

СМИК для гидротехнических сооружений портового комплекса: опыт реализации в Корсаковском порту

Гидротехнические сооружения портов работают в условиях постоянной динамической нагрузки: волновое воздействие, сезонные деформации грунта, эксплуатационные нагрузки от судов и перегрузочной техники. Традиционный периодический мониторинг не позволяет фиксировать нештатные процессы в режиме реального времени — это делает задачу непрерывного автоматизированного контроля критически важной.

ООО НТЦ «КСМ» разработало и реализовывает проект системы мониторинга инженерных конструкций (СМИК) для гидротехнических сооружений Корсаковского порта (Сахалинская область) в рамках реконструкции объекта «Рыбный порт» — «Логистический технопарк (Корсаковский порт)».

Объект и задача

Заказчик — ФГУП «Национальные рыбные ресурсы». Генеральный проектировщик — АО «Мостострой-11» совместно с АО «Институт Гипростроймост — Санкт-Петербург».

В состав контролируемых ГТС вошли девять объектов: причалы БПН-1, БПН-2, БПН-3, причалы №1, №2, №3, Южный мол, Средний мол и Северная берегоукрепительная стенка. Класс ответственности — II и III по ГОСТ Р 54523-2011.

Основная задача СМИК — непрерывный контроль технического состояния конструкций: деформаций, перемещений, наклонов и давления грунта. Система должна обеспечивать раннее обнаружение отклонений, автоматическое оповещение при превышении пороговых значений и документирование данных для эксплуатирующей организации.

Измерительный комплекс ISSO: состав и технические характеристики

Для реализации АСДК ГТС применяется измерительный комплекс на базе оборудования линейки ISSO – собственный бренд компании НТЦ «КСМ».

Все датчики распределены по четырём типам в зависимости от измеряемого параметра.

ПЕРВЫЙ ТИП: Датчики угла наклона ISSO-TILTG-1.2 RS-485

Установлены на гидротехнических сооружениях II класса ответственности: причалах БПН-1, БПН-2, БПН-3, причале №1 и причале №3.

Принцип работы основан на МЭМС-технологии (микроэлектромеханические системы) — одной из наиболее зрелых и надёжных технологий измерения угловых параметров в строительном мониторинге. МЭМС-акселерометр реагирует на изменение ориентации корпуса датчика относительно вектора гравитации, обеспечивая высокую точность и стабильность показаний в условиях длительной эксплуатации.



Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений угла наклона	верт./гор ±15°
Пределы допускаемой приведенной к полному диапазону измерений погрешности измерений угла наклона	±0,5 %
Интерфейс передачи данных	RS-485

Диапазон рабочих температур от –45 до +80 °С обеспечивает надёжную работу датчиков в суровом сахалинском климате — от зимних морозов до летнего прогрева конструкций на прямом солнечном свете. Устойчивость к высокой влажности (до 98%) критична для открытых портовых сооружений.

ВТОРОЙ ТИП: Датчики деформации струнные ISSO-SG3-150

Струнные датчики деформации ISSO — наиболее многочисленная группа на объекте. Они предназначены для длительного мониторинга относительной деформации и напряжения в несущих элементах конструкций: сваях, подпорных стенках, распорках, балках, колоннах.

Принцип действия основан на измерении резонансной частоты колебаний металлической струны, натянутой внутри корпуса датчика. При деформации конструктивного элемента, к которому закреплён датчик, изменяется натяжение струны — и, соответственно, её резонансная частота. Измерение частоты с высокой точностью позволяет вычислить величину деформации.

Струнная (вибрационно-струнная) технология измерений обладает рядом принципиальных преимуществ для задач долгосрочного строительного мониторинга:

- нечувствительность к длине кабеля — показания не зависят от сопротивления линии, что особенно важно

при распределённом размещении датчиков на протяжённых сооружениях;

- высокая долгосрочная стабильность — частотный сигнал не подвержен дрейфу, характерному для резистивных датчиков;

- устойчивость к электромагнитным помехам — критично для портовой среды с развитой электросиловой инфраструктурой.



Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений относительной деформации на 1 м	± 1500 мкм
Пределы допускаемой приведенной к полному диапазону измерений погрешности измерений относительной деформации	$\pm 0,1\%$
Условия эксплуатации: - температура окружающей среды	от -45 до $+80^{\circ}$

Погрешность $\pm 0,1\%$ — один из лучших показателей в классе струнных датчиков деформации — обеспечивает высокую достоверность данных о напряжённо-деформированном состоянии конструкций на всём жизненном цикле объекта.

ТРЕТИЙ ТИП: Датчики перемещений ISSO-CR-1-150

Предназначены для контроля раскрытия деформационных швов и взаимного смещения секций гидротехнических сооружений. Принцип действия — также вибрационно-струнный. Датчик фиксируется на поверхности контролируемого объекта с помощью анкерных болтов: два анкера закрепляются на смежных конструктивных элементах, между которыми необходимо измерить взаимное перемещение. Диапазон измерений 0–150 мм охватывает как штатные температурные деформации деформационных швов, так и аварийные раскрытия, требующие немедленного реагирования.



Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений перемещений	от 0 до 150 мм
Пределы допускаемой приведенной к полному диапазону измерений погрешности измерений перемещений	$\pm 0,5\%$
Условия эксплуатации: - температура окружающей среды - относительная влажность воздуха	от -45 до $+80^{\circ}$ от 30 до 98%

ЧЕТВЕРТЫЙ ТИП: Датчики давления струнные ISSO-WP-50

Предназначены для контроля фильтрационного режима грунтов засыпки и основания, а также оценки работы дренажной системы.

Конструкция датчика включает герметичный корпус с натянутой внутри металлической струной-резонатором. Один конец струны закреплён неподвижно, второй связан с чувствительной мембраной, воспринимающей давление жидкости. При изменении давления мембрана деформируется, изменяя натяжение струны — и её резонансную частоту, которая считывается электромагнитной катушкой.



Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений давления, кПа	от 0 до 500 кПа
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений давления	$\pm 0,6$ кПа
Условия эксплуатации: - температура окружающей среды, - относительная влажность воздуха,	от -45 до $+80^{\circ}$ не более 95%

Система реализована по двухуровневой архитектуре с централизованной обработкой данных, обеспечивающей непрерывный автоматизированный мониторинг технического состояния несущих конструкций, основания и грунтового массива на всём протяжении объекта (см. Рис. №1.)

Типовая схема размещения измерительных точек на участке портовой инфраструктуры
(набор датчиков определяется особенностями объекта мониторинга и контролируемыми параметрами)

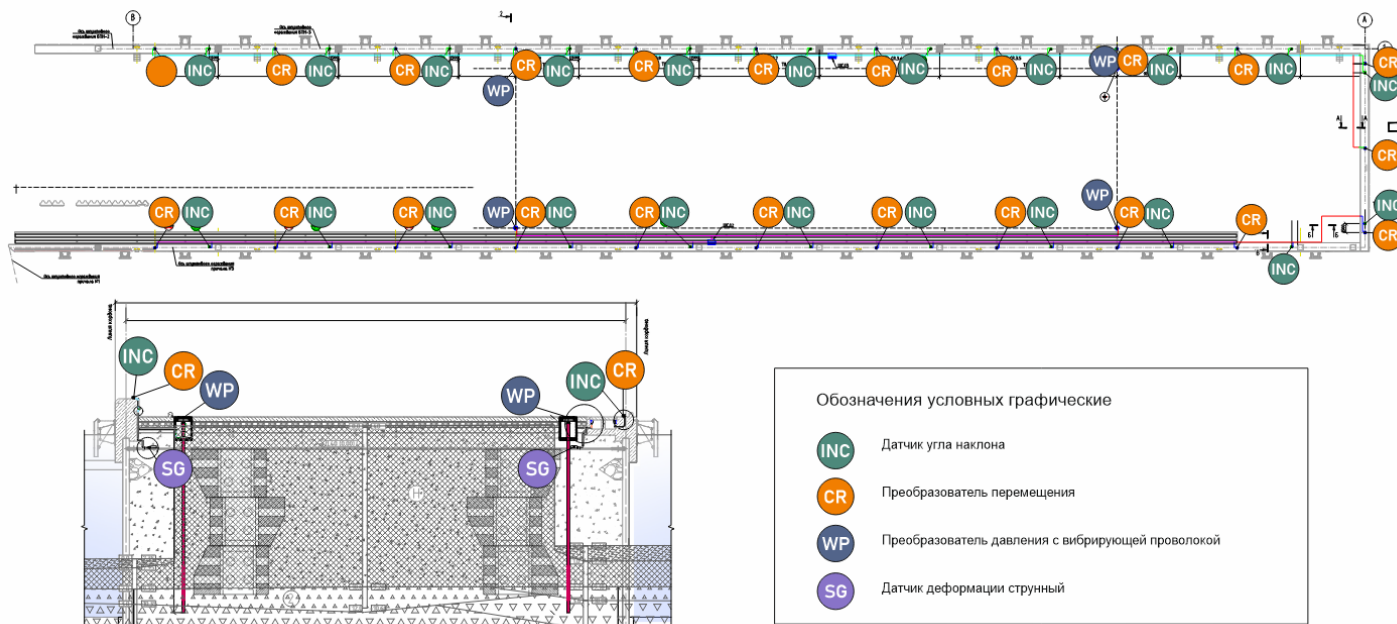


Рис. №1. Типовая схема размещения измерительных точек на участке портовой инфраструктуры.

Полевой уровень формирует распределённую измерительную сеть датчиков ISSO, установленных в критических узлах конструктивных элементов в соответствии с расчётными схемами нагружения и требованиями нормативной документации. Шкафы сбора данных (ШСД), распределённые по территории комплекса, выполняют первичную аналого-цифровую обработку сигналов и защищённую передачу на верхний уровень.

Верхний уровень — центральный сервер и автоматизированное рабочее место оператора — реализует полный цикл обработки: визуализацию показаний в режиме реального времени, ведение долгосрочного архива измерений, расчёт трендов и накопленных деформаций, а также автоматическое формирование предупреждений при достижении контрольных и критических уровней контролируемых параметров.

Система предусматривает три режима работы:

Автоматизированный режим — основной. Данные поступают от датчиков через ШСД на сервер в непрерывном режиме без участия оператора. Обработка и хранение происходят автоматически.

Автономный режим — резервный. При потере связи между ШСД и сервером данные накапливаются локально в буфере регистратора и передаются на сервер после восстановления соединения. Режим обеспечивает отказоустойчивость системы при кратковременных сбоях инфраструктуры.

Ручной режим — для ввода данных инструментальных измерений, выполненных с помощью переносных приборов (периодические обходы). Данные вносятся оператором через АРМ и интегрируются в общий массив для сквозного анализа.

Трёхрежимная архитектура обеспечивает непрерывность мониторинга даже в условиях технических сбоев или планового обслуживания оборудования.

Нормативная база и класс ответственности

Рабочая документация АСДК ГТС Корсаковского порта разработана в строгом соответствии с действующей нормативной базой:

- СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003» — пп. 4.11, 4.14, 4.15;
- СП 23.13330.2018 «Основания гидротехнических сооружений» — пп. 4.10, 4.11, 4.12;
- ГОСТ Р 54523-2011 «Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

Гидротехнические сооружения объекта отнесены к II и III классам ответственности. Для объектов данных классов нормативные документы предъявляют требования к:

- составу контролируемых параметров;

- достаточности количества и расположения точек измерения;
- регламенту наблюдений и периодичности съёма данных;
- порядку обработки, хранения и представления результатов.

Выполнение этих требований является обязательным условием ввода объекта в эксплуатацию и подтверждения безопасности сооружений на всём их жизненном цикле.

Результат

Введённая СММК обеспечивает круглосуточный автоматизированный мониторинг девяти гидротехнических сооружений Корсаковского порта. Система фиксирует отклонения в режиме реального времени, сокращает риски аварийных ситуаций и обеспечивает доказательную базу для принятия решений по техническому обслуживанию и ремонту.

Заключение. Мониторинг как инструмент управления безопасностью

Опыт проектирования АСДК ГТС для Корсаковского рыбного порта демонстрирует подход НТЦ «КСМ» к задачам мониторинга критической инфраструктуры: комплексность измерений, соответствие нормативным требованиям, применение собственного оборудования с подтверждёнными метрологическими характеристиками и трёхуровневая архитектура системы, обеспечивающая надёжность в условиях удалённого объекта с агрессивной средой эксплуатации.

Система мониторинга — это не формальное выполнение требований проекта. Это инструмент управления безопасностью объекта на всём его жизненном цикле: от строительства до вывода из эксплуатации. Своевременное обнаружение отклонений, документирование состояния конструкций, обоснованное планирование технического обслуживания — всё это становится возможным только при наличии достоверных, непрерывных, структурированных данных измерений.

ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга»

10 ЛЕТ создаем и внедряем передовые решения систем мониторинга и управления на базе собственных разработок.