗ БАЭС



Спектрограмма сигналов

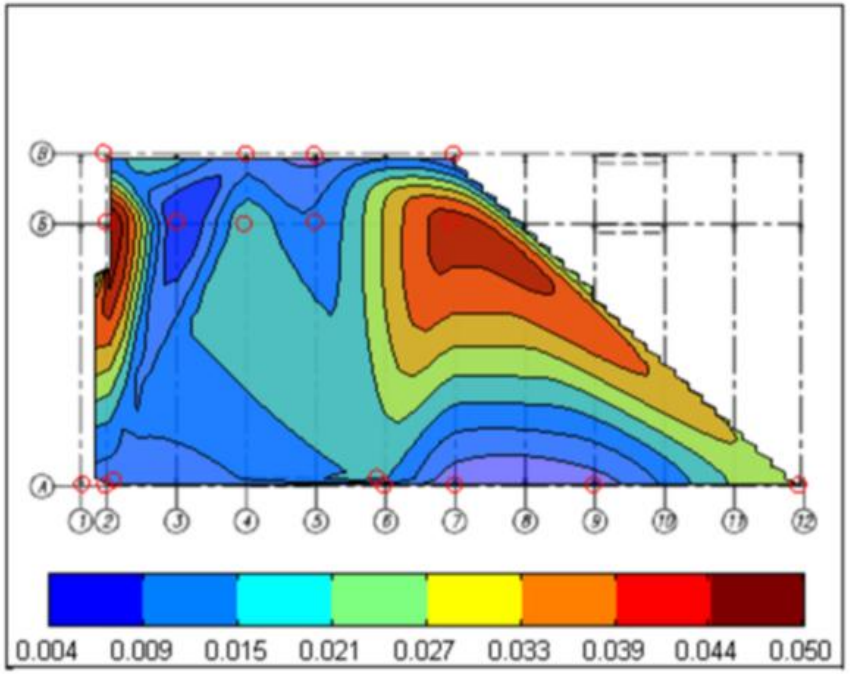




Гармоники МЗ БАЭС

Карта амплитуд ускорений на частоте 25 Гц

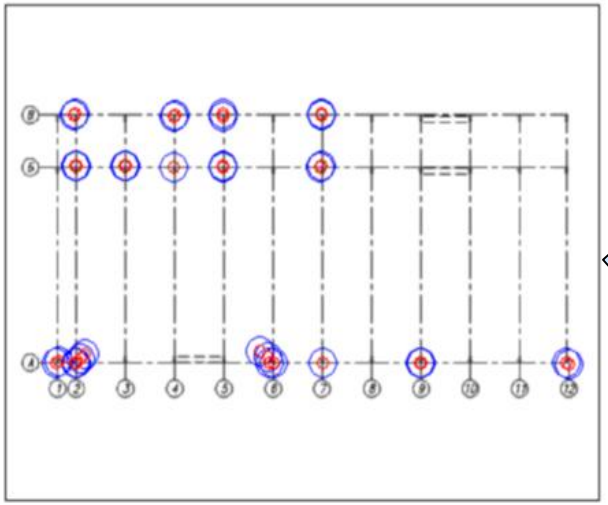
Карта амплитуд виброускорений по оси X на частоте 25[Гц]



Point name	Accel [m/s^2]
col-1A-0.000-Ch2	0.0036
col-2A-0.000-Ch3	0.0114
col-2B-0.000-Ch2	0.0503
col-2V-0.000-Ch2	0.0087
col-3B-0.000-Ch3	0.0051
col-4B-0.000-Ch2	0.0223
col-4V-0.000-Ch2	0.0113
col-5B-0.000-Ch2	0.0151
col-5V-0.000-Ch2	0.0065
col-6A-0.000-Ch3	0.0113
col-7A-0.000-Ch3	0.0059
col-7B-0.000-Ch2-rev	0.0417
col-7V-0.000-Ch2-rev	0.0050
col-9A-0.000-Ch3	0.0067
col-12A-0.000-Ch3	0.0270
near-col-2A-0.000-Ch3	0.0125
near-col-6A-0.000-Ch3	0.0201

Карты расположения источников гармоник

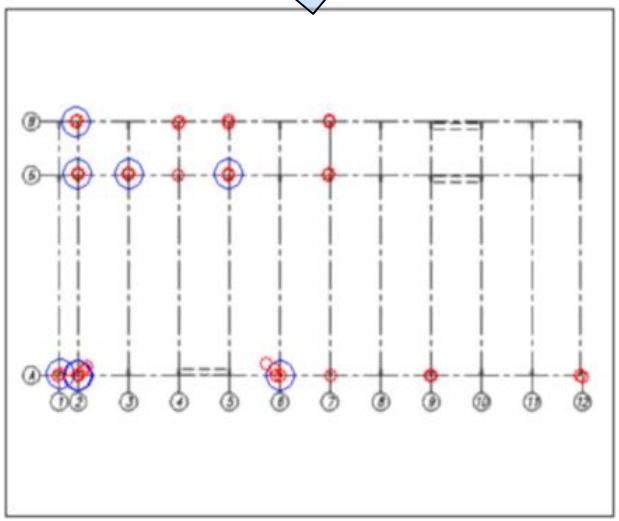
Топология источников вибрации с частотой 1500[Об/мин]



Глобальный источник - турбоагрегат!

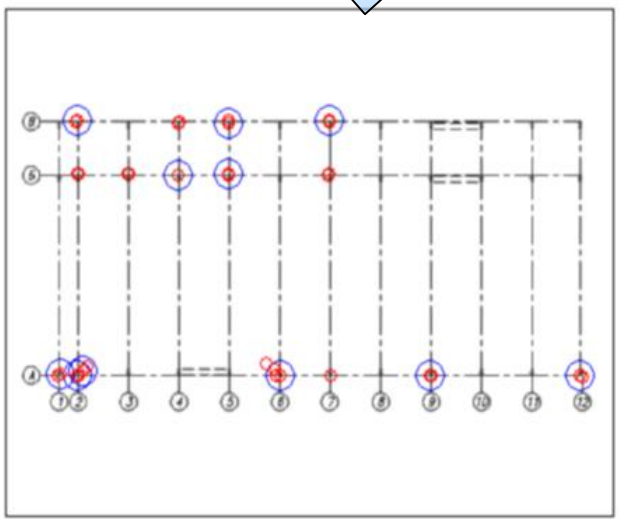
Локальный источник

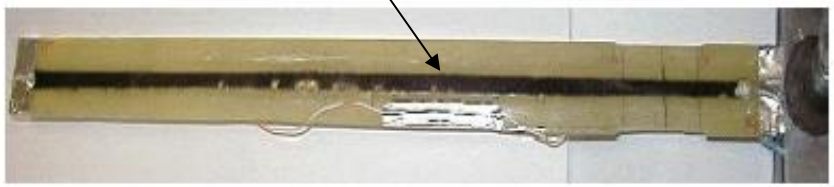
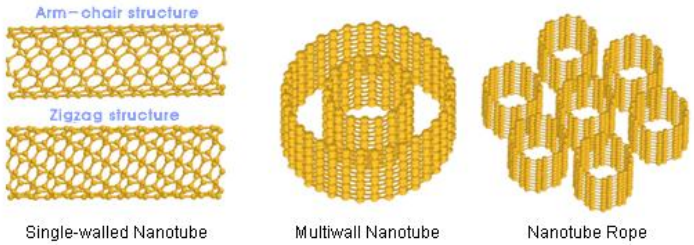
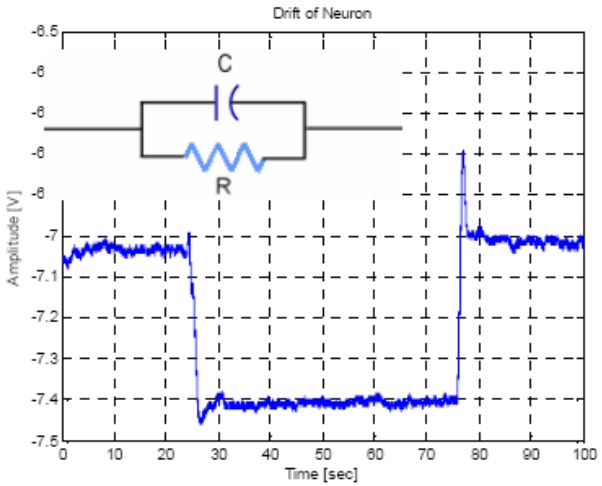
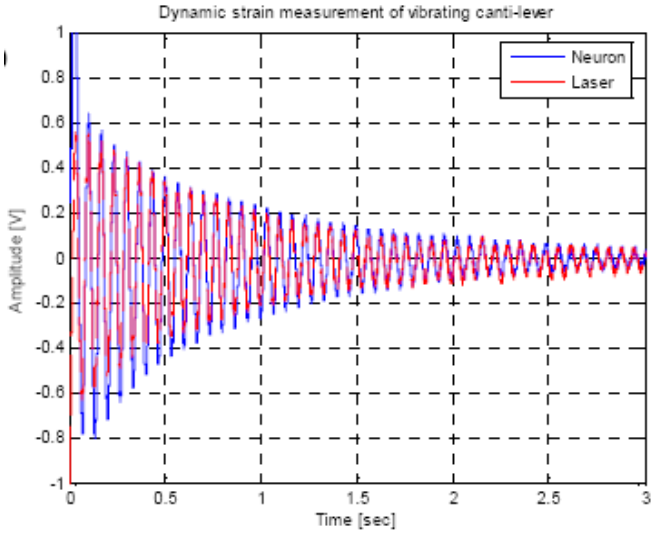
Топология источников вибрации с частотой 600[Об/мин]



Локальный источник

Топология источников вибрации с частотой 1800[Об/мин]



Нано датчики

Нейрон из нанотрубок