

# Геотехнический мониторинг: основа обеспечения безопасности зданий и сооружений

Современное строительство невозможно представить без системного контроля состояния оснований и несущих конструкций. Увеличение этажности зданий, освоение сложных грунтов, плотная городская застройка и развитие промышленной инфраструктуры повышают требования к надежности инженерных решений. В этих условиях геотехнический мониторинг становится обязательным элементом управления безопасностью.

## Геотехнический мониторинг – что это и какие задачи выполняет

Геотехнический мониторинг — это система инструментальных, геодезических и аналитических мероприятий, направленных на контроль деформаций, перемещений и напряженно-деформированного состояния грунтов и конструкций. Его ключевые задачи:

- раннее выявление опасных изменений и предупреждение аварий;
- проверка расчетных моделей и проектных решений;
- контроль состояния объекта на стадии строительства и эксплуатации;
- управление геотехническими рисками.

Типовыми объектами мониторинга являются фундаменты зданий, котлованы, подпорные стены, откосы, дамбы, тоннели, эстакады и резервуары.

## Стратегия мониторинга и проектирование системы

Работа начинается с комплексной оценки рисков. На этом этапе анализируются инженерно-геологические условия, конструктивные особенности объекта, технология строительства и потенциальные внешние воздействия. Результатом становится четко сформулированная цель — предупреждение аварий, контроль расчетных предпосылок, обеспечение безопасной эксплуатации или сопровождение строительства в сложных условиях.

Далее выбираются контрольные параметры. Перечень показателей формируется, исходя из расчетной схемы сооружения и ключевых факторов риска. Каждый измеряемый параметр должен быть связан с конкретным инженерным допущением или потенциальной угрозой.

Следующий этап — разработка схемы размещения пунктов наблюдения. Расстановка датчиков выполняется таким образом, чтобы обеспечить репрезентативность данных и охват наиболее напряженных зон. Частота измерений определяется динамикой процессов.

Комбинирование методов наблюдений традиционно включает геодезические, инструментальные и дистанционные технологии. Однако ключевая роль отводится

дистанционному непрерывному автоматизированному мониторингу. Он обеспечивает круглосуточный сбор данных без присутствия оператора на объекте.

## Инструменты и датчики для геотехнического мониторинга

### Инклинометры

Предназначены для измерения углов отклонения и определения горизонтальных смещений конструкций или грунтового массива. В зависимости от конструкции применяются гравитационные и электронные сенсоры, а по способу обработки сигнала — аналоговые и цифровые устройства.

По исполнению инклинометры подразделяются на скважинные и поверхностные. Отдельную категорию составляют оптические и электронные инклинометрические системы повышенной точности.

Основная область применения — контроль латеральных смещений в откосах, насыпях, котлованах, подпорных стенах и грунтовых массивах. Инклинометры также используются для оценки осадочных деформаций и поворота элементов фундаментов, включая полимерные или композитные конструкции.

Ключевое преимущество — высокая чувствительность к горизонтальным перемещениям и возможность получения детального профиля деформации по глубине. Ограничения связаны с требованиями к точности монтажа, качеству обсадной трубы и необходимостью регулярной калибровки для обеспечения метрологической достоверности.

### Экстензометры (или трещиномеры)

Предназначены для измерения относительного изменения расстояния между двумя или несколькими контрольными точками. Существуют следующие виды этих приборов:

- точечные;
- стержневые;
- анкерные с фиксацией по глубине массива;
- оптические;
- виброжилы/вибропроводные модификации.

Экстензометры используются для мониторинга раскрытия трещин в бетонных и железобетонных элементах, контроля растяжения и сжатия несущих конструкций, а также для оценки деформации грунта под фундаментами и в зонах активного давления.

Их преимущество заключается в прямом измерении изменения расстояния без необходимости сложной интерпретации. К ограничениям относятся узкий диапазон перемещений и повышенные требования к условиям установки, особенно при работе в агрессивной или влажной среде.

## Пьезометры

Предназначены для измерения порового давления воды в грунтах с полной или частичной водонасыщенностью. Наиболее распространены виброструнные и мембранные конструкции, обеспечивающие стабильность показаний в течение длительного времени.

Пьезометры применяются при контроле фильтрационных процессов в основаниях, дамбах и котлованах, а также для измерения давления жидкости в стояках, скважинах, трубопроводах и цистернах, работающих при повышенных давлениях.

Преимуществами являются высокая надежность, пригодность для автоматизированных систем и возможность долговременной работы в грунтовой среде. Ограничения связаны с необходимостью корректного дренирования и учета температурных факторов.

## Тензометры

Используются для измерения напряжений в массивных бетонных и железобетонных конструкциях, диафрагмах жесткости и водонепроницаемых ограждениях. Применяются закладные датчики, а также виброструнные модели. Тензометры позволяют контролировать перераспределение усилий, оценивать развитие трещинообразования и проверять соответствие фактической работы конструкции расчетной модели.

Среди преимуществ — высокая точность и возможность интеграции в автоматизированную систему мониторинга. Ограничения касаются сложности замены датчика после бетонирования и необходимости тщательной калибровки.

## Датчики температуры

Предназначены для измерения температуры жидкостей, твердых тел и газов в слабоагрессивных средах. В геотехническом мониторинге применяются термосопротивления, термопары и цифровые сенсоры, устойчивые к влажности и коррозионным воздействиям.

Они используются для контроля температурного режима в технологических процессах, управления тепловыми нагрузками, а также для оценки состояния грунта, включая зоны сезонного промерзания или оттаивания.

Преимуществами являются простота конструкции, стабильность работы и возможность коррекции показаний других датчиков с учетом температурного влияния. Ограничения связаны с необходимостью защиты от механических повреждений и правильного выбора диапазона измерений.

## Акселерометры

Предназначены для регистрации вибрационных колебаний и ускорений в строительных конструкциях. Они используются для мониторинга пульсаций и вибрационного состояния грунтовых оснований и надземных сооружений, включая мосты, эстакады и высотные здания. Также акселерометры применяются для контроля вибрации крупногабаритного вращающегося оборудования и морских платформ.

Преимущества акселерометров заключаются в высокой чувствительности к динамическим воздействиям и возможности непрерывной регистрации колебаний. Ограничения связаны с необходимостью грамотной фильтрации сигнала и защиты от электромагнитных помех.

## Сравнение и выбор датчиков

При выборе конкретных сенсоров учитываются следующие основные критерии:

- точность измерений;
- диапазон измерений;
- надежность и долговечность;
- условия эксплуатации;
- цена и эксплуатационные расходы;
- требования к обслуживанию.

Компания НТЦ «КСМ» реализует широкий спектр различных [устройств и датчиков для мониторинга \(марка ISSO\)](#), позволяющих формировать адаптированные конфигурации под конкретные инженерные вызовы:

- **Мониторинг склонов и откосов.** Здесь ключевыми являются инклинометры, позволяющие фиксировать латеральные смещения на разных глубинах. Дополнительно может использоваться датчик порового давления (пьезометр) для контроля водонасыщенности грунта, что часто является триггером нестабильности.
- **Контроль котлованов.** Здесь эффективен комплекс из инклинометров и экстензометров. Первые фиксируют наклоны ограждающих конструкций, а экстензометры — деформации элементов крепления. Если котлован глубинный и подвержен фильтрации воды, добавляют пьезометры для контроля порового давления.
- **Наблюдение за дамбами и гидротехническими сооружениями.** Мониторинг таких объектов требует устойчивых к гидростатическому давлению приборов. Здесь хорошо себя проявляют виброструнные пьезометры и тензометры высокой надежности. Датчики температуры могут использоваться для оценки тепловых влияний в массиве дамбы.
- **Фундаменты и основания зданий.** Используются экстензометры для измерения относительных осадок и деформаций, а также инклинометры в случаях несимметричных нагрузок. В сложных инженерно-геологических условиях добавляют датчики температур и вибрации, чтобы отслеживать дополнительные факторы воздействия.

## Сбор данных, обработка и управление информацией

Современные автоматизированные системы ориентированы на непрерывный поток измерений с последующей интеллектуальной обработкой и формированием управленческих решений в режиме реального времени. Частота съемок определяется типом контролируемого процесса.

Сырые данные с датчиков редко пригодны для прямого анализа. На этапе предобработки выполняются фильтрация шумов, температурная коррекция, нормализация и валидация,

агрегация и трендовый анализ. Формируются суточные, недельные и месячные тренды, позволяющие оценивать динамику процессов и выявлять медленно развивающиеся деформации.

В условиях непрерывного мониторинга объем информации может достигать миллионов записей в месяц. Поэтому система должна обеспечивать структурированное хранение временных рядов, резервное копирование, разграничение доступа, сохранность истории изменений.

Для интеграции с другими системами применяются стандартизированные протоколы обмена. Это позволяет подключать оборудование различных производителей и передавать данные в корпоративные системы управления.

Программное обеспечение — ключевой элемент архитектуры автоматизированного ГТМ. Современные кастомизированные системы сбора и обработки данных обладают следующими преимуществами:

- гибкая архитектура;
- индивидуальные алгоритмы обработки;
- оптимизация интерфейса под пользователя;
- возможность развития системы.

Современные платформы мониторинга обеспечивают построение интерактивных графиков временных рядов, трехмерную визуализацию деформаций, автоматическое формирование отчетов, систему уведомлений при превышении контрольных значений, прогнозирование тенденций на основе накопленных данных. Интеллектуальная аналитика позволяет переходить от фиксации фактов к моделированию сценариев развития состояния объекта.

## Анализ данных и принятие решений

Аналитический этап направлен на преобразование массива измерений в управленческую информацию. Используются методы трендового анализа для выявления устойчивых направлений изменения параметров, корреляционный анализ для установления взаимосвязей между деформациями, поровым давлением, температурой и внешними нагрузками, а также прогнозные модели, позволяющие оценить вероятное развитие процессов во времени.

Ключевым инструментом управления рисками является система пороговых значений. Для каждого контролируемого параметра задаются допустимые, предупреждающие и критические уровни. При их превышении автоматически формируются уведомления, а при достижении аварийных критериев активируется регламент реагирования — от дополнительной диагностики до немедленных инженерных мероприятий.

Достоверность выводов обеспечивается регулярной верификацией расчетных моделей по фактическим данным.

## Монтаж, калибровка и техобслуживание

Установка датчиков должна выполняться с учетом проектного положения, требований к закреплению, герметизации, защите кабельных линий и обеспечению стабильного контакта с контролируемой средой. Обязателен контроль соответствия выполненных работ проектной документации и активирование скрытых операций.

Калибровка проводится до ввода системы в эксплуатацию и далее в соответствии с установленным графиком. Проверяются метрологические характеристики, корректность нулевых показаний и стабильность выходного сигнала. При необходимости выполняется настройка коэффициентов преобразования и температурной компенсации.

План технического обслуживания включает регулярную инспекцию узлов крепления, проверку целостности кабельных трасс, тестирование каналов связи и обновление программных модулей. Особое внимание уделяется долговечности оборудования: защите от влаги, коррозии, механических воздействий и сезонных температурных колебаний.

## Кейсы и практические примеры

На промышленных площадках контроль деформаций и напряженно-деформированного состояния конструкций имеет стратегическое значение. [В рамках внедрения «Системы мониторинга зданий и сооружений» для ПАО «ГМК «Норильский никель»](#) (1 и 2 очередь) НТЦ «КСМ» была создана масштабная цифровая инфраструктура наблюдений, охватившая более 150 объектов различного назначения. Система обеспечила непрерывный контроль оснований и несущих элементов конструкций, автоматическую передачу данных и централизованную аналитику. Это позволило повысить уровень промышленной безопасности, сократить риски аварийных ситуаций и обеспечить контроль технического состояния в условиях сложных климатических факторов.

Примером комплексной интеграции является внедрение верхнего уровня программного обеспечения на ранее установленные средства измерения RocTest системы мониторинга инженерных конструкций для Завода СПГ и СГК на ОГТ, Сухой док №1 (Батопорт №1). В рамках проекта, реализованного НТЦ «КСМ», была выполнена интеграция измерительных приборов в единую программную среду, обеспечена централизованная обработка данных и визуализация параметров в режиме реального времени. Реализация таких решений позволяет объединять оборудование различных производителей в единую цифровую экосистему и повышать управляемость сложных объектов.

НТЦ «КСМ» специализируется на [проектировании и внедрении автоматизированных систем геотехнического мониторинга](#) для объектов различного уровня ответственности. Компания выполняет полный цикл работ — от инженерного обследования и разработки концепции до поставки оборудования, программной интеграции и последующего технического сопровождения. Комплексный подход, основанный на сочетании инженерной экспертизы и современных цифровых технологий, позволяет формировать надежные системы контроля, адаптированные под конкретные условия эксплуатации и требования заказчика.