

# Интеллектуальная система мониторинга строительных конструкций и сооружений

*В.Л.Венгринович, В.Л.Цукерман, Ю.Б.Денкевич, С.А.Герловский*  
*Институт прикладной физики НАН Беларуси*  
*А.Ф.Гулев ОДО «Проектинжстрой», Д.М.Мордич ООО*  
*«Проектстройконструкция»*

СМК – это комплексный системный продукт, предназначенный для постоянного и непрерывного наблюдения по данным многосенсорных измерений за состоянием ответственных конструкций и сооружений в режиме реального времени.

СМК включает в себя:

- сенсорные устройства;
- технологию установки, юстировки и поверки сенсоров;
- системы передачи данных от сенсоров к серверу, включая беспроводные линии связи;
- программное обеспечение для получения, передачи, хранения, документирования и оценки данных измерений сенсорами;
- автоматизированное рабочее место оператора;
- дружественный интерфейс оператора.



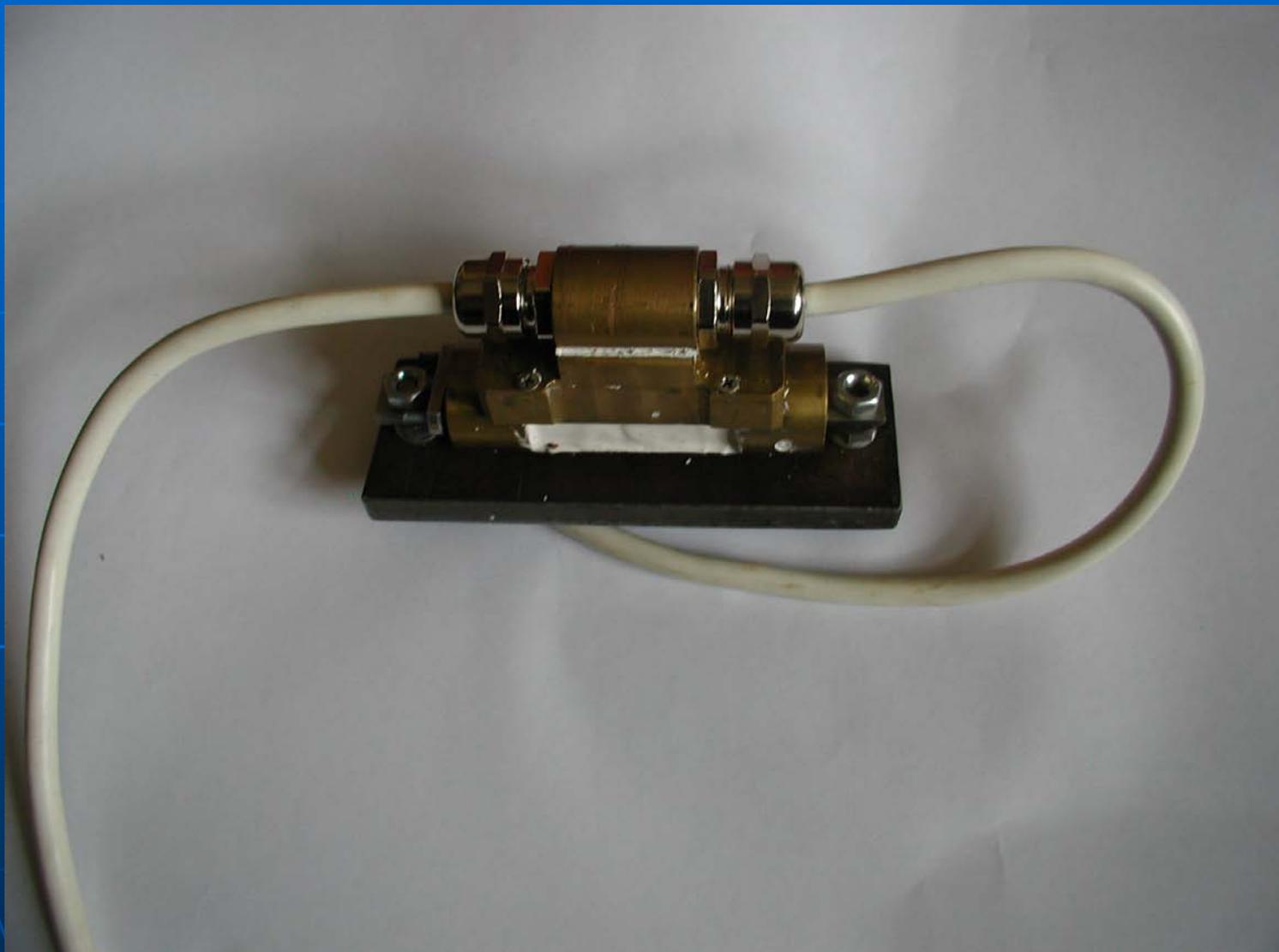
# Разработанные системы мониторинга:

- на спортивном комплексе «Минск-Арена»;
- участках магистральных трубопроводов в составе ОАО Газпром;
- высотном комплексе «Парус»
- учебно-тренировочном центре фристайла по ул. Сурганова в г. Минске.

В состав разработанных аппаратно-программных средств входят следующие измерительные каналы:

- канал измерения перемещений и деформаций (напряжений);
- канал измерения углов наклона;
- канал измерения ускорений;
- канал измерения ветровой нагрузки.

# Прецизионный датчик мониторинга НДС (НПРУП «Диагностика»)



# Параметры датчиков перемещений (напряжений и деформаций)

Параметр	Значение
Диапазон измерения деформации	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Пределы допускаемой приведенной погрешности измерения, %	$\pm 2,0$
Диапазон измерения температуры встроенным датчиком, °C	от -30 до +50
Пределы допускаемой погрешности измерения температуры, °C	$\pm 3$
Измерительная база датчика, мм	100
Диапазон сетевых адресов датчика	от 1 до 32

# Комплект ИПДМ-1.

а) - монтажное приспособление; б) – ПУС; в) – датчик СДП-1; г) БС-2



# Результаты сравнения расчётных приращений деформации опорной колонны железобетонного каркаса жилого комплекса «Парус» (синяя кривая) с данными мониторинга (красная кривая), полученными в ходе строительства.

Измеренные и расчётные значения деформации колонны



# Датчики, установленные на разных объектах



# Параметры датчиков инклинометров-акселерометров

Диапазон измерений углов наклона, °	±1
Диапазон измерений ускорений, м/с <sup>2</sup>	±0,2
Диапазон рабочих температур, °С	от -40 до +50
Частотный диапазон измерения углов наклона при неравномерности АЧХ на уровне 3дБ, Гц	от 0 до 0,1
Частотный диапазон измерения ускорений при неравномерности АЧХ на уровне 3дБ, Гц	от 0,1 до 3
Разрешающая способность измерений углов наклона, °	0,0003
Разрешающая способность измерений ускорений, м/с <sup>2</sup>	0,00006
Основная погрешность акселерометров, м/с <sup>2</sup>	±0,0008
Относительный коэффициент поперечного преобразования, %	±1
Пределы допускаемой основной погрешности измерения инклинометров, °	±0,004

# Расчетные допустимые отклонения данных, измеряемых инклинометрами- акселерометрами

		Нижняя часть здания	Верхняя часть здания
Расчетные инклинометров, °	показания	$\pm 0.035$	$\pm 0.072$
Допустимые инклинометров, °	показания	$\pm 0,115$	$\pm 0,115$
Расчетные акселерометров, м/с <sup>2</sup>	показания		$\pm 0,037$
Допустимые акселерометров, м/с <sup>2</sup>	показания		$\pm 0,08$

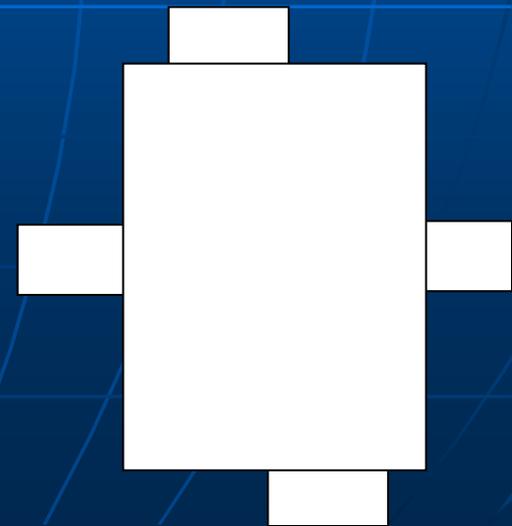
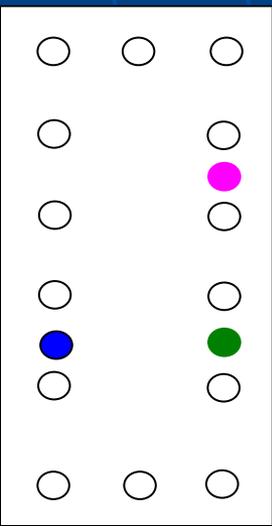
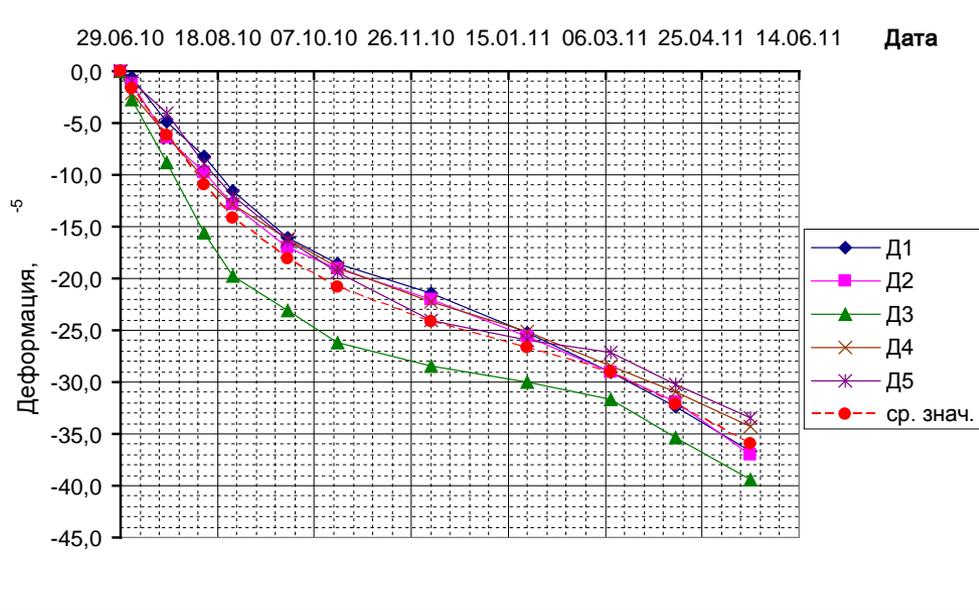
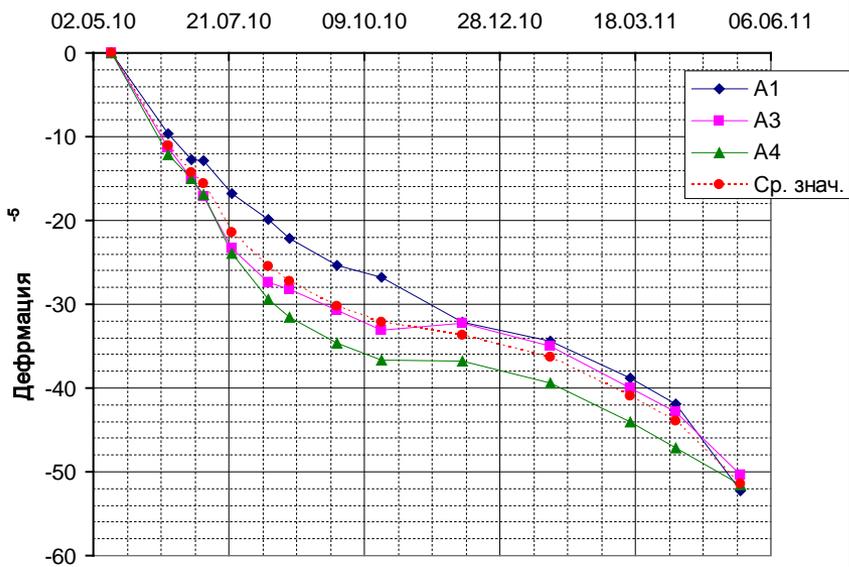
# Телеметрическая информационно-измерительная система мониторинга состояния лыжной трассы



# Параметры измерителей скорости и направления ветровой нагрузки

Параметр	Значение
Диапазон измерения скорости ветра, м/с	от 0 до 65
Разрешающая способность, м/с	0,01
Пределы допускаемой основной погрешности измерения скорости ветра, %	$\pm 2$
Диапазон измерения угла направления ветра, град	от 0 до 359
Разрешающая способность, $^{\circ}$	1
Пределы допускаемой основной погрешности измерения угла направления ветра, $^{\circ}$	$\pm 2$
Время измерения, с	1; 0,25; 0,1
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	от -55 до +70

# Сравнение результатов измерений деформаций в арматуре и бетоне на объекте «Парус»



# Акустоэмиссионные датчики

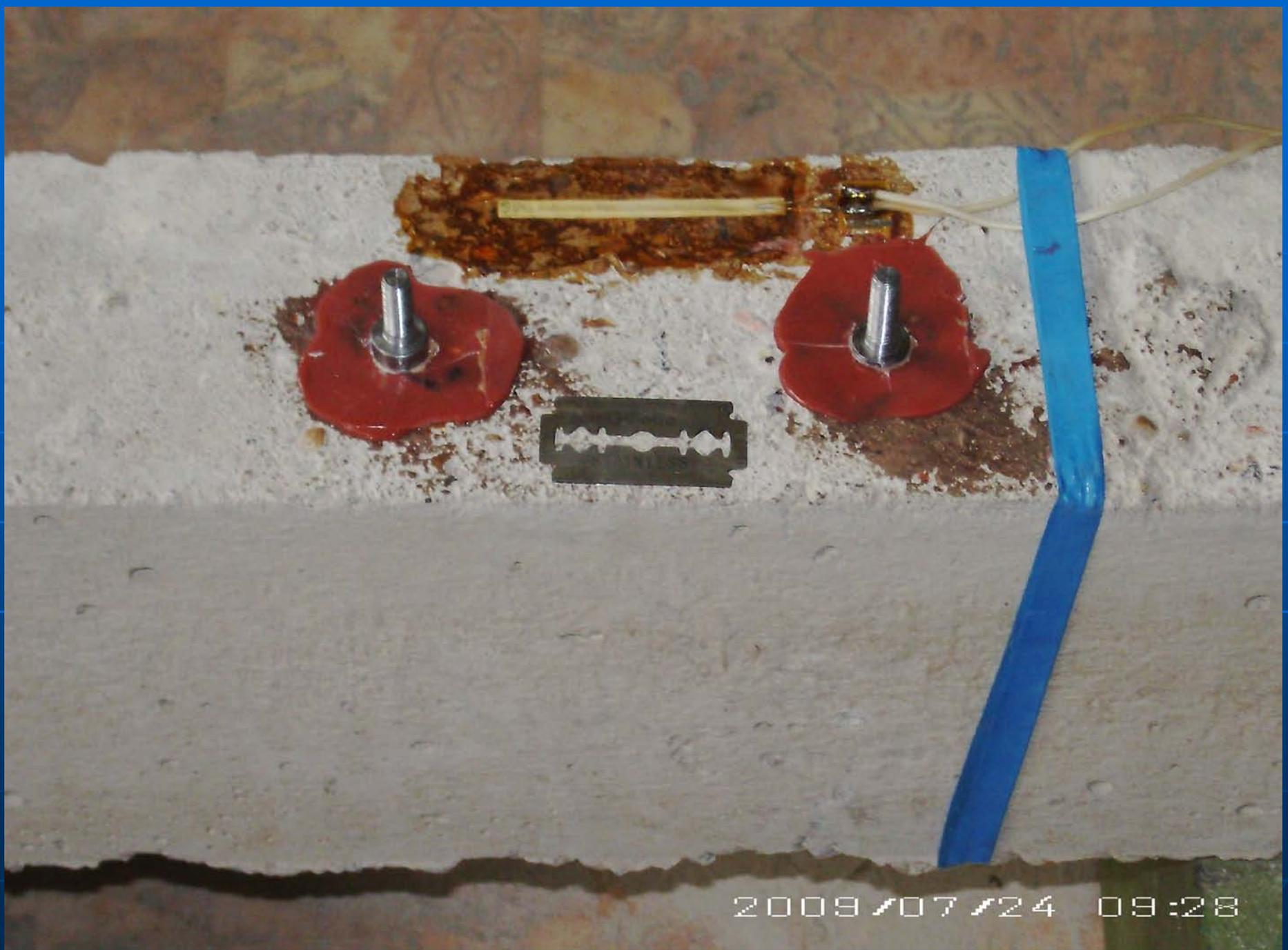


№	Вид канала системы	Объекты установки	Количество датчиков в канале	Функциональное назначение канала
1	Акустико-эмиссионный (АЭ) канал	Шаровые резервуары (ШР)	18-24 датчика на один ШР	Определение по параметрам сигналов АЭ развивающихся в объекте дефектов различного происхождения, оценка степени их опасности в рабочем режиме ШР. Определение местонахождения дефектов сплошности и течей; обнаружение очагов интенсивной коррозии.
		Технологические трубопроводы, находящиеся под давлением	1 датчик на 7-10 пог. м. трубопровода	
2	Канал контроля линейных перемещений (ДЛП) и напряженно-деформированного состояния (НДС): - струнные датчики линейных перемещений (деформаций); - микромагнитные датчики напряжений	Шаровые резервуары (ШР)	12 датчиков деформаций + 12 датчиков напряжений на 1 ШР; по одному ДЛП на один штуцер для подвода трубопроводов к ШР.	Определение кинетики изменения и текущих значений НДС в опасных участках и возможных зонах концентрации напряжений с целью предупреждения возможности достижения предельных состояний. Измерение зазоров между внутренними и наружными штуцерами.
		Технологические трубопроводы	Количество определяется на стадии проектирования по результатам прочностных расчетов	
3	Канал ультразвуковой толщинометрии	Шаровые резервуары (ШР)	Количество определяется на стадии проектирования. Устанавливаются в местах максимальных расчетных напряжений, в зонах повышенной коррозии и эрозии	Предупреждение возможности достижения предельных состояний в результате потерь металла из-за коррозии, эрозии, пластической деформации и др.
		Технологические трубопроводы		
4	Канал вибродиагностики (трехкомпонентные акселерометры)	Технологические трубопроводы	Количество определяется на стадии проектирования. Устанавливаются в местах подключения трубопроводов к нагнетателям.	Предупреждение возможности достижения недопустимых вибраций трубопроводов.
5	Канал контроля технологических параметров (температура, давление, расход, уровень)	ШР	Датчики температуры – по 4 на 1 ШР; Датчики уровня и давления – по 1 шт на 1 ШР	Контроль технологических параметров
		Технологические трубопроводы	Датчики расхода и давления.	
6	Газоанализатор			Контроль загазованности склада жидкого аммиака
7	Метеостанция	Склад жидкого аммиака	Датчики температуры воздуха, относительной влажности, атмосферного давления, скорости и направления ветра.	Контроль состояния окружающей среды

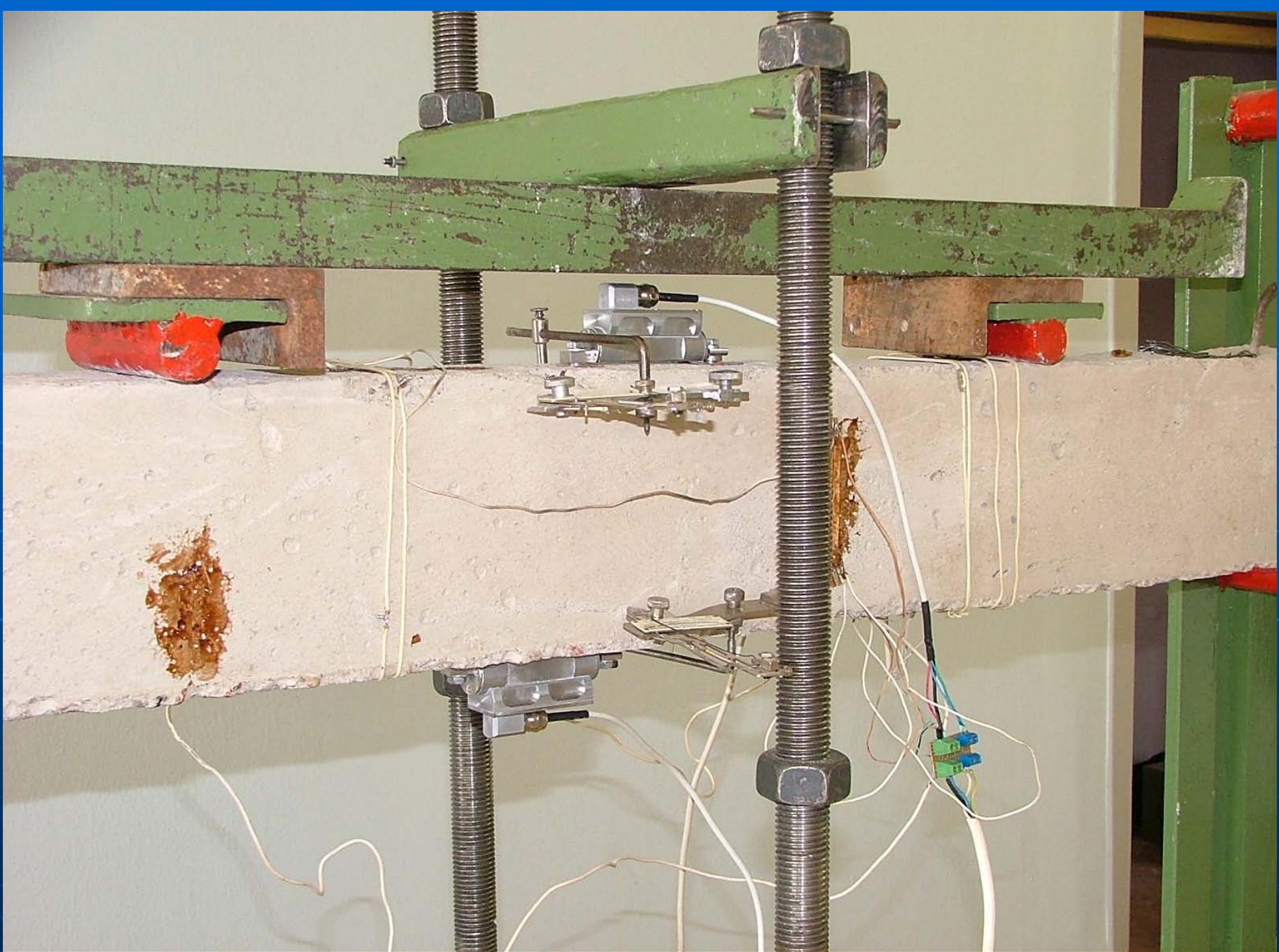
# Датчики внутренних напряжений на магнитных шумах ИПФ НАНБ



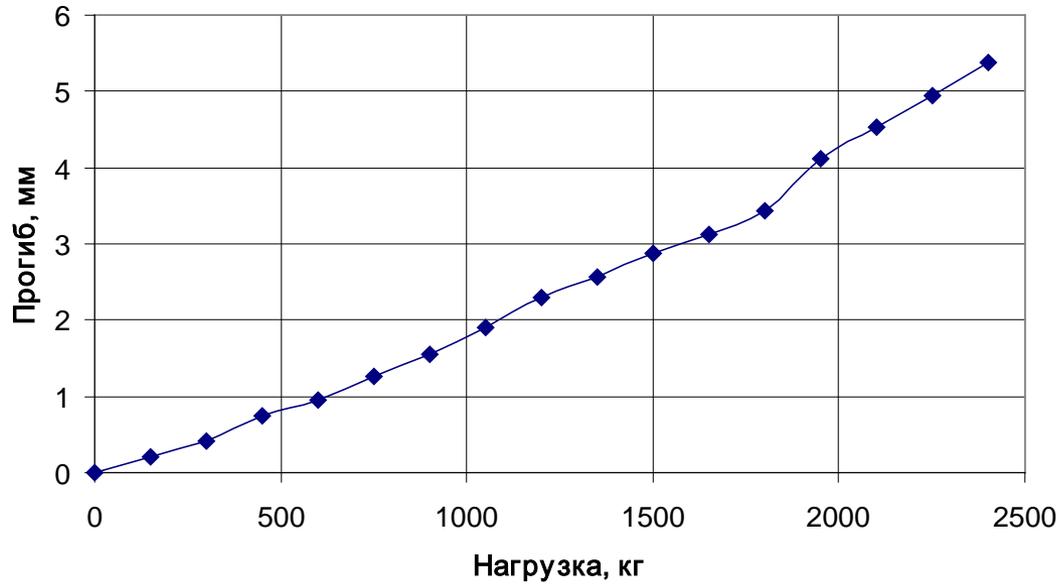




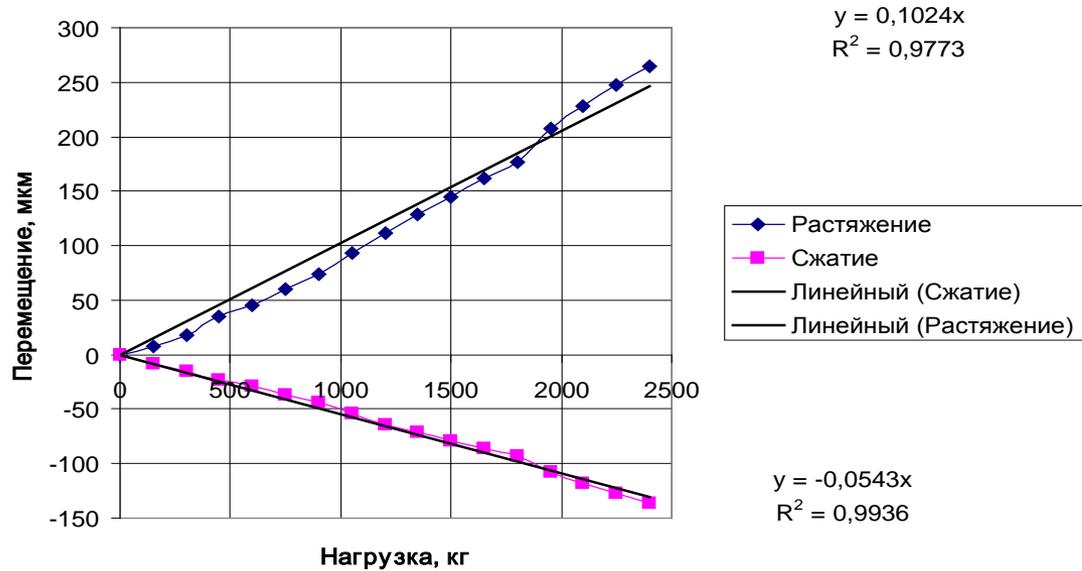
2009/07/24 09:28

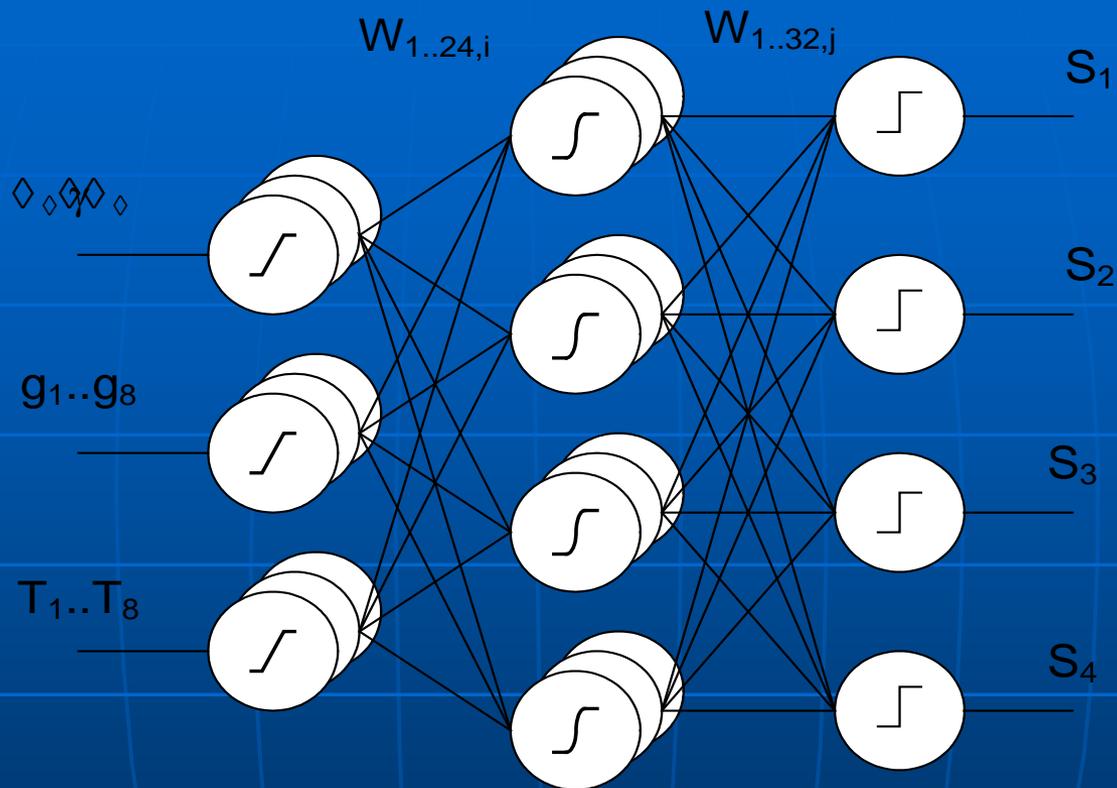


### Нагрузка - Прогиб



### Нагрузка - перемещение



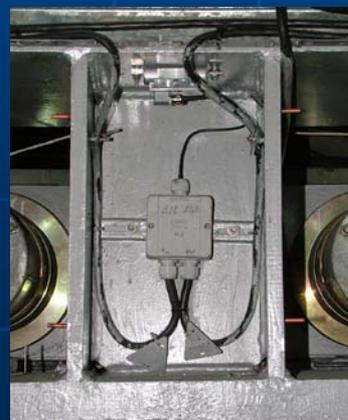
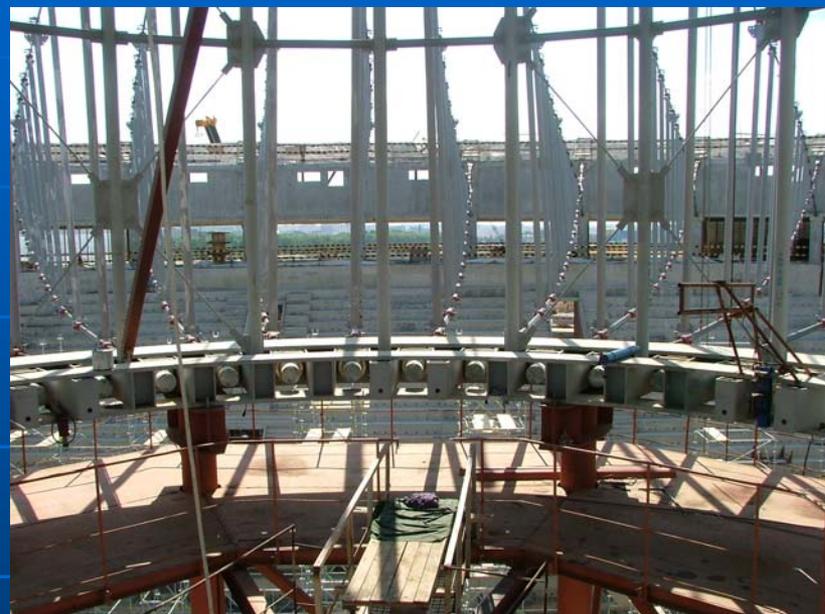


Структура нейросетевого решающего устройства  
ИРС





# Нижнее металлическое кольцо вантового покрытия комплекса «Минск-Арена»



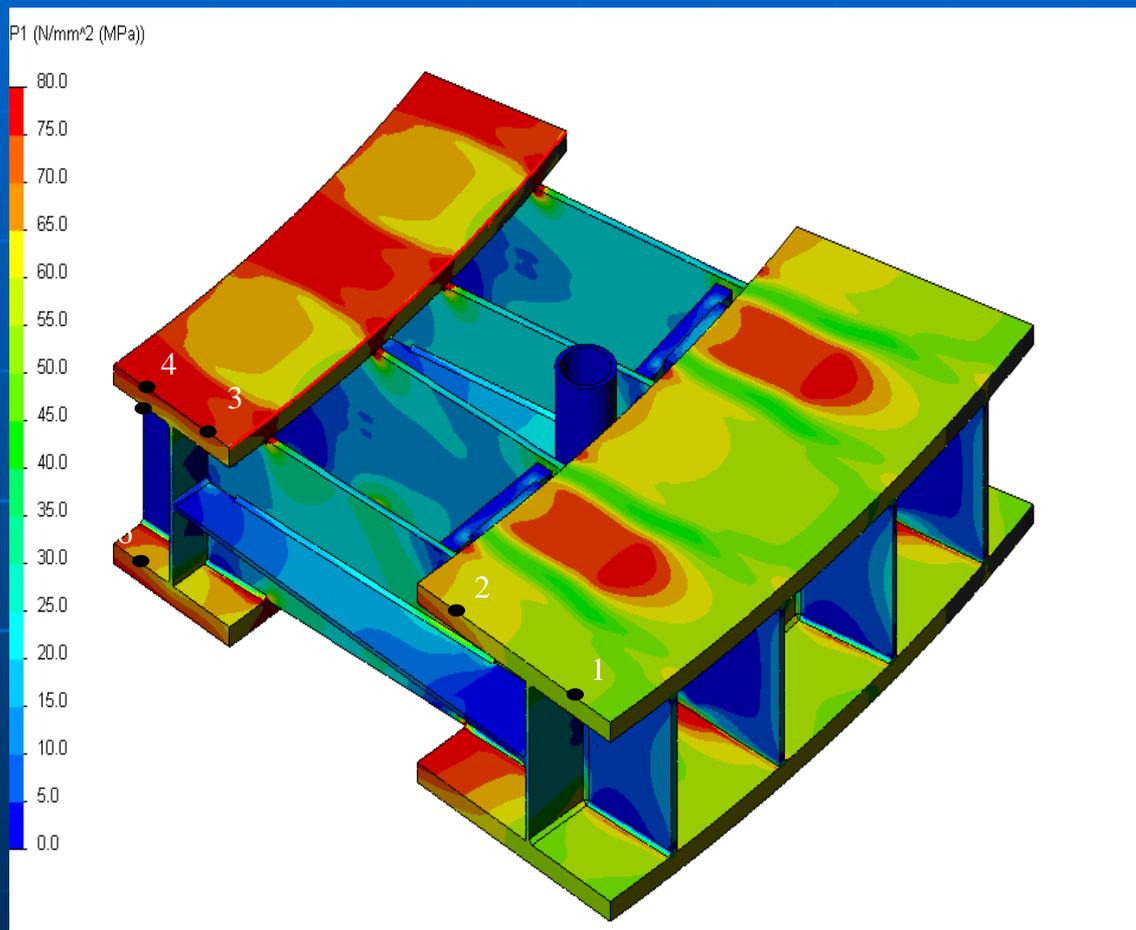


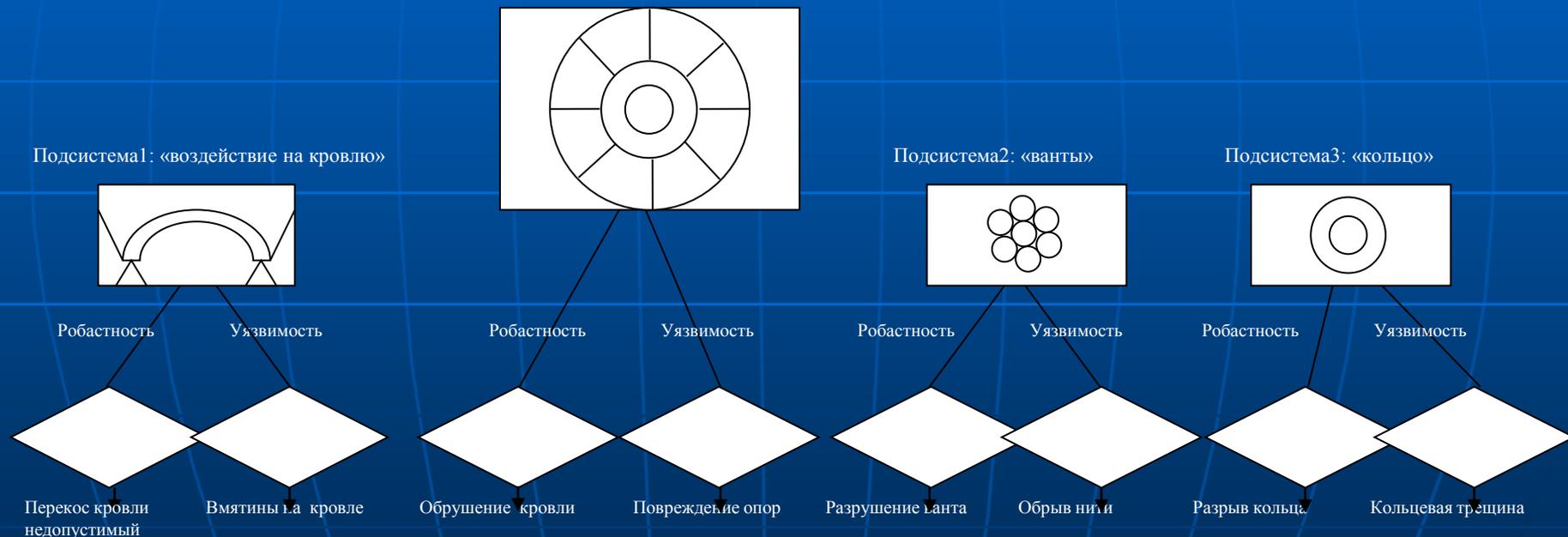
Рисунок 1 – распределение 1-го главного напряжения на поверхности нижнего кольца под действием силы на каждую упорную пластину (1/24 часть кольца)

# Три основные характеристики поведения наблюдаемой конструкции: *воздействие, уязвимость, робастность.*

**Надежность** - показатель качественного состояния конструкции и ее элементов.

Надежность - это вероятность  $P$  функционального отказа элемента или конструкции за время  $T_0$

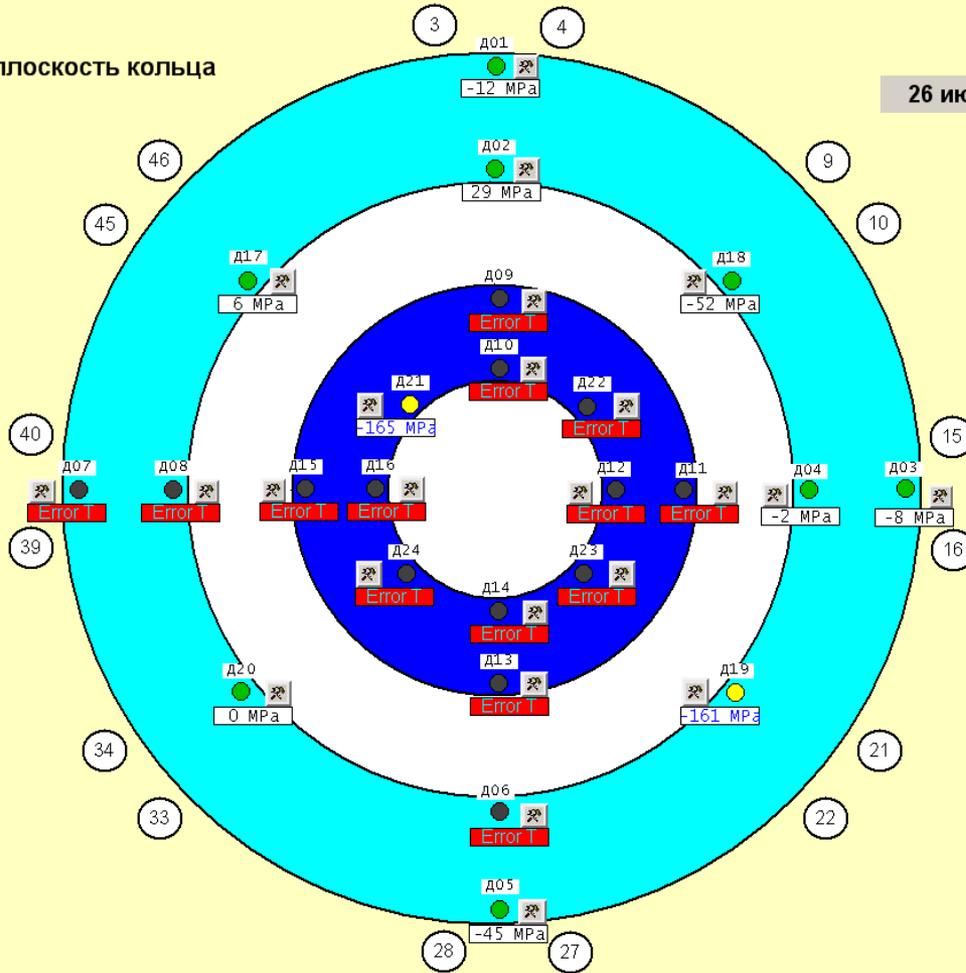
Система: «вантовое покрытие комплекса «Минск-Арена»



Характеристика базовой системы «Вантовое покрытие комплекса «Минск-Арена» и инфраструктура подсистем объекта в терминах: *воздействие, уязвимость, робастность*

Верхняя плоскость кольца

26 июня 2009 г. 13:38:28



ЕДИНИЦЫ  
МОНИТОРИНГА

Напряжение, МПа

Контроль значений

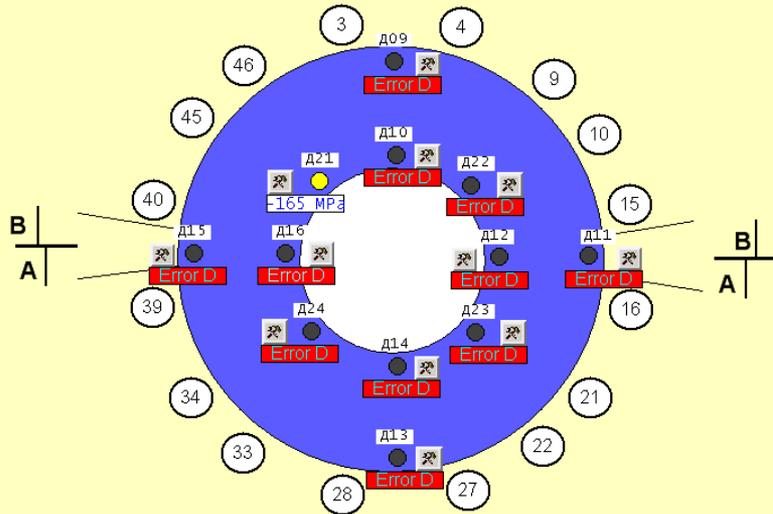
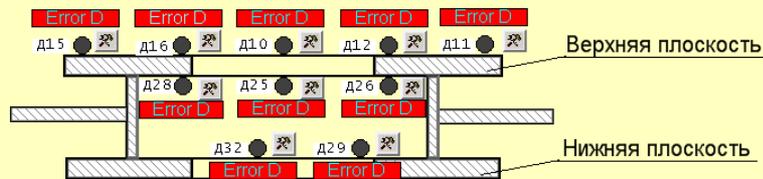
Состояние и подключения

Рапорт

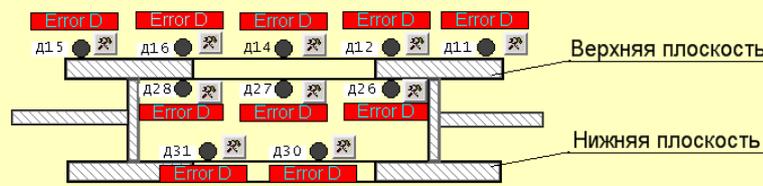
26 июня 2009 г. 13:48:09

# Внутреннее кольцо

**A - A**  
Датчики Д21, Д22  
не показаны



**В - В**  
Зеркально



Датчики Д23, Д24  
не показаны



Верхняя плоскость ...



Нижняя плоскость к...

ЕДИНИЦЫ  
МОНИТОРИНГА  
Напряжение МПа

Контроль значений

Состояние и подключения

Рапорт



Таблицы данных

# Заключение

1. Неопределенность прогноза и достоверность оценок при мониторинге определяются полнотой набора сенсоров, средств телекоммуникаций, концепции нарушения целостности объекта, достоверностью прочностного расчета, критериями опасности ситуации.
2. Оптимальное обеспечение безопасной эксплуатации ответственных сооружений может быть достигнуто путем широкого применения мониторинга состояния.
3. Мониторинг технических объектов должен предусматривать прямое обнаружение опасных состояний.
4. Все оценки остаточного ресурса, долговечности, надежности и др. должны учитывать неопределенность оценок и носить вероятностный характер.