

**Модель Серии 4000
(включая 4050)**

Вибрационные струнные тензометры
Инструкция по эксплуатации



GEOKON®

©2019, GEOKON. All rights reserved.
Document Revision: EE | Release date: 5/31/19



ПОЛОЖЕНИЕ О ГАРАНТИИ

Компания Geokon, Inc. предоставляет гарантию на отсутствие дефектов материалов и производственных дефектов при нормальной эксплуатации устройства в течение 13 месяцев с даты приобретения. В случае неисправности устройства его следует вернуть на завод для проведения экспертизы, стоимость перевозки должна быть оплачена до отправки. После проверки компанией Geokon, если будет установлено, что устройство дефектное, оно будет бесплатно отремонтировано или заменено. Однако, ГАРАНТИЯ считается УТРАТИВШЕЙ СИЛУ, если будут выявлены признаки неправильного использования, или оно было повреждено в результате избыточной коррозии или избыточного тока, тепла, влаги или вибрации, непригодных технических характеристик, неправильного применения или использования, или других условий эксплуатации, находящихся вне контроля компании Geokon. Гарантия не распространяется на компоненты устройства, которые изношены или повреждены в результате неправильного использования. Это относится к предохранителям и батареям.

Компания Geokon выпускает научные приборы, неправильное использование которых может быть опасно. Такие приборы должны устанавливаться и эксплуатироваться только персоналом с надлежащей квалификацией. Других гарантий, кроме указанной в данном документе, не предусмотрено. Также отсутствуют и другие гарантии, выраженные явно или подразумеваемые, в том числе и подразумеваемые гарантии товарного состояния и пригодности для использования по назначению. Компания Geokon не несет ответственность за какие-либо повреждения или ущерб, причиненный другому оборудованию, прямой, косвенный, случайный, специальный или являющийся следствием, который покупатель может понести в результате установки или использования изделия. Единственное средство правовой защиты покупателя за любое нарушение данного соглашения компанией Geokon или нарушение любой гарантии компанией Geokon не должно превышать цену покупки, уплаченную покупателем компании Geokon за изделие или изделия, или оборудование, на которое непосредственно повлияло такое нарушение. Ни при каких обстоятельствах компания Geokon не возместит заявителю претензии потери, понесенные при перемещении и/или повторном монтаже оборудования.

При подготовке инструкций и/или программного обеспечения были предприняты все меры для обеспечения точности, тем не менее, компания Geokon, Inc не несет ответственность ни за какие-либо упущения или ошибки, которые могут появиться, ни за повреждения или ущерб, который появился в результате использования изделия в соответствии с информацией, содержащейся в инструкции по эксплуатации или в программном обеспечении.

Никакая часть данной инструкции по эксплуатации никоим образом не может быть воспроизведена без письменного согласия компании Geokon, Inc. Подразумевается, что информация, содержащаяся в данном документе, является точной и надежной. Тем не менее, компания Geokon, Inc. не несет ответственность за ошибки, упущение и неправильное истолкование. Данная информация может быть изменена без уведомления.

1. Введение

Вибрационный струнный тензометр производства компании Geokon модели 4000 в основном предназначен для проведения измерения деформаций (напряжений) в элементах стальных конструкций, как например, облицовка туннелей, своды, распорки, сваи, шпунтовые сваи и так далее. Также эти устройства могут использоваться для мониторинга изменения деформаций (напряжений) на бетонных поверхностях и поверхностях породы. Подсоединение к стальным поверхностям осуществляется с помощью присоединения монтажного блока к поверхности посредством дуговой сварки; для других поверхностей потребуются специальные монтажные блоки с анкерами из арматурного прутка, которые залиты цементом в скважинах. Деформация (напряжение) измеряется при использовании метода вибрирующей струны. Стальная струна натягивается между двумя монтажными блоками, приваренными к исследуемой стальной поверхности. Деформации поверхности приведут к тому, что оба монтажных блока будут двигаться относительно друг друга, изменяя при этом натяжение стальной струны. Изменения в натяжении измеряется как изменение резонансной частоты вибрации струны.

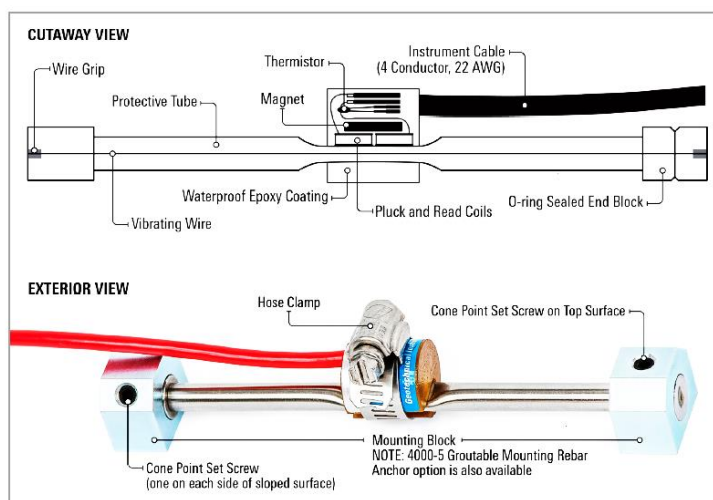


Рисунок 1: Вибрационный струнный тензометр Модели 4000

Cutaway view =	Вид в разрезе	Wire grip =	Зажим для струны	Thermistor =	Термистор
Instrument cable (4 conductor, 22 AWG) =	Приборный кабель (4-жильный, 22 AWG)	Protective tube =	Защитная трубка	Magnet =	Магнит
Vibrating wire =	Вибрирующая струна	Waterproof epoxy coating =	Водостойкое эпоксидное покрытие	Pick and read coils =	Воспринимающая катушка и катушка считывания
O-ring sealed end block =	Кольцевая уплотняющая торцевая заглушка	Exterior view =	Внешний вид	Hose clamp =	Хомут
Cone point set screw on top surface =	Установочный винт с коническим концом на верхней поверхности	Cone point set screw (one on each side of sloped surface) =	Установочный винт с коническим концом (по одному с каждой стороны наклонной поверхности)	Mounting block. NOTE: 4000-5 groutable mounting rebar anchor option is available =	Монтажный блок. ПРИМЕЧАНИЕ: имеется опция монтажного анкера из арматурного прутка заливаемого цементным раствором.

Две катушки, одна с магнитной вставкой, другая со вставкой пластины электрода расположены близко к вибрирующей струне. Во время использования импульс изменяющейся частоты (качающейся частоты) подается на катушки, что заставляет струну вибрировать в основном на ее резонансной частоте.

В компании GEOKON имеются в наличии считывающие устройства и регистраторы данных. Такие устройства при использовании вместе с вибрационными струнными тензометрами обеспечат импульсы необходимого напряжения для дерганья струны. Во время вибрации в катушках наводится синусоидальный сигнал, который передается на считывающее устройство, где он обрабатывается и отображается.

Данная инструкция по эксплуатации содержит инструкции по установке, инструкции по считыванию показаний, рекомендации по техническому обслуживанию, а также методы поиска и устранения неисправностей. Также приводится принцип работы измерительного устройства и некоторые рекомендации по интерпретации данных.

2. Предварительные проверки

Необходимо провести предварительные испытания до установки измерительного устройства на месте его эксплуатации. Для осуществления предварительных испытаний следует выполнить следующие шаги в соответствии с инструкциями в Разделе 6.

1. Подсоедините измерительное устройство (датчик) к считывающему устройству.
2. Наблюдайте за отображением считывания. Считанные данные должны находиться в районе середины шкалы, как определено в Таблице 1 на странице 18. Результаты считывания температуры должны соответствовать температуре окружающей среды.
3. Осторожно потяните за концевые блоки измерительного устройства (датчика); убедитесь, что числа на считывающем устройстве увеличиваются при увеличении натяжения. **Не прикладывайте избыточного натяжения (более 10 кгм), так как это может привести к повреждению вибрирующей струны.**

С помощью омметра проверьте целостность электрической цепи. Сопротивление между выводами измерительного устройства (обычно красный и черный) должно примерно составлять 180 Ом (50 Ом для Модели 4050). Не забудьте добавить сопротивление кабеля, которое примерно составляет 48.5 Ом на км) многожильных медных выводов 22 AWG при 20°C. Чтобы учесть оба направления следует умножить этот показатель на 2. Сопротивление между выводами термистора (обычно зеленый и белый) изменяется в зависимости от температуры, смотрите Таблицу 5 на странице 29. Сопротивление между любым проводником и экраном должно превышать 2 МОм. В случае провала любой предварительной проверки следует обратиться в раздел 8 «Поиск и устранение неисправностей».

3. Установка измерительного устройства (датчика)

3.1. Подсоединение монтажных блоков.

Вибрационные струнные тензометры компании GEOKON удерживаются на месте использования с помощью двух монтажных блоков. Компания GEOKON может предоставить монтажные блоки, распределительные арматурные стержни и монтажные приспособления/фиксаторы для различных типов измерительных устройств (датчиков) и типов установок.

Соберите монтажные блоки на распределительном арматурном стержне следующим образом:

1. Установите два монтажных блока сверху на торцах распределительного арматурного стержня.
2. Разместите монтажные блоки и распределительный арматурный стержень на монтажном приспособлении.

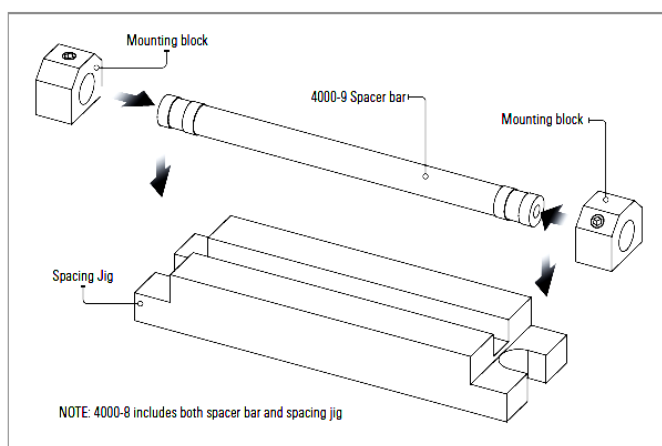


Рисунок 2: Монтажное приспособление

Mounting block =	Монтажный блок	Spacer bar =	Распределительные арматурный стержень	Spacing jig =	Монтажное приспособление
NOTE: 4000-8 includes both spacer bar and spacing jig =		ПРИМЕЧАНИЕ: версия 4000-8 включает в себя и распределительные арматурный стержень, и монтажное приспособление			

3. Затяните установочные винты в монтажных блоках до распределительного арматурного стержня, чтобы он не проскальзывал. Не перестарайтесь с затягиванием, так как избыточное затягивание может повредить распределительный арматурный стержень.
4. Уберите законченный узел распределительного арматурного стержня с монтажными блоками с монтажного приспособления.

3.2. Установка на стальные поверхности

3.2.1. Сварка

Как только установлено верное размещение монтажных блоков при использовании монтажного приспособления, монтажные блоки можно приварить к стальной поверхности следующим образом:

1. Очистите сталь с помощью проволочной щетки, удалите весь нагар, ржавчину, грязь и масло.
2. Используя распределительный стержень в качестве ручки, крепко прижмите монтажные блоки к стальной поверхности.
3. Приварите края монтажных блоков в порядке, как показано на следующем рисунке.

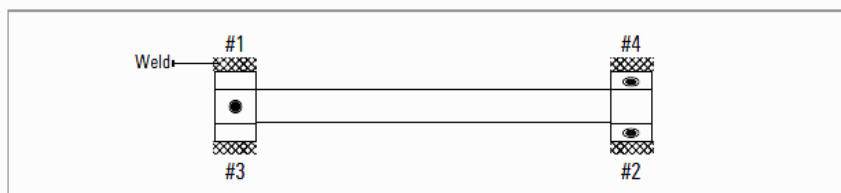


Рисунок 3: Последовательность сварки для монтажных блоков

Weld = сварочный шов

При сварке следует избегать избыточного тепла. **Не приваривайте торцевые поверхности монтажных блоков;** это может помешать убрать распределительный арматурный стержень. Следует также избегать разбрызгивания при сварке, сварочные брызги могут прилипнуть к распределительному арматурному стержню. При установке нескольких измерительных устройств (датчиков) хорошо иметь в наличии более одного распределительного арматурного стержня.

После сварки следует охладить монтажные блоки с помощью пропитанной водой тряпки, затем ослабить установочные винты и сдвинуть распределительный арматурный стержень. Необходимо удалить всю сварочную окалину с помощью молотка для удаления шлака и проволоочной щетки.

Опционально: Покрасьте поверхность для повышения коррозионной стойкости.

Продолжайте установку, перехода к разделу 3.5.

3.2.2. Установка на вбитых стальных сваях.

Тензометры, смонтированные на стальных сваях, необходимо защитить от соскабливания во время забивания свая в грунт. Это можно достичь с помощью приваривания швеллерного профиля 101 x 38 мм или 64 мм, или более крупной уголкового стали над верхней частью измерительных устройств и кабелей. Смотрите рисунок, приведенный ниже.

Для того, чтобы избежать пережигания кабелей, **следует приварить защиту до установки измерительных устройств (датчиков) и кабелей.** Для этого следует оставить окошки на стали над местом расположения измерительных устройств. **Не обязательно использовать непрерывные сварочные швы, достаточно использовать прихваточные швы, при условии, что такая сварка прочно удерживает уголки или швеллеры на их месте.**

Кабели должны удерживаться приварными шпильками через трехметровые интервалы, к которым, затем кабели могут быть привязаны.

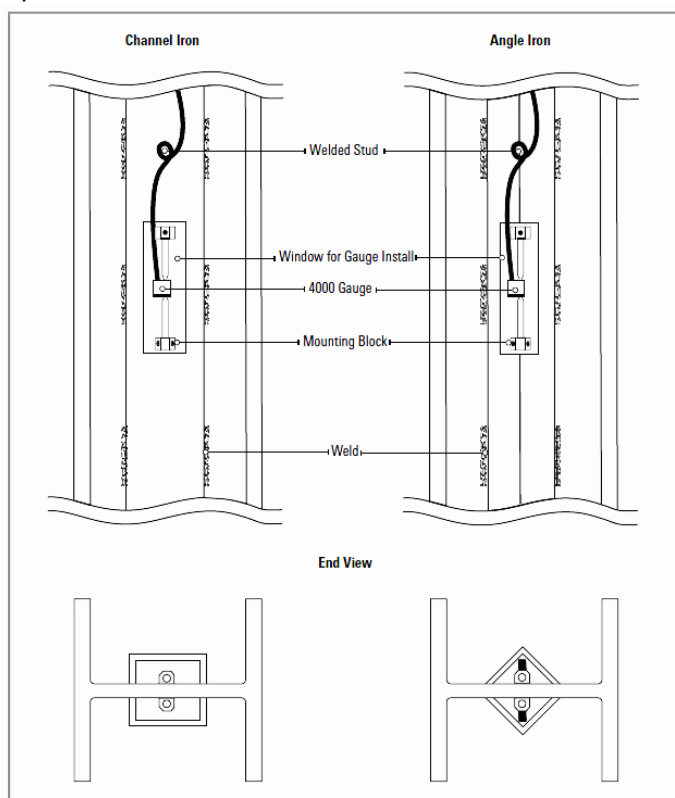


Рисунок 4 Защита вбитых свай

Channel iron =	Швеллерный профиль	Angle iron =	Уголок	Welded stud =	Приварная шпилька
Window for gauge installation =	Окошко для установки измерительного устройства	4000 gauge =	Измерительное устройство модели 4000	Mounting block =	Монтажный блок
Weld = сварочный шов		End view =	Вид с торца		

Для того, чтобы воспрепятствовать повреждениям от ударов во время забивания следует соблюдать нижеследующие дополнительные меры предосторожности:

- Установите монтажный блок, у которого имеется одиночный установочный винт в верхнем положении;
- Туго затяните установочные винты, удерживающие измерительное устройство (датчик) в монтажном блоке. На резьбе используйте Loctite (жидкий фиксатор резьбовых соединений);
- Приклейте катушку на плоскую зону трубки измерительного устройства. (Используйте любой цианоакриловый клей, например, Eastman 910 или Crazy Glue). Убедитесь в том, что сторона кабеля катушки обращена в сторону верхней части сваи, то есть, в сторону торца измерительного устройства (датчика) с V-образным пазом.
- В качестве дополнительной меры предосторожности при установке туго затяните хомут шланга, который удерживает катушку на измерительном устройстве, для затягивания используйте гаечный ключ.
- При настройке измерительных устройств убедитесь, что в положении С показания около 3500.

Это очень важно.

Продолжайте установку переходя к Разделу 3.5. После того, как установлены измерительные устройства (датчики), загерметизируйте окошки, приваривая сегменты соответствующего материала над окошком.

3.3. Установка с использованием эпокси-цемента.

Тензометры GEOKON можно приклеить эпоксидным клеем к стальной или бетонной поверхности, при условии строго соблюдения двух нижеследующих факторов:

1. Следует тщательно очистить присоединяемые поверхности.
2. Для надлежащего высыхания эпоксидного клея и присоединения измерительных устройств (жатчиков) к монтажным блокам требуется достаточное время.

Примечание: Вследствие большого количества переменных относящихся к использованию клеящих материалов (температурные режимы, воздействие ультрафиолетового излучения, вибрации, удары, влажность, коррозия стальной основы, и так далее) использование эпокси-цемента рекомендовано только целей краткосрочного мониторинга.

3.3.1. Бетонные поверхности.

Требуемые материалы:

- Devcon Underwater Putty (порошок для подводных работ), Mfg. Part# 11800 — GEOKON Part# 6201-2
 - Loctite 410 Instant Adhesive (моментальный клей), Mfg. Part# 41045 — GEOKON Part# 4000-15
1. Смешайте количество двухкомпонентного порошка для подводных работ. Соотношение компонентов в смеси 1/1.
 2. Зачистите и/или отшлифуйте поверхности, которые надо соединить. (Это включает в себя поверхности бетона и торцевую поверхность блока).
 3. Очистите поверхности сжатым воздухом или аэрозольным очистителем.
 4. Прикрепите монтажные блоки к распределительному арматурному стержню в соответствии с инструкциями в разделе 3.1.
 5. Нанесите тонкий слой смеси порошка для подводных работ на две трети центральной части монтажного блока и нанесите тонкий слой моментального клея 410 на внешние края монтажных блоков (смотрите на рисунок, приведенный ниже).

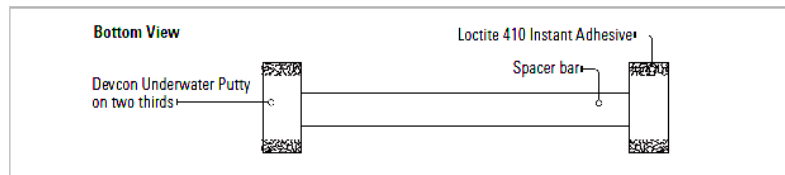


Рисунок 5: Установка с использованием эпоксидного клея.

Bottom view =	Вид снизу	Loctite 410 Instant Adhesive =	Моментальный клей Loctite 410
Spacer bar =	Распределительный арматурный стержень	Devcon Underwater Putty on two thirds =	Порошок для подводных работ Devcon на 2/3

6. Крепко прижмите этот узел к поверхности и удерживайте на месте в течение двух минут.
7. Аккуратно уберите стержень из монтажных блоков.
8. Время отверждения до установки измерительных устройств составляет 24 часа.
9. Продолжайте установку переходя к разделу 3.5.

3.3.2. Стальные поверхности

Используйте Loctite Speedbonder H4500. Его можно приобрести в виде картриджа, который автоматически дозирует двухкомпонентный клей в правильной смеси 10/1. (Клей, дозатор и насадки-сопла имеются в наличии в компании GEOKON).

Клей достигает своей максимальной прочности в течение 10 минут, в течение этого времени монтажные блоки должны прижиматься к поверхности рукой, каким-либо весом или магнитами. Продолжайте установку переходя к разделу 3.5.

3.4. Установка на бетонные поверхности с помощью анкерных болтов.

Деформации (напряжения) в поверхности бетона можно измерить, используя специальные монтажные блоки, имеющие арматурный стержень, приваренный к ним (модель GEOKON 4000-5). Прикрепление тензометров к бетонной поверхности происходит следующим образом:

1. Просверлите два 64 мм глубоких отверстия в бетоне на соответствующем расстоянии, используя как минимум 13 мм буровую головку. (Шаблон имеется в наличии, модель GEOKON 4000-11).
2. Подсоедините монтажные блоки к распределительному арматурному стержню, используя разделительный блок (смотрите раздел 3.1).
3. Зацементируйте арматурные стержни в отверстиях, используя быстро схватывающий гидравлический цемент или высокопрочный эпоксид. Хорошо работает красный эпоксид типа Epcon Ceramic
4. После затвердения цементного раствора продолжайте установку, переходя к разделу 3.5.

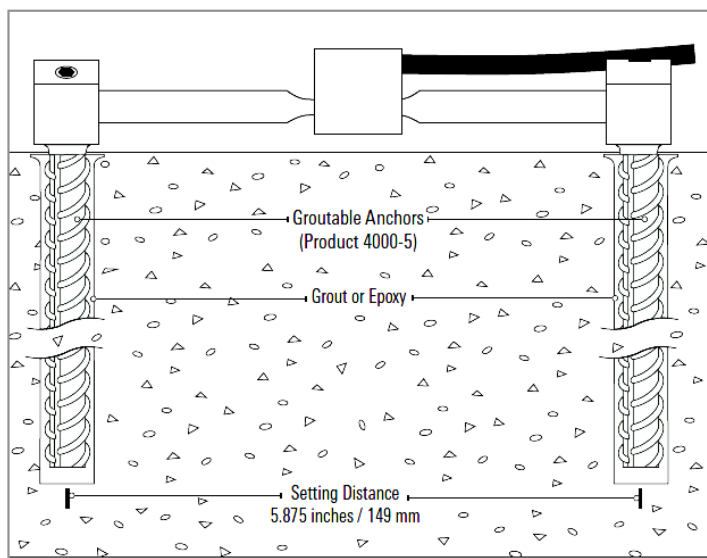


Рисунок 6: Установка на бетон при использовании заливаемых цементным раствором анкерных стержней.

Groutable anchors (Product 4000-5) =	Цементируемые анкера (Изделий 4000-5)	Grout or epoxy =	Цементный раствор или эпоксид	Setting distance 149 mm =	Установочный размер 149 мм
--------------------------------------	---------------------------------------	------------------	-------------------------------	---------------------------	----------------------------

3.5. Установка и настройка тензометра

Смонтируйте тензометр следующим образом:

1. Сдвиньте тензометр через монтажные блоки. Торец измерительного устройства (датчика), на котором есть V-образный паз входит внутрь монтажного блока, у которого только один установочный винт; гладкий торец входит внутрь монтажного блока с двумя установочными винтами.
2. Хорошо затяните установочный винт на монтажном блоке с одним установочным винтом.
3. Продвиньте паз в узле катушки (расположенный на конце приборного кабеля) над узким центром измерительного устройства (датчика).
4. Подсоедините измерительное устройство к считывающему устройству с помощью инструкций в разделе 6.
5. Отрегулируйте считывания, толкая или вытягивая свободный конец тензометра.
6. Установите начальное считывание измерительного устройства (датчика) на корректный уровень в зависимости от ожидания деформации сжатия или растяжения. Тензометры отгружаются со считыванием примерно от 3000 до 3500 микрострейн. Такой уровень хорошо подходит для деформаций сжатия. Если необходимо измерить деформации растяжения. Следует установить начальное считывание около 1500 микрострейн. Пригодный для использования диапазон тензометров примерно равен от 1000 до 4000 микрострейн. Среднее показание составляет 2500 микрострейн.
7. При достижении желаемого показания туго затяните установочные винты в монтажном блоке с двумя установочными винтами.
8. Установите хомут над этим узлом и затяните с помощью гаечного ключа.
9. Для того, чтобы убрать какие-либо напряжения (деформации) при установке и стабилизировать начальное показание, постучите по монтажным блокам твердым пластмассовым инструментом, например, ручкой отвертки. Продолжайте постукивание до тех пор, пока считывание не станет стабильным.

Крайне необходимо получить точные начальные показания для каждого тензометра, так как эти показания будут использоваться в последующей обработке данных.

Предпочтительно устанавливать измерительные устройства (датчики) на стальные элементы, пока они еще не находятся под нагрузкой, то есть, до их установки в конструкцию. Когда начальное нулевое показание устанавливается таким образом, начальные показания соответствуют **нулевой нагрузке**, в противном случае, если элемент находится под нагрузкой, то начальные показания будут соответствовать какому-то неизвестному уровню нагрузки.

Избегайте избыточных манипуляций с измерительным устройством (датчиком) до взятия нулевых показаний. Всегда надо обеспечивать достаточное время для стабилизации температуры измерительного устройства перед тем, как снимать показания. Следует записывать температуру каждый раз, когда снимаете показания, а также записывать информацию об активности конструкции, происходящий в момент снятия показаний. Эти данные должны предоставлять логические обоснования для наблюдаемых изменений в показаниях. (Смотрите также Приложения Д и Е).

Каждый тензометр оснащен термистором, заключенным в оболочку вместе с **возбуждающей струну катушкой**.

Считывающие устройства компании GEOKON отображают температуру сразу в градусах Цельсия. Также можно использовать омметр. (Соотношения между сопротивлением и температурой приведены в Приложении В).

4. Защита измерительного устройства (датчика)

4.1. Защита от механических повреждений при использовании модели 4000-6 компании GEOKON

В компании GEOKON имеются в наличии специальные закрывающие пластины, изготовленные из стали, сформованной в виде желоба.

Для установки закрывающих пластин следует использовать крепежные приспособления:

1. Приварите два шестигранных болта 9,5 x 51 мм на их месте головкой вниз. Болты должны располагаться отдельно на номинальном расстоянии 530 мм. В компании GEOKON имеются в наличии монтажные приспособления (фиксаторы), или закрывающую пластину можно перевернуть на ее обратную сторону, и отверстия в закрывающей пластине можно будет использовать для того, чтобы отметить расположение болтов. Одно отверстие в закрывающей пластине прорезано таким образом, что расположение (расстояние друг от друга) не является критичным. **Избегайте выполнять сварку рядом с измерительным устройством (датчиком), так как это приведет к сильным локальным искажениям металла. Используйте специальный пистолет для приварки штифтов или дуговую сварку для приварки головки болта к поверхности.**
2. Поместите закрывающую крышку сверху над приваренными болтами.
3. Установите шайбы, затем гайки. Избегайте применять избыточную силу при затягивании стопорных гаек, так как это приведет к деформированию лежащей ниже стальной поверхности, что может в результате привести к сомнительным показаниям деформации (напряжений). На нижеприведенных рисунках показана законченная установка.

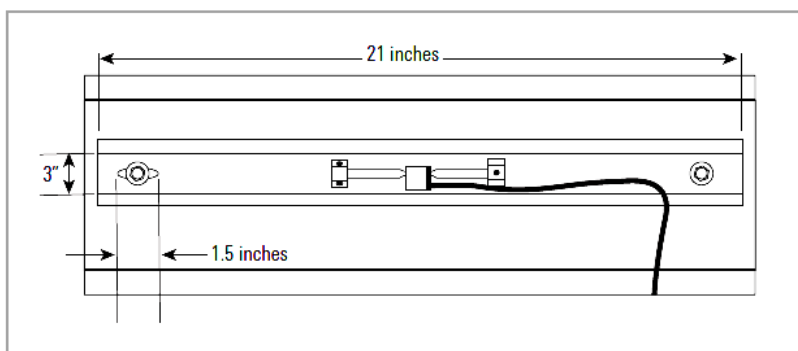


Рисунок 7: Установка закрывающей плиты. Вид сверху.
inches = дюймы

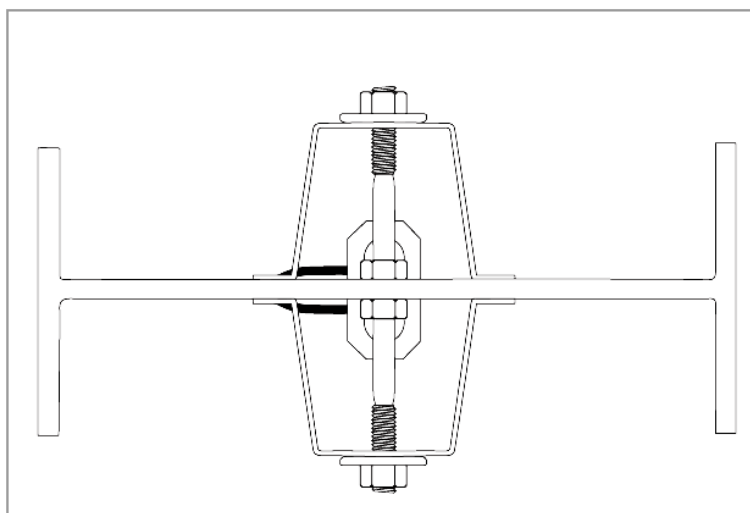


Рисунок 8: Установка закрывающей плиты. Вид сбоку.

4.2. Защита от прямого солнечного света и быстрых изменений температуры окружающей среды.

Тепловой коэффициент расширения стальной вибрирующей струны внутри измерительного устройства (датчика) такой же, как и для стали элемента конструкции, к которой присоединено измерительное устройство (датчик); **поэтому не требуется температурных поправок к измеренной деформации (напряжению) при вычислении деформации (напряжений/), вызванных нагрузкой.** Однако, это справедливо, если струна и нижележащая стальная конструкция имеют одну и ту же температуру. Если на измерительное устройство (датчик) непосредственно попадает солнечный свет, это может повысить температуру струны выше температуры окружающей стали и вызвать существенные изменения в наблюдаемой деформации (напряжении). **Поэтому, всегда необходимо закрывать тензометры, чтобы избежать прямого воздействия солнечного света.** Лучше всего защищать измерительные устройства (датчики) от изменений температуры, закрывая их слоем изоляционного материала, например, пенополистиролом или стеклопластиком.

4.3. Защита кабелей и соединений

Кабель следует защитить от случайного повреждения, вызванного перемещением оборудования или осколками породы после взрывания. Лучше всего поместить кабель внутри гибкого кабелепровода и разместить этот кабелепровод в самом безопасном месте. (В компании GEOKON имеется в наличии гибкий кабелепровод). Кабелепровод можно подсоединить посредством соединителей перегородок кабелепровода к закрывающим пластинам, а затем к считывающему устройству. (Закрывающие пластины компании GEOKON имеют удаляемую перегородку, которая после ее удаления предоставляет отверстие для подсоединения соединителя кабелепровода).

4.4. Сращивание и оконцовка кабеля.

В компании GEOKON имеются в наличии клемные коробки и герметичные кабельные вводы для всех видов применения. Это дает возможность подключения нескольких измерительных устройств (датчиков) в одном месте с полной защитой подводящих проводов. Внутренняя панель клемных коробок оснащена встроенными разъемами или одиночным соединителем с поворотным переключателем. В компании GEOKON можно получить дополнительную информацию о возможных применениях.

Так как выходной сигнал вибрирующей струны представлен частотой, а не током или напряжением, изменения сопротивления кабеля оказывают слабое влияние на показания измерительного устройства (датчика); поэтому, сращивание кабеля не оказывает отрицательного влияния, и в некоторых случаях может быть полезным. Кабель, используемый для сращивания, должен быть высококачественной витой парой, со 100% экранированием и со встроенным экранированным проводом заземления. **При сращивании очень важно, чтобы экранированные провода заземления сращивались вместе.**

Всегда следует соблюдать полярность соединяя цвет с цветом.

Наборы для сращивания, рекомендуемые компанией Geokon, включают в себя литые формы, которые помещаются вокруг сращивания, а затем заливаются эпоксидной смолой для обеспечения водонепроницаемости соединений. При надлежащем выполнении такой тип сращивания эквивалентен или даже лучше, чем просто кабель в отношении прочностных и электрических характеристик. Обратитесь в компанию Geokon за материалами для сращивания и дополнительными инструкциями по выполнению сращивания кабеля. Можно оконцевать кабель, защищая его и обслуживая отдельные проводники, а затем присоединяя их к патч-корду (коммутационному шнуру) устройства считывания. Также можно использовать разъем для непосредственного подключения к устройству считывания или разъему на патч-кокрде.

4.5. Защита от коррозии

Коррозии можно воспрепятствовать, применяя покрытие из антикоррозионной краски в точках сварки.

4.6. Молниезащита

В отличие от других типов приборов, имеющих в наличии в компании GEOKON, вибрационные струнные тензометры не оснащены какими-либо компонентами молниезащиты, как например, ограничителя напряжения или разрядники для защиты от атмосферных перенапряжений.

Предлагаемые опции молниезащиты:

- В компании GEOKON имеются в наличии платы молниеотводов и кожухи. Эти устройства устанавливаются там, где кабель выходит из конструкции, за которой осуществляется наблюдение. У кожуха имеется съемный верх, что дает возможность пользователю обслуживать компоненты или заменять плату в случае повреждения блока ударом молнии. Кожух подсоединен к заземлению для удаления переходных процессов с измерительного устройства (датчика). Смотрите нижеприведенный рисунок.
- Разрядник для защиты от перенапряжений можно залить эпоксидом в приборный кабель, поближе к датчику. Затем шина заземления подсоединяет разрядник для защиты от перенапряжения с заземлением, например, с колышком заземления или стальной конструкцией.

Дополнительную информацию об имеющихся в наличии средствах молниезащиты можно получить на заводе-изготовителе.

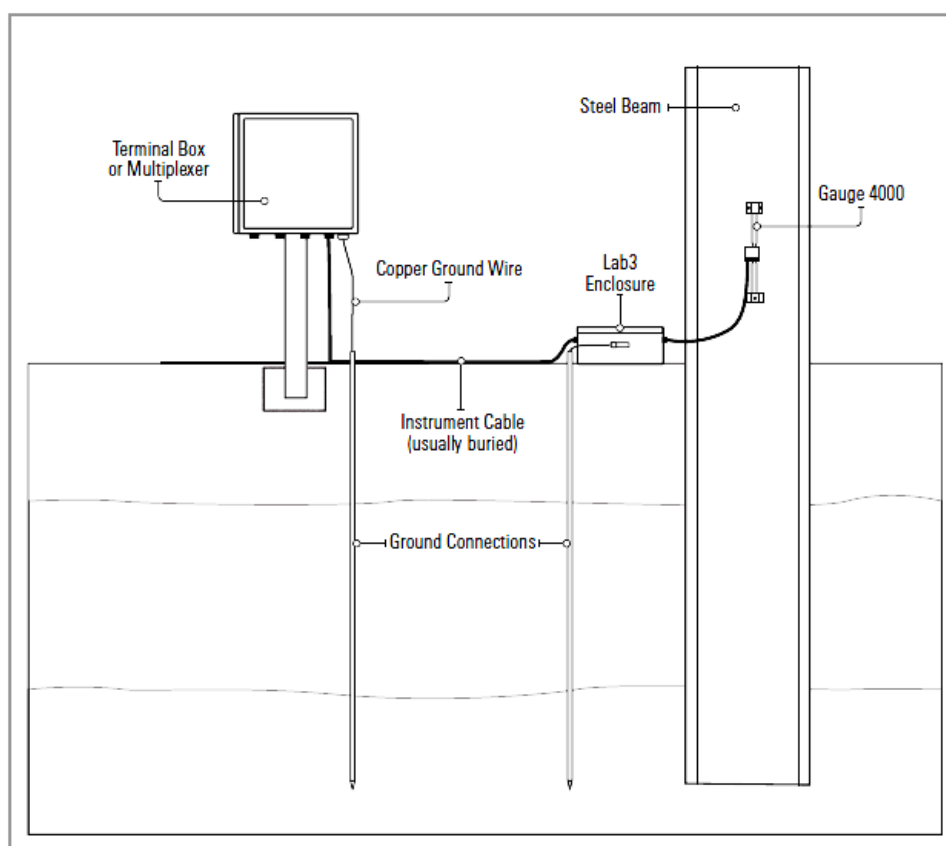


Рисунок 9: Схема молниезащиты

Terminal box or multiplexer =	Клемная коробка или мультиплексор	Steel beam =	Стальная балка	Gauge 4000 =	Измерительное устройство 4000
Copper ground wire =	Медный провод заземления	Lab 3 enclosure =	Кожух Lab 3	Instrument cable (usually buried) =	Приборный кабель (обычно скрытый)
Ground connections =	Соединения заземления				

5. Местоположение измерительного устройства (датчика)

5.1. Концевые эффекты

Для избегания концевых эффектов тензометры следует размещать вдали от концов распорок, где они могут подвергаться воздействию локализованного смещения от болтовых или зажимных креплений. Для большинства элементов конструкции достаточно расстояние в пять футов. Как вариант, концевые эффекты могут представлять некоторый интерес, так как они добавляются к эффектам, вызванным нагрузкой, и могут быть достаточно сильными, чтобы инициировать сбой на концах элементов конструкции, а не посередине.

5.2. Влияние сварки

Дуговая сварка вблизи измерительных устройств (датчиков) может быть причиной сильных деформаций (напряжений) в стальном элементе. Приваривание шпилек к направляющим сваям для поддержки обшивки, сетчатой арматуры торкрет бетона, и так далее, может вызвать большие изменения деформации (напряжения). Это также справедливо и для приваривания закрывающих пластин, защитных желобов, и так далее над измерительными устройствами и кабелями. Всегда следует снимать показания до и после дуговой сварки на стальной конструкции, чтобы можно было применить поправки к любым наблюдаемым сдвигам напряжения.

5.3. Изгибающие моменты

В случае стальной конструкции тензометр измеряет деформацию (напряжение) в одной точке на поверхности, и этого было бы достаточно, если бы можно было бы гарантировать отсутствие изгибания в элементе. На практике, это произойдет только около центра длинных тонких элементов, подверженных растягивающей нагрузке. В других местах **изгибающие моменты скорее правило, а не исключение**, и имеет место нейтральная ось, вокруг которой происходит изгибание.

Так как следует принимать в расчет влияние изгибания, то требуется более одного тензометра в каждом поперечном разрезе элемента конструкции. Для полного анализа требуется три измерительных устройства, а часто требуется еще больше. На распорке из круглой трубы три измерительных устройства, расположенные на расстоянии 120 градусов по окружности распорки, будут достаточны (смотрите Приложение Ж). На свае из двутаврового профиля или двутавровой балке потребуется, как минимум, четыре тензометра. На шпунтовой свае будет достаточно два измерительных устройства, установленных «спина к спине» по обе стороны сваи. В случаях, когда элемент конструкции подвержен изгибу и **доступна только фронтальная поверхность**, например, стальная облицовка туннеля или наружная часть шпунтовой сваи, изгибающие моменты можно измерить с помощью установки двух вибрационных струнных тензометров на различных расстояниях от нейтральной оси (смотрите Приложение 3). Рассмотрим пример двутавровой балки на рисунке, приведенном ниже.

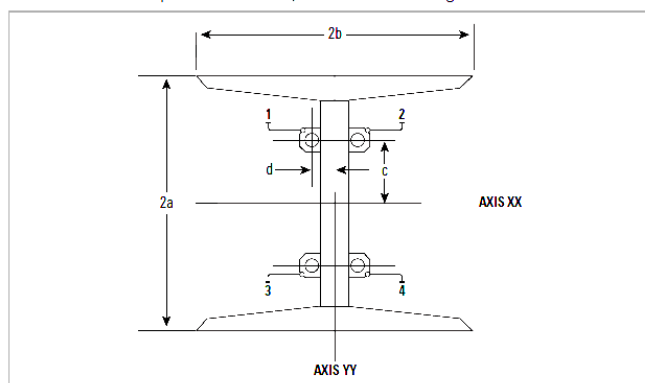


Рисунок 10: Тензометры, смонтированные на центральной стенке

AXIS XX = ось XX

AXIS YY = ось YY

Тензометры, смонтированные на центральной полке, могут измерять осевую деформацию, также, как и изгибающие моменты вокруг осей ХХ и УУ. В этой конфигурации четыре тензометра (1, 2, 3 и 4 на рисунке 10) приварены «спина к спине» попарно на центральной полке. Измерительные устройства (датчики) расположены на высоте (d) над центром полки (ось УУ) и на расстоянии (c). Ширина фланца двутавровой балки представлена 2b, а глубина полки представлена 2a.

Примечание: Данная конфигурация не рекомендована для сводов туннелей.

Осевая деформация задается усреднением показаний деформации (напряжения) от всех четырех тензометров и умножением на модуль, как показано в уравнении ниже:

$$\sigma_{axial} = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{4} \times E$$

Уравнение 1: Вычисление осевой деформации

Напряжение, вследствие изгиба, вычисляется рассмотрением разницы между парами измерительных устройств (датчиков), смонтированных на противоположных сторонах нейтральной оси. Таким образом, максимальное напряжение из-за изгиба вокруг оси УУ задается выражением:

$$\sigma_{yy} = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_3) - (\varepsilon_2 + \varepsilon_4)}{2} \times \frac{b}{d} \times E$$

Уравнение 2: Напряжение вследствие изгиба на оси УУ

Максимальное напряжение вследствие изгиба вокруг оси ХХ задается выражением:

$$\sigma_{xx} = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - (\varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{2} \times \frac{a}{c} \times E$$

Уравнение 3: Напряжение вследствие изгиба на оси ХХ

$$\sigma_{maximum} = \sigma_{axial} + \sigma_{xx} + \sigma_{yy}$$

Уравнение 4: Максимальное напряжение

Во всех этих вычислениях необходимо обращать внимание на знак напряжения. Положительное напряжение это - напряжение растяжения, а отрицательное – напряжение сжатия.

Отметим, что полное напряжение в любой точке поперечного сечения является алгебраической суммой напряжений изгиба и осевой деформации. **Деформация (напряжение) на внешних углах фланца могут значительно превышать деформацию (напряжение) измеренные на полке, и в этих точках может иметь место поломка секции.**

Кажется, что вышеприведенное соображение может привести к выводу (с точки зрения получения наилучшего измерения максимальных деформаций (напряжений), что идеальным местом для тензометров будут внешние углы фланцев, как показано на рисунке 11. Однако, при такой конфигурации затруднительно обеспечить защиту измерительных устройств (датчиков) и кабелей от случайных повреждений. К тому же, может появиться серьезная проблема из того факта, что **каждое из четырех измерительных устройств (датчиков) может быть подвержено воздействию изгибающих сил, которые могут оказывать влияния только на одно измерительное устройство (датчик), и не оказывать влияние на остальные.** Например, бывает, что сварка имеет место в точках рядом с тензометром; это часто приводит к сильным изменениям деформации (напряжения) в измерительном устройстве (датчике). Также бывает, что локальное блокирование (например, подпорки туннельных сводов) и дополнительные распорки являются причиной изменений деформаций (напряжений) на одиночном ближайшем измерительном устройстве (датчике).

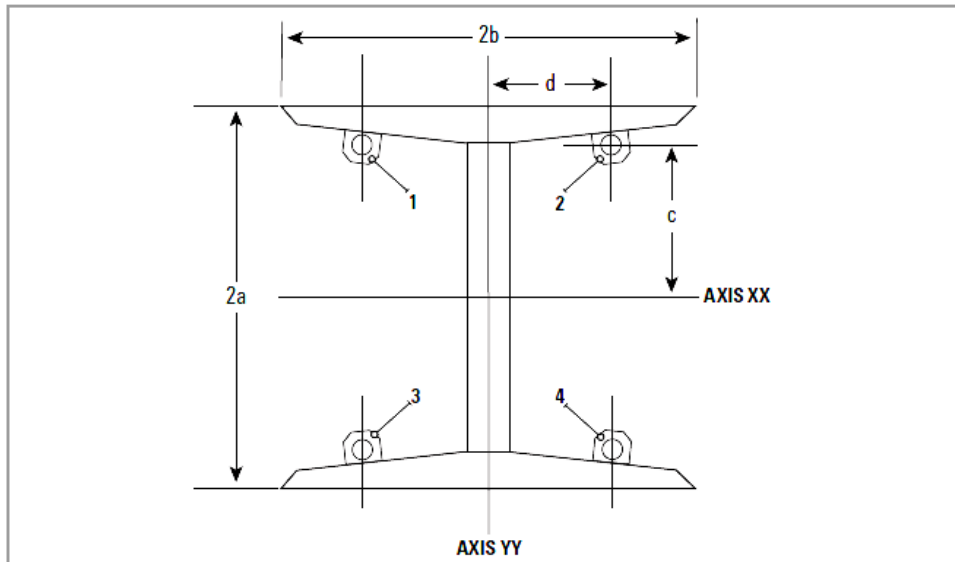


Рисунок 11: Тензометры, смонтированные на фланцах

AXIS XX = ось XX

AXIS YY = ось YY

Всегда лучше всего располагать измерительные устройства (датчики) попарно, по одному на каждой стороне нейтральной оси соответствующей секции двутавровой балки, к которой прикреплено измерительное устройство (датчик). Такой подход наряду с расположением измерительных устройств (датчиков) на полке упрощает их защиту, вот почему, конфигурация, показанная ранее на Рисунке 10 является предпочтительной.

Если по экономическим причинам решено, что должно использоваться только два тензометра на поперечное сечение, тогда можно использовать конфигурацию, показанную на рисунке 12. Такая конфигурация даст только осевые деформации и изгибающий момент только **вокруг меньшей оси YY**.

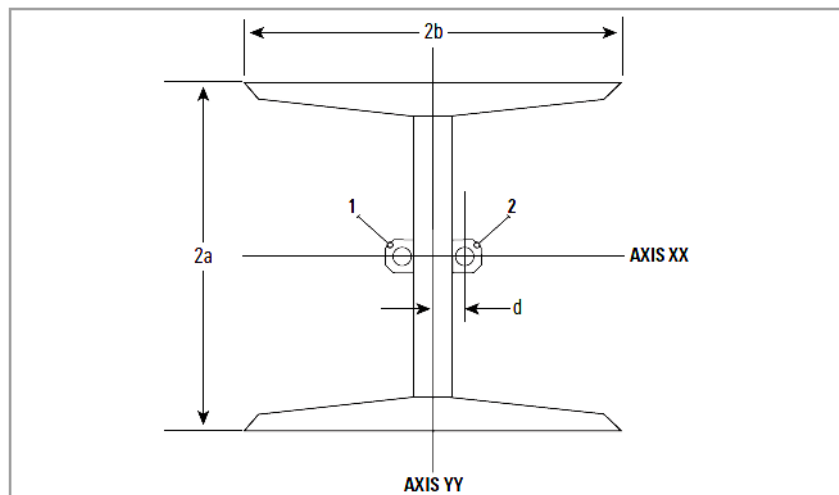


Рисунок 12: Измерение осевой деформации/изгибающего момента у оси YY

AXIS XX = ось XX

AXIS YY = ось YY

Эта конфигурация обеспечивает легкую защиту приборов и их кабелей. При необходимости в полке можно просверлить отверстие, чтобы кабель от одного измерительного устройства (датчика) можно было вывести на другую сторону и использовать один кабелепровод для защиты обоих кабелей. Еще одна возможная конфигурация с двумя измерительными устройствами (датчиками) показана на Рисунке 13.

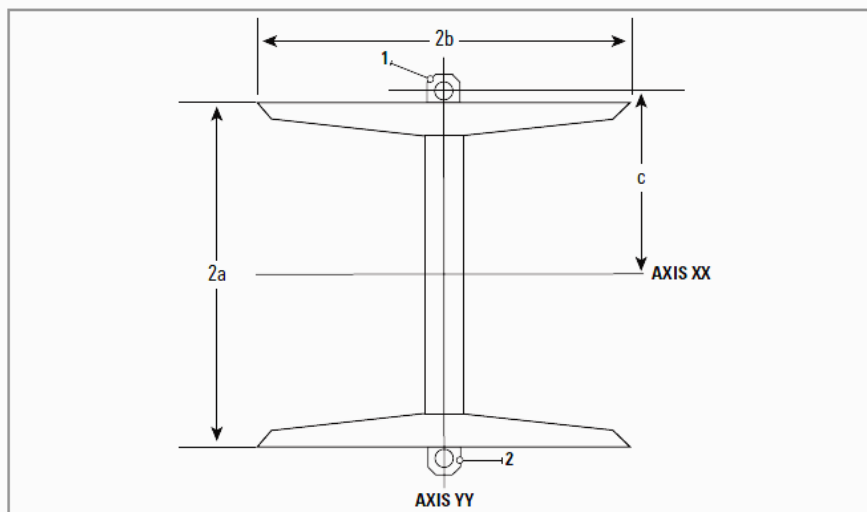


Рисунок 13: Осевая деформация и изгибающие моменты у оси XX

AXIS XX = ось XX

AXIS YY = ось YY

Эта конфигурация обеспечивает вычисление осевых деформация и изгибающего момент вокруг основной оси XX. Недостатком является то, что открытые позиции измерительных устройств (датчиков) с внешней стороны фланцев требуют более высокой степени защиты. Также локальное изгибание у одного из измерительных устройств (датчиков) может не ощущаться другим измерительным устройством (датчиком). Реальный пример такого поведения наблюдался при сварке на открытом фланце анкерной сваи вблизи с одним измерительным устройством (датчиком), сильные изменения напряжения (деформации) которого не ощущались другим измерительным устройством с обратной стороны сваи.

Конфигурация, показанная ниже на Рисунке 14, использовалась для обеспечения вычисления осевых деформация, а также измерения изгибающего момента вокруг основной оси XX. Однако, любое изгибание вокруг меньшей оси YY окажет некоторое влияние на показания. Более важно то, что имеется риск, что локальное изгибание будет воздействовать на одно измерительное устройство (датчик) при этом, не оказывая влияния на другое измерительное устройство (датчик). **Эта конфигурация не рекомендуется.**

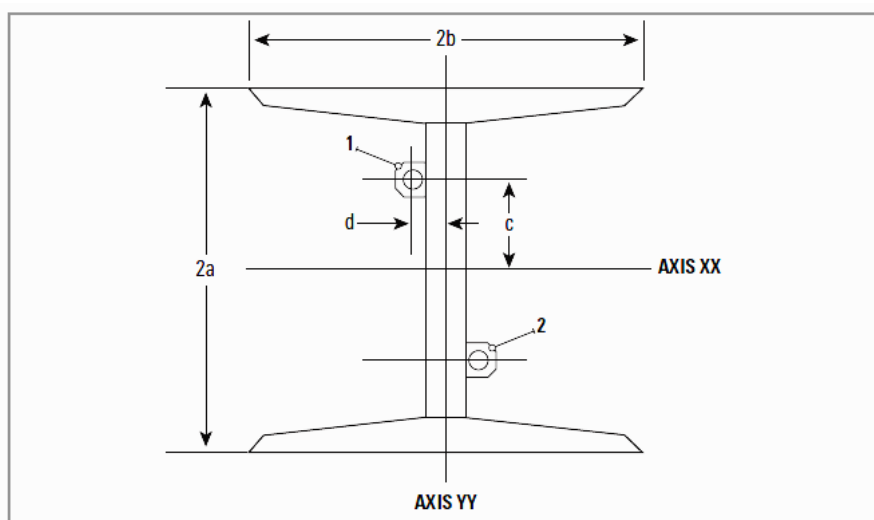


Рисунок 14: Осевая деформация и изгибающий момент у оси XX (НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ)

AXIS XX = ось XX

AXIS YY = ось YY

6. Снятие показаний

6.1. Положения считывающего устройства для тензометра

В нижеприведенной таблице приведена спецификация положений считывания для обоих тензометров.

Модель	4000	4050
Положение считывания	C	B
Единицы отображения	микрострейн (me)	Цифры (f2' 10-3)
Частотный диапазон	450 – 1250 Гц	1400 – 3200 Гц
Показания в середине диапазона	2500 me	6000 символов
Минимальные показания	1000 мкe	2000 символов
Максимальные показания	4000 мкe	10000 символов

Таблица 1: Положения считывания с тензометра

6.2. Измерительный блок GK-404

Измерительный блок для считывания показаний с вибрационного струнного измерительного устройства модели GK-404 представляет собой портативное, энергосберегающее устройство, которое может непрерывно работать более 20 часов от двух батареек типа AA. Он предназначен для считывания показаний со всех вибрационных струнных приборов компании GEOKON и может отображать показания в символах, частоте (Гц), периоде (мкс) или микронапряжениях мкe. Устройство GK-404 также отображает температуру преобразователя (датчика) (встроенного термистора) с разрешением в 0,1°C.



Рисунок 15: Измерительный блок GK-404



Рисунок 16: Разъем Lemo к GK-404

6.2.1. Эксплуатация измерительного блока GK-404

1. Присоедините выводные провода к блоку GK-404 выравнивая красный кружок на серебристом разъеме Lemo с красной линией на верхней части блока GK-404 (Рисунок 16). Вставьте разъем Lemo в блок GK-404 до его фиксации.
2. Подсоедините зажимы на проводах к проводникам датчика соответствующих цветов, синий цвет – экран (оголенный).
3. Для включения блока GK-404 нажмите клавишу ON/OFF (Вкл/Выкл) на передней панели блока. Будет отображен начальный экран.
4. После некоторой задержки блок GK-404 начнет снимать показания и отображать их на основе настроек клавиш POS (Положение) и MODE (Режим).

Отображение на дисплее блока (слева направо) нижеследующее:

- Текущее положение: установлено клавишей POS, отображается от А до F.
- Текущее показание: установлено клавишей MODE, отображается как численное значение с последующей единицей измерения.
- Показание температуры присоединенного прибора в градусах Цельсия.

Используйте клавиши POS и MODE для выбора правильного положения и единиц измерения отображения для приобретаемых моделей оборудования (Раздел 6.4).

Блок GK-404 будет продолжать измерения и отображать показания до своего выключения, или вручную или с помощью таймера автоматического выключения (если он задействован).

Более подробная информация приведена в инструкции по эксплуатации блока GK-404.

6.3. Измерительный блок

Измерительный блок для считывания показаний с вибрационного струнного измерительного устройства модели GK-405 состоит из двух компонентов:

- Измерительного блока, состоящего из карманного компьютера (КПК) под управлением Windows Mobile, и запускающего приложение измерительного блока для вибрационных струнных устройств модели GK-405.
- Выносного модуля GK-405, который размещен в погодостойком корпусе.

Выносной модуль можно подсоединить с помощью проводов к датчику с помощью:

- Выводов с зажимами типа «крокодил», если конец кабель от датчика оголен.
- 10-штырькового разъема.

Оба блока осуществляют беспроводную связь посредством Bluetooth® (надежный протокол цифровой связи). Используя Bluetooth блок может работать с подставки выносного модуля, или, если это более удобно, его можно убрать с подставки и работать с ним на расстоянии до 20 метров от выносного модуля.

Блок GK-405 отображает температуру термистора в градусах Цельсия.

Более подробная информация приведена в инструкции по эксплуатации блока GK-405



Рисунок 17: Измерительный блок GK-405

6.3.1. Подсоединение датчиков с прилагаемыми 10-штырьковыми разъемами стоечного типа

Выровняйте пазы на разъеме датчика (вилка) с соответствующим разъемом на измерительном блоке (розетка, отмеченный как датчик /sensor/ или датчик напряжений /load cell/). Вставьте разъем, затем поверните внешнее кольцо на разъеме (вилка) до фиксации.

6.3.2. Подсоединение датчиков с оголенными выводами

Подсоедините выводы блока GK-403-2 к оголенным выводам вибрационного струнного датчика GEOKON, подсоединяя зажимы на выводах к проводам датчика соответствующего цвета, синий цвет представляет собой экран (оголенный).

6.3.3. Эксплуатация блока GK-405

Нажмите клавишу питания на измерительном блоке. После завершения запуска начнет мигать синий цвет, указывая на то, что оба компонента готовы к беспроводной связи. Запустите программу VWRA блока GK-405 следующим образом:

1. Коснитесь в главном окне на карманном компьютере (КПК)
2. Выберите программу.
3. Коснитесь иконки VWRA.

Через несколько секунд мигание синим цветом прекратиться, и синий цвет начнет светиться постоянно. На карманном компьютере (КПК) отобразится окно текущих показаний (Live Readings).

Установите режим дисплея на правильную букву, которую требует ваше оборудование (смотрите раздел 6.4). Более подробная информация приведена в инструкции по эксплуатации блока GK-405.

6.4. Измерительный блок GK-403 (устаревшая модель)

Блок GK-403 может хранить показания приборов, а также применять калибровочные коэффициенты для преобразования показаний в инженерные единицы. Блок GK-403 отображает температуру термистора в градусах Цельсия.

6.4.1. Подсоединение датчиков с прилагаемыми 10-штырьковыми разъемами стоечного типа

Выровняйте пазы на разъеме датчика (вилка) с соответствующим разъемом на измерительном блоке (розетка, отмеченный как датчик /sensor/ или датчик напряжений /load cell/). Вставьте разъем, затем поверните внешнее кольцо на разъеме (вилка) до фиксации.

6.4.2. Подсоединение датчиков с оголенными выводами

Подсоедините выводы блока GK-403-2 к оголенным выводам вибрационного струнного датчика GEOKON подсоединения зажимы на выводах к проводам датчика соответствующего цвета, синий цвет представляет собой экран (оголенный).

6.4.3 Эксплуатация блока GK-403

1. Установите селектор дисплея в правильное положение для вашего оборудования (смотрите раздел 6.4.).
2. Включите блок.
3. Во фронтальном окне дисплея появятся показания. (При снятии показаний последний символ может меняться на 1 или 2 цифры).
4. Показания с термистора будут считаны и отображены на экране в градусах Цельсия над показаниями прибора.
5. Нажмите клавишу Store (Сохранить) для записи отображаемого значения.

Если показания не отображаются или показания нестабильные, следует обратиться в раздел 5 «Поиск и устранение неисправностей».

Блок автоматически отключится через две минуты в целях сохранения энергии.

Более подробная информация приведена в инструкции по эксплуатации блока GK-403.

6.5. Измерение температуры

Все вибрационные струнные датчики компании GEOKON оснащены термистором для считывания температуры. При изменении температуры изменяется сопротивление термистора. К внутреннему термистору обычно подсоединяются белый и зеленый выводы приборного кабеля.

Измерительные блоки GK-403, GK-404 и GK-405 считывают показания с термистора и отображают температуру в градусах Цельсия.

Считывание температуры с помощью омметра:

1. Подсоедините омметр к зеленому и белому выводам термистора, выходящих из устройства. Так как сопротивление термистора сильно изменяется в зависимости от температуры, то влиянием сопротивления кабеля обычно можно пренебречь. В случае длинного кабеля можно применить поправку равную примерно 48,5 Ом на км при 20°C. Для учета обоих направлений эту величину следует умножить на 2.
2. Температура для измеренного сопротивления приведена в Приложении В.

7. Обработка данных

Показания в положении С на измерительных блоках GEOKON отображаются непосредственно в единицах микрострей (микродеформации), на основании теоретического уравнения:

$$\mu\epsilon_{\text{theory}} = 4.062 (f^2 \times 10^{-3})$$

Уравнение 5: Теоретическая микродеформация (микростейн)

Где $\mu\epsilon$ представляет собой деформацию в струне в микростейнах, а f – резонансная частота вибрирующей струны.

7.1. Преобразование показаний в изменения деформации (напряжения)

На практике, метод соединения проводов обжимом эффективно укорачивает вибрирующую струну в небольшой степени, приводя к тому, что она выходит за пределы при регистрации напряжения. Этот эффект можно убрать, применяя калибровочный коэффициент к этой пробе (B) из протокола калибровки, поставляемого вместе с измерительными устройствами.

$$\mu\epsilon_{\text{apparent}} = (R_1 - R_0)B$$

Уравнение 6: Вычисление напряжения (деформации)

Где R_0 это – начальное показание в положении С, а R_1 – последующее показание.

Примечание: Когда $(R_1 - R_0)$ имеет положительное значение, то это – деформация растяжения.

Значение, полученное из вышеприведенного уравнения, требуется для вычисления деформаций (напряжений) в уравнениях шаги 2 – 4 в Приложении Б. Деформации (напряжения), вычисленные таким образом, представляют собой деформации (напряжения), вызванные как строительными работами, так и изменениями температуры, которые могли иметь место.

7.2. Преобразование деформаций (напряжений) в напряжения

Тензометры измеряют напряжение или деформацию конструкции, однако, конструктор, обычно, более заинтересован в нагрузках на конструкцию или напряжениях. Это требует преобразования измеренных деформаций в вычисленные напряжения.

Деформационные изменения с течением времени вычисляются из показаний тензометров, взятых в разное время, и сравнением с некоторыми начальными показаниями взятыми в момент. Принятый за начало отсчета.

Такое начальное показание лучше всего брать тогда, когда элемент конструкции находится не под нагрузкой, то есть измерительные устройства (датчики) должны быть смонтированы пока элемент конструкции находится все еще на складе стальных заготовок или на товарном складе.

Это не всегда возможно, и часто тензометры устанавливаются на элементы конструкции, которые уже находятся по какой-то существующей нагрузкой, то есть последующие деформационные изменения всегда начинаются с какого-то неизвестного показателя. Однако, существует методы, а именно «Метод бурения глухого отверстия» (“Blind Hole Drilling Method” (Photolastic 1977)), посредством которого можно измерить остаточные или существующие напряжения. Процедура представляет собой цементирование многорешетчатого тензодатчика до поверхности, а затем анализ деформаций, вызванных бурением короткого глухого отверстия в центре такого датчика. Тем не менее, хорошо известно, что деформации (напряжения) могут быть в стали во время ее производства. (Часто, верхний слой элемента конструкции из катанной стали находится под напряжением относительно нижележащей стали).

Иногда возможно, особенно там, где установлены временные подпорки, измерить деформацию (напряжение) в элементе конструкции после разборки конструкции. Такое показание «без нагрузки» должно соответствовать начальному показанию «без нагрузки». Любое отсутствие соответствия будет индикатором смещения нуля измерительного устройства, хотя не следует оставлять без внимания

возможность некоторых постоянных пластичных деформаций, в частности, там, где измеренные деформации были достаточно высоки, чтобы достигнуть предела текучести.

8. Поиск и устранение неисправностей

Техническое обслуживание и поиск и устранение неисправностей вибрационного струнного тензометра модели 4000 ограничиваются периодическими проверками кабельных соединений и техническим обслуживанием точек подключения. После установки измерительные устройства часто бывают вне зоны доступа и поэтому устранение поломок ограничено. При появлении проблем следует обратиться к приведенному ниже перечню возможных неисправностей и методам их устранения. Любое неисправное измерительное устройство следует вернуть на завод-изготовитель. **Измерительные устройства нельзя вскрывать в полевых условиях.** Дополнительную помощь можно получить, обратившись на завод.

СИМПТОМ: Сопротивление термистора слишком высокое

- Вероятно, имеет место обрыв цепи. Проверьте все соединения, клеммы и разъемы. Если имеет место обрыв кабеля, выполните сращивание в соответствии с инструкциями в разделе 4.4.

СИМПТОМ: Сопротивление термистора слишком низкое

- Вероятно, имеет место закорачивание. Проверьте все соединения, клеммы и разъемы. Если имеет место закорачивание кабеля, выполните сращивание в соответствии с инструкциями в разделе 4.4.
- Возможно внутрь тензометра попала вода. В этом случае нет метода устранения неисправности.

СИМПТОМ: Показания тензометра нестабильные

- Правильно ли настроено положение измерительного блока? Если используется регистратор данных для автоматической записи показаний, то сделаны ли правильные настройки возбуждения качающейся частоты?
- Находятся ли показания деформации (напряжения) за пределами установленного диапазона сжатия или растяжения? Измерительное устройство (датчик) может стать слишком разболтанным или слишком сильно затянутым; проверьте данные, чтобы убедиться в такой возможности. Ослабьте два установочных винта с закругленными концами на одном из монтажных блоков. Это даст возможность внутренней пружине повторно натянуть измерительное устройство (датчик), и оно снова начнет считывать показания. Настройте измерительное устройство на некоторый новый исходный уровень и перезатяните установочные винты. Если измерительное устройство (датчик) не реагирует на перенастройку, и, если старая катушка для возбуждения струны будет работать с новым измерительным устройством (датчиком), замените измерительное устройство (датчик).
- Имеется ли поблизости источник электрических помех? Возможные источники помех включают в себя: генераторы, двигатели, сварочное оборудование, высоковольтные линии и так далее. Если возможно, уберите приборный кабель подальше от силовых линий и электрического оборудования, или установите электронный фильтр.
- Убедитесь, что экранированный провод заземления подсоединен к земле.
- Работает ли измерительный блок или регистратор данных с другим измерительным устройством (датчиком)? Если не работает, то возможно села батарейка или он неисправен.

СИМПТОМ: Тензометр не считывает показания

- Работает ли измерительный блок или регистратор данных с другим измерительным устройством (датчиком)? Если не работает, то возможно села батарейка или он неисправен.
- Поврежден ли кабель? Проверьте сопротивление кабеля, подсоединяя омметр к выводам датчика. В Таблице 2 приведены ожидаемые значения сопротивления для различных комбинаций проводов; можно воспользоваться Таблицей 3 и заполнить ее фактическими обнаруженными значениями сопротивления. Сопротивление кабеля примерно равно 48,5 Ом на км для провода 22 AWG.

Если сопротивление очень высокое или равно бесконечности, кабель, вероятно, поврежден. Если сопротивление очень низкое, то возможно имеет место закорачивание проводников измерительного устройства (датчика). Если имеет место повреждение или закорачивание, следует выполнить сращивание в соответствии с инструкциями раздела 4.4.

Сетка расположения выводов струнного вибрационного датчика – Выборочные Значения					
	Красный	Черный	Белый	Зеленый	Экран
Красный	Нет данных	≈180 Ом (≈ 50 Ом для модели 4050)	бесконечный	бесконечный	бесконечный
Черный	≈180 Ом (≈ 50 Ом для модели 4050)	Нет данных	бесконечный	бесконечный	бесконечный
Белый	бесконечный	бесконечный	Нет данных	30000 при 25°C	бесконечный
Зеленый	бесконечный	бесконечный	30000 при 25°C	Нет данных	бесконечный
Экран	бесконечный	бесконечный	бесконечный	бесконечный	Нет данных

Таблица 2. Сопротивление образца

Сетка расположения выводов струнного вибрационного датчика – Наименование датчика/№					
	Красный	Черный	Белый	Зеленый	Экран
Красный					
Черный					
Белый					
Зеленый					
Экран					

Таблица 3. Рабочая таблица данных о сопротивлении

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Технические характеристики

А.1. Вибрационный струнный тензометр

В нижеприведенной таблице приведены технические характеристики обеих моделей тензометров.

	Модель 4000	Модель 4050
Диапазон (Полная шкала), (номинальный) ¹	3000 мк	3000 мк
Разрешающая способность	1.0 мк	1.0 мк
Точность пробы ²	Калибровка: $\pm 0,5\%$ полной шкалы	Калибровка: $\pm 0,5\%$ полной шкалы
Точность результата измерения ²	Калибровка: $\pm 0,1\%$ полной шкалы	Калибровка: $\pm 0,1\%$ полной шкалы
Стабильность нуля	0.02% полная шкала/год	0.02% полная шкала/год
Линейность	$\pm 0.5\%$ полной шкалы	$\pm 0.5\%$ полной шкалы
Тепловой коэффициент	12.2 мк/°C	12.2 мк/°C
Размеры (длина x диаметр)	165 x 12,5 мм	321 x 12,5 мм
Активная длина датчика ³	150 мм	300 мм
Размеры (конечных блоков/мерных плиток) (Ш x В)	25 x 22 мм	25 x 22 мм
Размеры (катушка)	22 x 22 мм	внутренние
Частотный диапазон	450 – 1250 Гц	1400 – 3200 Гц
Сопротивление катушки	180 Ом	50 Ом
Температурный диапазон ⁴	от – 20 до +80 °C	от – 20 до +80 °C

Таблица 4: Технические характеристики

Примечания:

¹ Также имеется в наличии с диапазоном 5000 or 10000 мк

² Используя метод аппроксимации кривых, (полином второго порядка)

³ По запросу имеются устройства с другой длиной

⁴ По запросу имеются устройства с другим температурным диапазоном

А.2. Термистор

(также смотрите Приложение В)

Диапазон: -80 до +150 °C

Точность: ± 0.5 °C

А.3. Монтажный блок 4000-4

Материал: углеродистая сталь

Покрытие: блестящее цинковое с хроматом (грунтовка хроматом)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Принцип работы

Вибрирующая струна, присоединенная к поверхности деформирующегося объекта, будет деформироваться таким же образом, как и этот объект. Эти деформации изменяют натяжение струны, что приводит к изменению частоты собственных колебаний (резонанса).

Связь между частотой (период) и деформацией (напряжение) описывается следующим образом:

1. Основная частота (резонансная частота) вибраций струны связана с ее натяжением, длиной и массой. Основная частота определяется уравнением:

$$f = \frac{1}{2L_w} \sqrt{\frac{F}{m}}$$

Где:

L_w это - длина струны в дюймах

F – натяжение струны в фунтах

m - масса струны на единицу длины (фунты, секунда²/дюйм²)

2. Отметим, что:

$$m = \frac{W}{L_w g}$$

где:

W – вес L_w дюймов струны в фунтах

g - гравитационная постоянная (386 дюйм/секунда²).

3. И что:

$$W = \rho a L_w$$

Где:

ρ – плотность материала струны (0.283 фунт/дюйм³).

a - площадь поперечного сечения струны в дюйм².

4. Объединяя уравнения пунктов 1, 2 и 3, получим:

$$f = \frac{1}{2L_w} \sqrt{\frac{Fg}{\rho a}}$$

5. Отметим, что натяжение (F) можно выразить на языке деформации (напряжения), например,

$$F = \epsilon_w E a$$

Где:

ϵ_w - деформация (напряжение) струны (дюйм/дюйм).

E - модуль Юнга струны (30 x 10⁶ фунтов на юйм²).

6. Объединяя уравнения пунктов 4 и 5, получим:

$$f = \frac{1}{2L_w} \sqrt{\frac{\epsilon_w E g}{\rho}}$$

7. Замена на заданные значения E, g, и p дает:

$$f = \frac{101142}{L_W} \sqrt{\varepsilon_W}$$

8. В положении A (которое отображает период вибрации, T) умноженный на коэффициент 10^6 :

$$T = \frac{10^6}{f}$$

9. Объединяя уравнения пунктов 7 и 8, получим:

$$\varepsilon_W = \frac{97.75 L_W^2}{T^2}$$

10. Уравнение пункта 9 теперь следует выразить в терминах деформации (напряжения) поверхности объекта, к которой присоединено измерительное устройство. Поскольку деформация объекта должна быть равна деформации струны, мы имеем:

$$\varepsilon_W L_W = \varepsilon L_g$$

Где:

ε - деформация (напряжение) объекта.

L_g - длина измерительного устройства в дюймах.

11. Объединяя уравнения пунктов 9 и 10, получаем:

$$\varepsilon = \frac{97.75}{T^2} \cdot \frac{L_W^3}{L_g}$$

Где: (для тензометра модели 4000)

L_W - 6.25 дюймов

L_g - 5.875 дюймов

12. Поэтому:

$$\varepsilon = 4.062 \times 10^3 \left[\frac{1}{T^2} \right]$$

13. Отображение в положении «С» измерительного блока основано на уравнении:

$$\varepsilon = 4.062 \times 10^9 \left[\frac{1}{T^2} \right]$$

Возведение в квадрат, умножение на коэффициент 4.062×10^9 выполняется внутри измерительного блока с помощью микропроцессора, таким образом, отображаемое показание в положении С показывается в микродюймах на дюйм (ε).

Примечание: В предыдущих двух пунктах T измеряется в секундах $\times 10^6$, а ε измеряется в микродюймах на дюйм.

Как вариант:

$\varepsilon = 4.062 \times 10^{-3} f^2$ микронапряжение (микродеформация), где f это частота в Гц.

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Вывод температуры термистора

Тип термистора: YSI 44005, Dale #1C3001-B3, Alpha #13A3001-B3

Сопротивление к уравнению температуры:

$$T = \frac{1}{A+B(\ln R)+C(\ln R)^3} - 273.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Уравнение 7 – Сопротивление к температуре

Где:

T = температура в $^{\circ}\text{C}$.

LnR = натуральный Log сопротивления термистора

A = 1.4051×10^{-3}

B = 2.369×10^{-4}

C = 1.019×10^{-7}

Ohms	Temp	Ohms	Temp	Ohms	Temp	Ohms	Temp	Ohms	Temp
201.1K	-50	16.60K	-10	2417	30	525.4	70	153.2	110
187.3K	-49	15.72K	-9	2317	31	507.8	71	149.0	111
174.5K	-48	14.90K	-8	2221	32	490.9	72	145.0	112
162.7K	-47	14.12K	-7	2130	33	474.7	73	141.1	113
151.7K	-46	13.39K	-6	2042	34	459.0	74	137.2	114
141.6K	-45	12.70K	-5	1959	35	444.0	75	133.6	115
132.2K	-44	12.05K	-4	1880	36	429.5	76	130.0	116
123.5K	-43	11.44K	-3	1805	37	415.6	77	126.5	117
115.4K	-42	10.86K	-2	1733	38	402.2	78	123.2	118
107.9K	-41	10.31K	-1	1664	39	389.3	79	119.9	119
101.0K	-40	9796	0	1598	40	376.9	80	116.8	120
94.48K	-39	9310	1	1535	41	364.9	81	113.8	121
88.46K	-38	8851	2	1475	42	353.4	82	110.8	122
82.87K	-37	8417	3	1418	43	342.2	83	107.9	123
77.66K	-36	8006	4	1363	44	331.5	84	105.2	124
72.81K	-35	7618	5	1310	45	321.2	85	102.5	125
68.30K	-34	7252	6	1260	46	311.3	86	99.9	126
64.09K	-33	6905	7	1212	47	301.7	87	97.3	127
60.17K	-32	6576	8	1167	48	292.4	88	94.9	128
56.51K	-31	6265	9	1123	49	283.5	89	92.5	129
53.10K	-30	5971	10	1081	50	274.9	90	90.2	130
49.91K	-29	5692	11	1040	51	266.6	91	87.9	131
46.94K	-28	5427	12	1002	52	258.6	92	85.7	132
44.16K	-27	5177	13	965.0	53	250.9	93	83.6	133
41.56K	-26	4939	14	929.6	54	243.4	94	81.6	134
39.13K	-25	4714	15	895.8	55	236.2	95	79.6	135
36.86K	-24	4500	16	863.3	56	229.3	96	77.6	136
34.73K	-23	4297	17	832.2	57	222.6	97	75.8	137
32.74K	-22	4105	18	802.3	58	216.1	98	73.9	138
30.87K	-21	3922	19	773.7	59	209.8	99	72.2	139
29.13K	-20	3748	20	746.3	60	203.8	100	70.4	140
27.49K	-19	3583	21	719.9	61	197.9	101	68.8	141
25.95K	-18	3426	22	694.7	62	192.2	102	67.1	142
24.51K	-17	3277	23	670.4	63	186.8	103	65.5	143
23.16K	-16	3135	24	647.1	64	181.5	104	64.0	144
21.89K	-15	3000	25	624.7	65	176.4	105	62.5	145
20.70K	-14	2872	26	603.3	66	171.4	106	61.1	146
19.58K	-13	2750	27	582.6	67	166.7	107	59.6	147
18.52K	-12	2633	28	562.8	68	162.0	108	58.3	148
17.53K	-11	2523	29	543.7	69	157.6	109	56.8	149
								55.6	150

Ohms = Ом

Temp = температура

Таблица 5: Сопротивление термистора в зависимости от температуры

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Специальные инструкции для модели 4050

Вибрационный струнный тензометр модели 4050 представляет собой модифицированную версию модели 4000, предназначенную для измерения напряжений (деформаций) на более длинной базе. Следующие инструкции предназначены для тензометра стандартной длины 305 мм.



Рисунок 18: Вибрационный струнный тензометр модели 4050

ДАННЫЕ ИНСТРУКЦИИ ПРИМЕНИМЫ К МОДЕЛИ 4050; ТЕМ НЕ МЕНЕЕ, ОБЯЗАТЕЛЬНО ОТМЕТЬТЕ СЛЕДУЮЩИЕ ИСКЛЮЧЕНИЯ:

- Для тензометра модели 4050 требуется специальный распределительный арматурный стержень (модель 4050-8), длина которого 12 5/8 дюймов.
- Перед установкой измерительного устройства (датчика) удалите черную защитную шайбу, расположенную между трубкой и концевым блоком с V-образным пазом.
- Считывание показаний модели 4050 происходит в положении В на измерительных блоках компании GEOKON. Для настройки измерительного устройства (датчика) на все уровни натяжения, показание должно быть около 2000; для всех уровней сжатия – 10000; для среднего диапазона - настройте на 6000.

Примечание: Выберите диапазон возбуждений 1400 – 3500 Гц при использовании CR10.

- Для установки измерительного устройства потяните или толкните торец трубки измерительного устройства (датчика), там, где выходит кабель. **(Нельзя тянуть за кабель!)**
- Преобразуйте показания положения В в микрострейны, используя следующее уравнение вместе с индивидуальным калибровочным коэффициентом (выраженным в виде микрострейн/цифра) поставляемым вместе с прибором.

$$\text{Microstrain } (\mu\epsilon) = (R_1 - R_0)GF$$

Уравнение 8: Показания в микрострейны

- Скорректируйте влияние температуры, **только для измерительного устройства (датчика)**, используя нижеприведенное уравнение:

$$\text{Microstrain } (\mu\epsilon) = (R_1 - R_0)GF + (T_1 - T_0)K$$

Уравнение 9: Влияние температуры только на измерительное устройство (датчик)

Где:

R_1 = текущее показание (положение В)

R_0 = начальное показание (положение В)

T_1 = текущая температура (°C)

T_0 = начальная температура (°C)

K = 12.0 микрострейн / °C

Примечание: Если измерительное устройство (датчик) прикреплено к стали, то тепловой эффект практически равен нулю. Если измерительное устройство (датчик) прикреплено к бетону, то следует использовать множитель K равный 2 микрострейн / °C

- С модель 4050 могут поставляться измерительные устройства (датчики) другой длины. Дополнительную информацию можно получить, обратившись на завод-изготовитель.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Влияние температуры

Если концы элемента конструкции свободны и могут расширяться или сжиматься без ограничений, то могут иметь место изменения деформации (напряжения) без какого-либо изменения напряжения. В таких ситуациях тензометр не покажет изменений в показаниях. Однако, если концы стального элемента конструкции ограничены какой-то полужесткой средой, тогда любое увеличение температуры элемента конструкции приведет к образованию деформации (напряжению), относящейся нагрузки на сжатие в этом элементе, даже если фактическая деформация (напряжение) будет деформацией растяжения.

Величина этого увеличения напряжения сжатия, вызванного температурой, будет точно измерена посредством тензометра, так как вибрирующая струна не имеет ограничений от расширения, даже если сам элемент конструкции ограничен. На расширение вибрирующей струны будет указывать уменьшение показания деформации (напряжения) в измерительном блоке равное увеличению вызванного температурой напряжения сжатия в элементе конструкции.

Эти вызванные температурой напряжения можно отделить от вызванных внешней нагрузкой напряжений посредством снятия показаний деформации (напряжения) и температуры измерительного устройства (датчика) через частые интервалы. Снимайте эти показания в течение периода, когда внешняя нагрузка от строительных работ остается постоянной. Когда эти изменения деформации (напряжения) наносятся на график в зависимости от соответствующих изменений температуры, результирующий график показывает прямолинейную зависимость, наклон которой дает коэффициент K_T . Этот коэффициент можно использовать для вычисления, вызванного температурой напряжения, как показано нижеприведенным уравнением:

$$\sigma_{\text{thermal}} = K_T(T_1 - T_0)E$$

Уравнение 10: Напряжение, вызванное температурой

Если желательно, это можно вычесть из наблюдаемого изменения условного (определенного статическим расчетом без учета дополнительных напряжений) напряжения, используя нижеприведенное уравнение:

$$\sigma_{\text{apparent}} = (R_1 - R_0)BE$$

Уравнение 11: Условное напряжение

Для определения части изменения напряжения, которая происходит только из нагрузок строительных работ, следует использовать следующее уравнение:

$$\sigma_{\text{load}} = [(R_1 - R_0)B - K_T(T_1 - T_0)]E$$

Уравнение 12: Напряжения, связанные с нагрузкой

Отметим, что поправочный коэффициент K_T может изменяться с течением времени и в зависимости от строительных работ, так как может изменяться жесткость ограничителя. Будет иметь смысл повторить вышеупомянутую процедуру для вычисления нового коэффициента температурной поправки. Если, по какой-либо причине потребуются **фактическая** деформация (напряжение) стального элемента конструкции (то есть, изменение длины блока, которое будет измеряться посредством циферблатного индикатора (прогибомера) прикрепленного к поверхности), его можно будет определить с помощью следующего уравнения:

$$\mu\epsilon_{\text{actual}} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times CF_1$$

Уравнение 13: Фактическая деформация (напряжение)

В котором CF_1 представляет собой коэффициент расширения стали = 12.2 микрострейн / °C.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Температурная поправки при использовании на бетоне

В свободном поле, где не действуют нагрузки, температурные деформации бетона задаются следующим уравнением:

$$\mu\epsilon_{\text{thermal}} = (T_1 - T_0) \times CF_2$$

Уравнение 14: Температурные деформации (напряжения) бетона

CF_2 представляет собой коэффициент расширения бетона. Пока не известно это значение, предположим что номинальное значение равно 10.4 микрострейн/°C. Если, по какой-либо причине, требуется фактическая деформация (напряжение) бетонного элемента конструкции (то есть, изменение длины блока, которое будет измеряться посредством циферблатного индикатора (прогибомера), прикрепленного к поверхности), его можно будет определить с помощью следующего уравнения:

$$\mu\epsilon_{\text{actual}} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times CF_1$$

Уравнение 15: Фактическая деформация (напряжение)

В котором CF_1 представляет собой коэффициент расширения стали = 12.2 микрострейн / °C, а $(R_1 - R_0)B$ это – выявленная деформация (напряжение), записанная измерительным блоком.

Для вычисления деформации (напряжения) в бетоне только из-за изменений нагрузки используем выражение:

$$\mu\epsilon_{\text{load}} = \mu\epsilon_{\text{actual}} - \mu\epsilon_{\text{thermal}} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times (CF_1 - CF_2)$$

Уравнение 16: Деформация (напряжение) в бетоне только из-за изменений нагрузки

Отметим следующий пример, где $B = 0.91$

$R_0 = 3000$ микрострейн, $T_0 = 20$ °C

$R_1 = 2900$ микрострейн, $T_1 = 30$ °C

$$\mu\epsilon_{\text{apparent}} = (2900 - 3000) \times 0.91 = -73_{\text{(compressive)}}$$

$$\mu\epsilon_{\text{actual}} = (2900 - 3000) \times 0.91 + (30 - 20) \times 12.2 = 31_{\text{(tensile)}}$$

$$\mu\epsilon_{\text{thermal}} = (30 - 20) \times 10.4 = 104_{\text{(tensile)}}$$

$$\mu\epsilon_{\text{load}} = (2900 - 3000) \times 0.91 + (30 - 20) \times (12.2 - 10.4) = -73_{\text{(compressive)}}$$

Примечание: Из-за сделанных допущений относительно тепловых коэффициентов для бетона эти уравнения должны использоваться только как общие рекомендации.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Вычисления от трех тензометров на круглой трубе, расположенных под углами 60 градусов

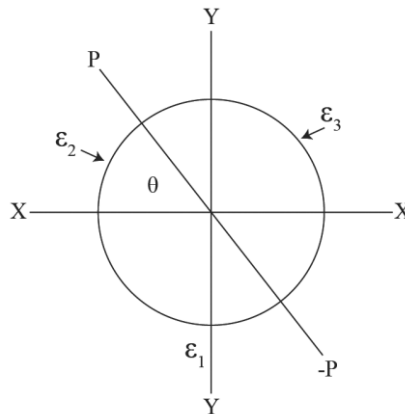


Рисунок 19: Три тензометра, смонтированных на схеме круглой трубы

$$A = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)/3$$

Уравнение 17: Средняя осевая деформация

$$(X) = \pm[(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)/1.732]$$

Уравнение 18: Максимальная деформация изгиба вокруг оси YY

$$(Y) = \pm[((\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)/3) - \varepsilon_1]$$

Уравнение 19: Максимальная деформация изгиба вокруг оси XX

$$P = \pm[X\cos\theta + Y\sin\theta] + A \text{ and } \tan\theta = Y/X$$

Уравнение 20: Максимальная деформация

Пример:

Пусть $\varepsilon_1 = 20$, $\varepsilon_2 = 192$ и $\varepsilon_3 = 88$ (все деформации при растяжении)

Средняя осевая деформация, $A = (20 + 192 + 88) / 3 = 100$ микрострейн натяжения

$$X = \pm(104 / 1.732) = \pm 60$$

$$Y = \pm(300 / 3 - 20) = \pm 80$$

$$\tan\theta = 80 / 60 = 1.333 \text{ and } \theta = 53 \text{ градусов от оси X}$$

$$P = \pm[60 \times 0.6 + 80 \times 0.8] + 100 = 200 \text{ микрострейн, растяжение, } 0 \text{ микрострейн минимум}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Два тензометра, смонтированных один над другим

В случаях, когда доступна только одна поверхность деформирующегося элемента, можно использовать два тензометра, один, приваренный над другим, чтобы разделить осевые деформации вследствие изгиба.

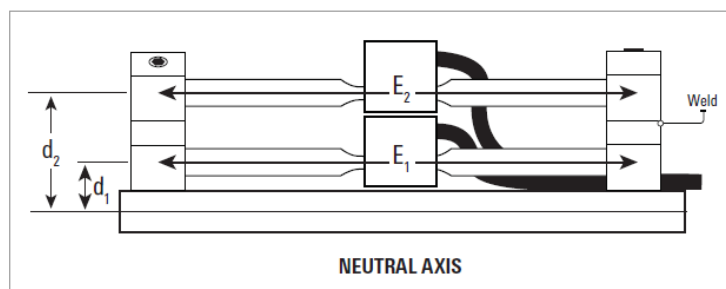


Рисунок 20: Два тензометра, смонтированных один над другим

Neutral axis = нейтральная ось

E1 и **E2** – две измеренных деформации (напряжения) на расстояниях **d1** и **d2** от нейтральной оси стального элемента (например, шпунтовой сваи).

Примечание: **E2** следует приварить на **E1**

Если $R = d_2 / d_1$ тогда:

Осевая деформация вдоль нейтральной оси = $(RE_1 - E_2) / (R - 1)$

Изгибная деформация на расстоянии **d1** от нейтральной оси = $(E_2 - E_1) / (R - 1)$