

Струнные датчики деформации: области применения и принцип работы

Струнные (вибрирующие) датчики деформации — это устройства, предназначенные для измерения растяжения, сжатия или смещений конструкций через изменение частоты колебаний натянутой струны или проволоки.

Данная технология начала активно применяться во второй половине XX века в геотехническом и строительном мониторинге. Она дала развитие и более ранним методам измерения деформаций, прежде всего электрическим тензорезисторным датчиков, появившихся в 1930-х годах. По сравнению с ними струнный тип оказался более устойчивым к внешним воздействиям: влажности, температурным колебаниям и электромагнитным помехам, поэтому со временем заняли важное место среди средств долговременного контроля состояния инженерных сооружений.

Физический принцип работы

Струнный датчик состоит из натянутой струны или проволоки, закрепленной на корпусе через концевые крепления. Корпус защищает струну от внешних воздействий, а крепления обеспечивают стабильное натяжение.

Частота колебаний струны прямо зависит от ее натяжения. При деформации конструкции она растягивается или сжимается, меняя собственную частоту. Измеряя это изменение, можно определить величину деформации с высокой точностью.

Колебания струны создаются и фиксируются электромагнитными или пьезоэлектрическими методами. Она возбуждается коротким импульсом, а специальный сенсор фиксирует частоту колебаний, преобразуя ее в измеряемую величину.

Частота колебаний зависит от температуры. Для компенсации применяются специальные алгоритмы и материалы, минимизирующие влияние теплового расширения.

Виды струнных датчиков и исполнения

Они могут иметь различные конструктивные исполнения в зависимости от задач мониторинга и условий эксплуатации.

Для измерения растяжения и деформации

Наиболее распространенный тип струнных датчиков — вибрирующие тензометры, предназначенные для измерения растяжения или сжатия элементов конструкции. В основе их работы лежит изменение частоты колебаний натянутой металлической струны при изменении ее длины.

Инклинометры, экстензометры, пьезометрические датчики

Технология вибрирующей струны используется не только для измерения линейных деформаций. На ее основе создается целый ряд специализированных приборов для геотехнического и строительного мониторинга.

Инклинометрические датчики применяются для измерения угла наклона или изменения положения конструкции относительно вертикали. Струнные экстензометры предназначены для измерения относительного смещения между двумя или несколькими точками конструкции или массива грунта. Пьезометрические датчики на основе вибрирующей струны используются для измерения давления жидкости или порового давления в грунтах.

Модульные конструкции

Современные струнные датчики часто изготавливаются в модульном исполнении, что делает их универсальными для разных условий эксплуатации. Конструкция может включать сменные измерительные модули, кабельные соединения, защитные корпуса и элементы крепления, позволяющие адаптировать систему под конкретный объект. В зависимости от задачи датчики могут устанавливаться в скважинах, на поверхности сооружений, внутри строительных конструкций.

Преимущества и ограничения

Одним из главных преимуществ струнных датчиков считается их длительный срок службы. Это связано с тем, что измерение основано на частоте колебаний струны, которая является физически устойчивым параметром и слабо подвержена дрейфу со временем.

Еще одним важным достоинством является высокая устойчивость к электромагнитным помехам. Измерение в таких датчиках выполняется на основе частоты колебаний, а не уровня напряжения или сопротивления. Это делает систему менее чувствительной к внешним электрическим воздействиям.

Однако несмотря на высокую надежность, струнные модели имеют определенные ограничения по чувствительности. В некоторых случаях для регистрации очень малых деформаций могут потребоваться дополнительные методы измерения или более специализированные датчики. Кроме того, на частоту колебаний струны влияет температура окружающей среды. Изменение градуса приводит к тепловому расширению элементов датчика и изменению натяжения, что может отражаться на показаниях.

Также для корректной работы струнного датчика важно обеспечить правильную предварительную натяжку измерительной струны. Если натяжение задано неправильно, это может снизить точность измерений или уменьшить рабочий диапазон.

Важна и правильная механическая интеграция датчика в конструкцию. Он должен быть установлен таким образом, чтобы деформация объекта передавалась на измерительный элемент без искажений.

Области применения

Струнные датчики деформации широко используются в различных сферах:

- мосты и инженерные конструкции — для контроля растяжения вант, состояния опор, балок и пролетных строений;
- промышленные объекты — для мониторинга различных сооружений, рассчитанных на многолетнюю работу;

- геотехнический мониторинг — для наблюдения за поведением грунтовых массивов, фундаментов зданий и сооружений;
- подземные сооружения — устанавливаются в тоннелях, шахтах и подземных камерах и помогают контролировать смещения пород, осадку конструкций и возможные изменения геометрии объектов;
- гидротехнические объекты — используются на плотинах, дамбах и водохранилищах и позволяют отслеживать деформации, напряжения и появление трещин в теле сооружений, а также осадки, смещения и крены откосов, вибрации от внешних и внутренних воздействий.

Эксплуатация и обслуживание

Для поддержания корректной работы системы мониторинга рекомендуется проводить периодические проверки оборудования. Они включают анализ стабильности показаний, проверку целостности кабельных линий, состояния креплений и герметичности корпуса датчика. Также оборудование должно проходить обязательные поверочные мероприятия в соответствии с методикой поверки на данный измерительный прибор с периодичностью, указанной в описании на данный тип средства измерения.

При длительной работе на объектах рекомендуется выполнять плановые проверки измерительных цепей и при необходимости проводить замену отдельных элементов системы. Частота их проведения зависит от условий эксплуатации, уровня нагрузки на конструкцию и требований проекта мониторинга.

Датчики деформации ISSO

[Струнные датчики деформации ISSO](#) являются собственной разработкой и относятся к фирменной линейке измерительного оборудования компании НТЦ «КСМ». Данные приборы внесены в государственный реестр средств измерений.

Струнные датчики деформации ISSO применяются в системах мониторинга инженерных конструкций благодаря своей надежности, устойчивости к внешним воздействиям и стабильности измерений при длительной эксплуатации. К их основным преимуществам относятся:

- частотный принцип работы позволяет фиксировать даже небольшие изменения деформации конструкции с минимальными погрешностями;
- параметры измерений сохраняются на протяжении многих лет;
- передача информации в виде частоты делает систему менее чувствительной к внешним электрическим воздействиям и промышленным помехам;
- датчики способны работать при перепадах температуры, повышенной влажности и механических нагрузках;
- датчики ISSO изготавливаются из специального сплава и дополнительно обрабатываются защитным составом, благодаря чему они устойчивы к коррозии;
- датчики могут интегрироваться в современные системы сбора и обработки данных для непрерывного контроля состояния объектов.

Кейс и практический пример

Практическое применение систем мониторинга на основе струнных датчиков хорошо видно на крупных инфраструктурных проектах. Одним из таких примеров является [внедрение системы контроля на мостовом переходе через реку Обь в районе Сургута](#), которое осуществлялось нашей компанией НТЦ «КСМ».

Реализация подобных проектов напрямую связана с требованиями нормативной базы. В частности, согласно ГОСТ Р 22.1.13-2013, ряд объектов транспортной и инженерной инфраструктуры должен оснащаться структурированными системами мониторинга и управления для предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Такие системы позволяют своевременно выявлять отклонения в работе конструкций и снижать риски аварий. Рассматриваемый мостовой переход относится к числу объектов, для которых внедрение подобных решений является необходимым элементом обеспечения безопасности.

В рамках реализации проекта наша компания НТЦ «КСМ» выполняла полный комплекс работ. Специалисты разрабатывали рабочую и исполнительную документацию, обеспечивали поставку оборудования вместе с программным обеспечением, а также проводили строительные-монтажные и пусконаладочные работы. Такой подход позволил создать единую интегрированную систему наблюдения за состоянием объекта и обеспечить корректное взаимодействие всех ее элементов.

На объекте были внедрены сразу несколько технологических систем, каждая из которых отвечает за отдельный аспект эксплуатации мостового перехода. В частности, были реализованы:

- автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД);
- система мониторинга инженерных конструкций (СМИК);
- система навигационной сигнализации;
- комплекс средств транспортной безопасности.

Центральным элементом системы наблюдения стала СМИК — система мониторинга инженерных конструкций. Ее задача заключается в непрерывном контроле состояния несущих элементов моста и отслеживании возможных изменений параметров конструкции в процессе эксплуатации.

В состав измерительного комплекса вошло несколько типов датчиков:

- струнные (вибрационные тензометры);
- температурные;
- двухосевые инклинометры;
- акселерометры;
- датчики перемещения;
- анемометрическая станция для контроля ветровой нагрузки.

Все данные, полученные с датчиков, передаются в специализированную интеллектуальную платформу мониторинга. ПО выполняет обработку информации, формирует архив измерений и обеспечивает визуализацию параметров работы объекта. Система также может автоматически фиксировать отклонения от нормативных значений и формировать предупреждения для обслуживающего персонала.

Использование подобного комплекса мониторинга позволяет получать объективную информацию о состоянии мостового сооружения на протяжении всего срока его эксплуатации. Это дает возможность своевременно выявлять изменения в поведении конструкции, планировать техническое обслуживание и повышать общий уровень безопасности транспортной инфраструктуры.

Заключение

Струнные датчики деформации — надежный инструмент для длительного контроля мостов, тоннелей и промышленных объектов. Они точно фиксируют изменения конструкции и устойчивы к внешним воздействиям. При выборе важно учитывать диапазон измерений, условия эксплуатации и совместимость с системой мониторинга. Правильная установка и интеграция датчиков повышают безопасность, упрощают обслуживание и увеличивают срок службы сооружений.