

# **GEOKON**

*The World Leader in Vibrating Wire Technology*

*48 Spencer Street  
Lebanon, NH 03766, USA  
Tel: 603-448-1562  
Fax: 603-448-3216  
E-mail: [geokon@geokon.com](mailto:geokon@geokon.com)  
<http://www.geokon.com>*

*Инструкция по применению*  
**Модель 4000**  
**(и 4050)**  
**Струнный датчик**  
**деформаций**

Ни одна из частей настоящей инструкции никоим образом не может быть воспроизведена без письменного согласия на то  
Корпорации Geokon

Информация, содержащаяся в Инструкции, считается точной и надежной. Однако, Корпорации Geokon не несет никакой  
ответственности за описки, пропуски или неправильное толкование. Содержащаяся в Инструкции информация, подлежит  
изменениям без предварительного уведомления.

Copyright © 1981, 1996, 2004, 2005, 2008, 2009, 2010, 2012 by Geokon, Inc.  
(Doc Rev W, 7/12)

## **Предоставление гарантии**

Компания Geokon Inc. гарантирует, что её продукция не будет иметь дефектов ни в части материалов, ни по исполнению при нормальном использовании и уходе в течение 13 месяцев со дня приобретения. Если в работе прибора отмечаются сбои, его следует вернуть на завод для оценки, посылка заранее оплачена. При обнаружении дефектов в приборе, на заводе Компании прибор будет бесплатно отремонтирован или заменён. В тех случаях, когда имеются следы самовольных изменений или повреждений, как результата интенсивного действия коррозии, потока, тепла, влажности или вибрации, применения несоответствующих технических требований, неправильного использования, или свидетельства нарушения прочих оперативных условий вне контроля Компании Geokon Inc., условия гарантии действовать не будут. Компоненты, которые подверглись износу или повреждены в результате неправильного использования, замене по гарантии не подлежат. Это относится к плавким предохранителям и батарейкам.

Компания Geokon Inc. производит приборы, неправильное использование которых потенциально опасно. Приборы должны устанавливаться и использоваться только квалифицированным персоналом. Помимо указанных, никаких других гарантий не существует. Нет никаких других гарантий, выраженных явно или подразумеваемых, включая, но не ограничиваясь подразумеваемыми гарантиями коммерческой или функциональной пригодности для конкретной цели. Компания Geokon Inc. не несёт никакой ответственности за ущерб или повреждения, нанесённые другому оборудованию прямым или косвенным образом, в результате аварии, умышленными или вытекающими, которые ложатся на покупателя в результате монтажа или использования продукта. Единственная компенсация покупателя за нарушение настоящего соглашения Компанией Geokon Inc. или какой-либо гарантии не должна превышать цену покупки, оплаченную покупателем Компании Geokon Inc. за единицу или несколько единиц продукции, или оборудование, прямо затронутое таким нарушением. Ни при каких обстоятельствах Компания Geokon Inc. не произведёт возмещений заявителю за ущерб, понесённый при перемещении или переустановке оборудования.

При подготовке инструкций и/или программного обеспечения были учтены все меры предосторожности по точности, однако, Компания Geokon Inc. не несёт никакой ответственности за упущения или ошибки, которые могут появиться, повреждения или ущербы, как результат пользования продукцией в соответствии с информацией в инструкциях или программном обеспечении.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. ВВЕДЕНИЕ.....</b>	
<b>2. МОНТАЖ ДАТЧИКА – ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....</b>	
2.1 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ.....	
2.2 ПРИСОЕДИНЕНИЕ МОНТАЖНЫХ БЛОКОВ К МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ СПОСОБОМ ДУГОВОЙ СВАРКИ - ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПОРОВ.....	
2.3 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДУГОВОЙ СВАРКИ.....	
2.4 УСТАНОВКА ДАТЧИКА ДЕФОРМАЦИИ.....	
2.5 ИСХОДНОЕ СЧИТЫВАНИЕ.....	
<b>3. ЗАЩИТА ДАТЧИКА.....</b>	
3.1 ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ.....	
3.2 ЗАЩИТА ОТ ПОПАДАНИЯ ПРЯМЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЛУЧЕЙ И БЫСТРОЙ СМЕНЫ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	
3.3 ЗАЩИТА ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ.....	
3.4 ЗАЩИТА КАБЕЛЯ И КАБЕЛЕПРОВОДА.....	
3.5 ГРОЗОВАЯ ЗАЩИТА.....	
<b>4. РАЗМЕЩЕНИЕ ДАТЧИКА.....</b>	
4.1 КОНЦЕВЫЕ ЭФФЕКТЫ.....	
4.2 ЭФФЕКТЫ СВАРКИ.....	
4.3 ИЗГИБАЮЩИЕ МОМЕНТЫ.....	
<b>5. ОСОБЫЕ СЛУЧАИ УСТАНОВКИ.....</b>	
5.1 НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАБИВНЫХ СВАЯХ.....	
5.2 УСТАНОВКА НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЛИ БЕТОННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭПОКСИДНЫХ ЦЕМЕНТОВ.....	
5.2.1 Бетонные поверхности.....	
5.2.2 Металлические поверхности.....	
5.3 МОНТАЖ НА БЕТОННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ С ПОМОЩЬЮ АНКЕРОВ.....	
<b>6. СНЯТИЕ ПОКАЗАНИЙ.....</b>	
6.1 РАБОТА БЛОКА СЧИТЫВАНИЯ GK-403.....	
6.2 РАБОТА БЛОКА СЧИТЫВАНИЯ GK-404.....	
6.4 ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	
<b>7. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ.....</b>	
7.1 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОКАЗАНИЙ В ИЗМЕНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ.....	
7.2 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В НАПРЯЖЕНИЯ.....	
8. НАХОЖДЕНИЕ И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ.....	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А – ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.....</b>	
А.2 ТЕРМИСТЕР (См. ПРИЛОЖЕНИЕ С).....	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В – ПРИНЦИП РАБОТЫ.....</b>	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ С - ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ.....</b>	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ D - МОДЕЛЬ 4050. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИНСТРУКЦИИ (12” ДЛИНА ДАТЧИКА).....</b>	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Е – ИЗМЕРЕНИЯ И ПОПРАВКИ НА ТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ... ..</b>	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ F – ПОПРАВКА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕТОНА.....</b>	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ G – РАСЧЕТ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК И ИЗГИБАЮЩИХ УСИЛИЙ ПО ТРЕМ ДАТЧИКАМ ПОД УГЛОМ 60° НА ТРУБЕ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ.....</b>	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ H – ДВА ДАТЧИКИ ДЕФОРМАЦИЙ, СМОНТИРОВАННЫЕ ОДИН НАД ДРУГИМ.....</b>	

## ПЕРЕЧЕНЬ РИСУНКОВ, ТАБЛИЦ И УРАВНЕНИЙ

РИСУНОК 1 - СТРУННЫЙ ДАТЧИК ДЕФОРМАЦИЙ МОДЕЛИ 4000 С1.....	
РИСУНОК 2 – УСТАНОВОЧНЫЙ ШАБЛОН.....	
РИСУНОК 3 – ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДУГОВОЙ СВАРКИ МОНТАЖНЫХ БЛОКОВ.....	
РИСУНОК 4 – УСТАНОВКА ТИПОВОЙ КРЫШКИ.....	
РИСУНОК 5 – СХЕМА ГРОЗОЗАЩИТЫ.....	
РИСУНОК 6А – ТЕНЗОДАТЧИКИ, УСТАНОВЛЕННЫЕ НА ЦЕНТРАЛЬНОЙ СТЕНКЕ БАЛКИ, ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСЕВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ НА ОСЯХ ХХ и УУ.....	
УРАВНЕНИЕ 1 – РАСЧЁТ ОСЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ.....	
УРАВНЕНИЕ 2 – НАПРЯЖЕНИЕ, ВЫЗЫВАЕМОЕ ИЗГИБОМ ПО ОСИ УУ.....	
УРАВНЕНИЕ 3 – НАПРЯЖЕНИЕ, ВЫЗЫВАЕМОЕ ИЗГИБОМ ПО ОСИ ХХ.....	
УРАВНЕНИЕ 4 – МАКСИМАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ.....	
РИСУНОК 6В – ДАТЧИКИ ДЕФОРМАЦИИ, УСТАНОВЛЕННЫЕ НА ПОЛКАХ (не рекомендуется для арок туннеля).....	
РИСУНОК 6С – ИЗМЕРЕНИЕ ОСЕВОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА ТОЛЬКО ПО ОСИ УУ.....	
РИСУНОК 6D – ИЗМЕРЕНИЕ ОСЕВОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА ТОЛЬКО ПО ОСИ ХХ.....	
РИСУНОК 6Е – ОСЕВАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ ПО ОСИ ХХ (не рекомендуется).....	
РИСУНОК 7 ЗАЩИТА НА ЗАБИВНЫХ СВЯЯХ.....	
РИСУНОК 8 УСТАНОВКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭПОКСИДКИ.....	
РИСУНОК 9 – УСТАНОВКА НА БЕТОНЕ С ПОМОЩЬЮ ЗАЦЕМЕНТИРОВАННЫХ АНКЕРОВ.....	
ТАБЛИЦА 1 – ДИАПАЗОНЫ ПОКАЗАНИЙ ТЕНЗОДАТЧИКА.....	
УРАВНЕНИЕ 5 – РАСЧЁТ УСЛОВНОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	
УРАВНЕНИЕ С-1 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕРМИСТОРА В ТЕМПЕРАТУРУ.....	
ТАБЛИЦА С-1 ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕРМИСТОРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ .....	

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Струнный датчик измерения деформаций модели 4000 компании Geokon предназначен в основном для длительных или кратковременных измерений деформаций у конструктивных металлических элементов, как например, облицовки туннеля, арок, связей, свай, шпунтовых стенок и т.д.

Основным способом монтажа является традиционная дуговая сварка; упомянутые датчики могут также использоваться для контроля изменения деформаций на поверхностях бетона или скальных поверхностях с помощью анкеров, заделываемых в скважину с цементированием.

Деформации измеряются, используя принцип вибрирующей струны: металлическая проволока натягивается между двумя монтажными блоками, привариваемыми к металлической поверхности. Деформации (т.е., изменение деформаций) поверхности приводят к смещению двух блоков один относительно другого, изменяя таким образом натяжение металлической струны. Натяжение проволоки измеряется дёргающим усилием и резонансной частотой вибрации. Проволока натягивается, её резонансная частота измеряется посредством электромагнитной катушки, размещаемой близко к проволоке. См. рисунок 1.

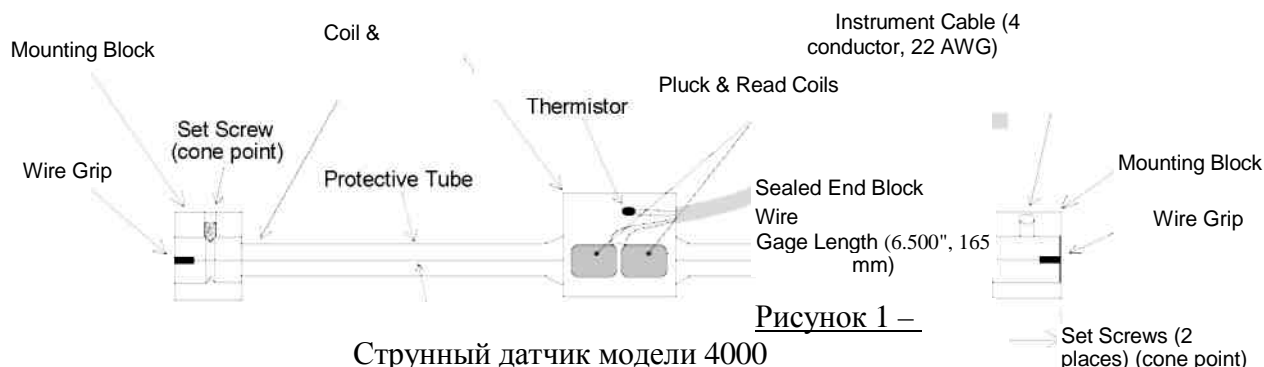


Рисунок 1 –  
Струнный датчик модели 4000

Подрисуночные подписи:

- 1-монтажный блок; 2-зажим проволоки;
- 3-зажимной винт (коническая насадка);
- 4- кольцевая уплотнительная прокладка;
- 5-катушка и корпус термосопротивления;
- 6-защитная трубка; 7-проволока;
- 8-термосопротивление;
- 9-база датчика (165 мм); 10-катушки (вытягивания и считывания); 11-кабель КИА (4 проводника, калибр 22 AWG); 12-зажимные винты (2 места) (коническая насадка)

Портативные блоки считывания, разработанные компанией Geokon и используемые со

струнными датчиками, обеспечивают необходимую активацию проволоки и преобразование измеренной частоты для считывания непосредственно в микрострейнах (микрдеформациях).

В настоящие инструкции входят инструкции по монтажу и считыванию, рекомендации по эксплуатации и отысканию неисправности (нарушений). Приводится также теория датчиков и некоторые предложения по интерпретации данных.

**НЕОБХОДИМО ОТМЕТИТЬ СЛЕДУЮЩЕЕ:**

- ***Струнный датчик модели 4000 не пригоден для измерения динамических или быстро изменяющихся деформаций***

## **2. МОНТАЖ ДАТЧИКА - ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

### **2.1 Предварительные испытания**

Рекомендуется проведение предварительной проверки. Для этого сборка катушек устанавливается на датчик и подсоединяется к блокам считывания GK-401, GK-402 или GK-403. Поставить селекторный переключатель в положение "С" и включить прибор. Слегка подтягивая конечные блоки, следить за показаниями; с увеличением натяжения, показания должны увеличиться. Не следует производить чрезмерное натягивание (>10кгм (20lbs)), поскольку струна может лопнуть. Номинальный диапазон считывания от 1000 до 4000 микрострейнов (микродеформаций). В среднем диапазон составляет примерно 2500 микрострейнов.

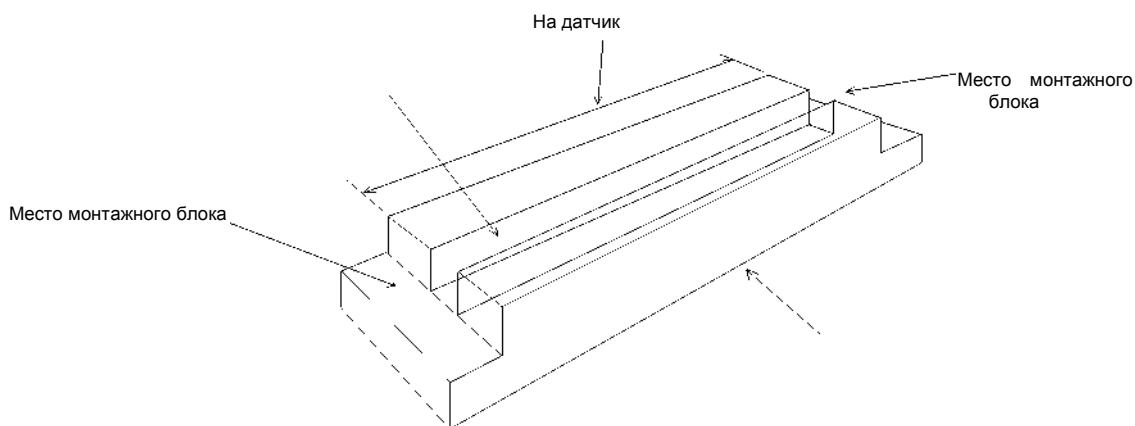
Проверить сопротивление между двумя подводщими проводами (проводами) (красный и чёрный). Оно должно составить приблизительно 180 ом. Если в составе датчика имеется термосопротивление, проверить его сопротивление между белым и зелёным подводщими проводами. (Сопротивление должно составить приблизительно 3000 ом при 25°C). Проверить считываемые показания по сравнению с теми, что могут быть получены в условиях реальной окружающей температуры. См. Приложение С для коррекции сопротивления по корреляции температуры.

Некачественные датчики вернуть на завод. Не открывать их для эксплуатации.

### **2.2 Присоединение монтажных блоков к металлической поверхности способом дуговой сварки – использование распорок**

Струнный датчик модели 4000 присоединяется к монтажным блокам, которые сначала привариваются к изучаемой металлической поверхности. Для соблюдения правильного расстояния между двумя блоками используются распорка и шаблон. На рисунке 2 показана процедура установки: два монтажных блока присоединяются к концам распорки, для их точного позиционирования используется шаблон, затем затягиваются зажимные винты на монтажных блоках на распорке. Избегать чрезмерного затягивания, так как это повредит распорке.

Монтажные блоки поставляются парами: в одном монтажном блоке предусматривается один зажимной болт с конической насадкой, в другом – два с коническими насадками.



**Рисунок 2 – Установочный шаблон**

Подрисовочные подписи:

1- положение монтажного блока; 2-распорка в пазу;  
3-установочное расстояние: 4-алюминиевый блок



### 2.3 Последовательность дуговой сварки

Металлическая поверхность очищается с помощью проволочной щетки для удаления чешуек, ржавчины, грязи и жира. Блоки снимаются с установочного шаблона и с силой прижимаются к металлической поверхности с помощью распорки, используемой как рукоятка. Затем края монтажных блоков привариваются, как показано на рисунке 3.

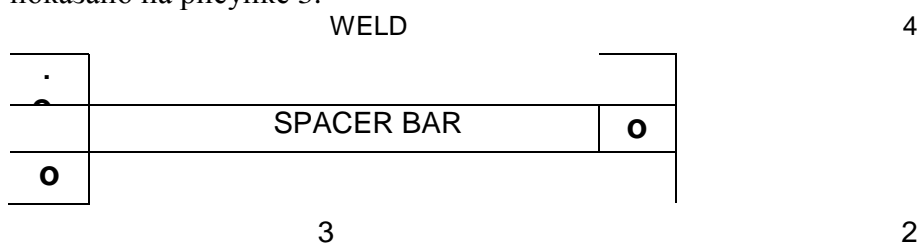


Рисунок 3 – Последовательность сварки монтажных блоков

Подрисуночные подписи:

(a) сварка; (b) распорка

Избегать чрезмерного нагрева и **НЕ ПРИВАРИВАТЬ ПЛОСКИЕ КОНЕЧНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ**, иначе нельзя будет удалить распорку. Избегать разбрызгивания металла при сварке, который может налипнуть на распорку.

**В тех случаях, когда устанавливается несколько датчиков, то для ускорения работ, выгодно иметь несколько распорок.**

После сварки охладить монтажные блоки с помощью смоченной в воде тряпки, затем слегка ослабить зажимные винты и высвободить распорку соскальзыванием. Произвести очистку от сварочного шлака с помощью молотка-шлакоотделителя и проволочной щетки. (На выбор: Окрасить поверхность для защиты от коррозии).

### 2.4 Установка датчика деформаций

Когда монтажные блоки будут уже приварены на место, тензодатчик скольжением установить в отверстия на монтажных блоках. Один конец тензодатчика имеет V-образный паз – проследить, чтобы этот конец вошёл внутрь монтажного блока, который имеет один зажимной болт с конусной насадкой. Сильно затянуть зажимной болт с конусной насадкой в V-образном пазу. Затем обернуть кожух катушки вокруг датчика и присоединить к блоку считывания (**Канал С**). Установить на датчике исходные показания на точный уровень, в зависимости от того, какие ожидаются деформации – сжатия или растяжения. Используемый диапазон тензодатчика – примерно 1000-4000 микрострейнов Средний диапазон считывания составляет 2500. Показания прибора можно отрегулировать простым подтягиванием/проталкиванием свободного конца тензодатчика. Датчики деформаций поставляются с диапазоном считывания примерно 3000-3500. Этот уровень хорошо подходит для деформаций сжатия. При измерении деформаций растяжения – установить начальное (исходное) показание около 1500.

При достижении желаемого показания затянуть 2 зажимных винта с конусными

насадками в монтажном блоке: сильно затянуть на конце датчика деформаций. Затянуть хомут на корпусе катушки: затянуть туго с помощью гайковёрта. **Завершить процедуру постукиванием монтажных блоков, например, ручкой от отвёртки, чтобы снять установочное напряжение и стабилизировать начальное показание. Постукивать до тех пор, пока показание не станет стабильным.**

**2.5 Исходное считывание.** Все показания сопоставляются с исходными показаниями, поэтому **очень важно, чтобы исходное показание было бы выполнено тщательно.** Не забывать постучать по датчикам, как указано в параграфе 2.4. Предпочтительно устанавливать датчики на металлические элементы, которые всё ещё не нагружены, т.е., до сборки их в единую конструкцию. Таким образом, исходные показания соответствуют нулевой нагрузке, другими словами, если такой элемент находится под нагрузкой, то исходные показания будут соответствовать некоему неизвестному уровню нагрузки.

### **3. ЗАЩИТА ДАТЧИКА**

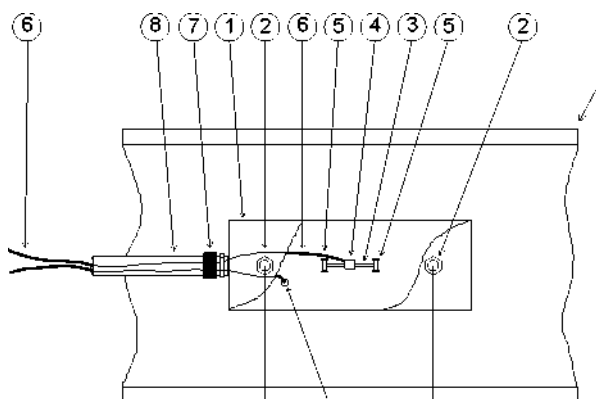
**3.1 Защита от коррозии** в местах сварки – нанесение средства против ржавчины (покраска).

**3.2 Защита от прямого попадания солнечных лучей и быстрой смены температуры окружающей среды** осуществляется покрытием датчиков слоем изолирующего материала. Это очень важно, поскольку датчик может гораздо быстрее нагреваться и охлаждаться, чем подстилающий металл, и это может привести к ложным показаниям. Коэффициент теплового расширения струны тот же, что и у металла конструкции, к которой крепится датчик; таким образом, измеряемая деформация **не потребует никакой корректировки температуры при расчёте наведённых нагрузкой деформаций.** Однако, это относится только к случаю, когда струна и подстилающая металлоконструкция находятся при одной и той же температуре. Если солнечные лучи падают непосредственно на датчик, это может поднять температуру проволоки выше окружающего металла и вызвать большие изменения в кажущейся деформации. Следовательно, следует всегда экранировать датчик деформаций от прямого попадания солнечных лучей. Кроме того, следует избегать чрезмерной перегрузки датчика до выполнения нулевого считывания. Всегда следует выдерживать время, достаточное для стабилизации температуры перед считыванием. В любом случае следует регистрировать температуру каждый раз, когда считывается показание деформации, и таким образом можно оценить нагрузки и деформации, вызванные чисто температурными изменениями. **(См. Также Приложения Е и G).** Для облегчения измерения температуры каждый тензодатчик оборудован термосопротивлением, инкапсулированным с катушкой вытягивания. Термосопротивление подсоединяется к зелёному и белому проводникам. Блоки считывания GK403 GK404 отображают температуру непосредственно в градусах Цельсия. Можно также использовать омметр. **(Зависимость между сопротивлением и температурой показана в Приложении С).**

**3.3 Защита от механических повреждений** может быть выполнена с помощью крышек, выпускаемых компанией Geokon. (см. рисунок 4) Два 3/8 x 2 дюйма длиной болты с шестигранной головкой, которые крепят крышки, привариваются на месте. Специальные крышки изготавливаются из листовой стали тавровой конфигурации. Чтобы получить точную расстановку болтов, предусмотрены или крышка или опрокидывающаяся крышка; отверстия на крышке используются для маркировки мест установки болтов. Номинально расстояние между отверстиями составляет 21 дюйм (530мм): одно отверстие имеет пазы, так что расстояние не критическое. Шпильки не

должны располагаться в пределах 6 дюймов от датчика; не прилагать чрезмерного усилия при затягивании затяжной гайки, так как это перекосит подстилающую металлическую поверхность и может привести к неправильным показаниям о деформациях на приборе. Кроме того, следует избегать сварки вблизи датчика, т.к. это может вызвать большие местные перекосы металла. Для приварки болтов с шестигранной головкой (9мм) к металлической поверхности должны использоваться либо специальные сварочные машины, как для сварки штифтов, или аппараты для дуговой сварки.

Затянуть два болта с шестигранной головкой, которые удерживают крышки на месте.



21"

№№	Описание	Изготовитель	№ партии
1	Крышка из оцинкованной стали	Geokon	4000-6
2	Болт 3/8" x 2" (9мм x 50мм)		
3	Датчик деформаций модели 4000	Geokon	4000
4	Вытягивающая катушка тензодатчика	Geokon	4000-1
5	Монтажные блоки тензодатчика	Geokon	4000-4
6	Кабели датчика	Geokon	02-187V3
7	Кабелепровод	T&B	5231
8	Гибкий кабелепровод	SealTite	3/8"

Рисунок 4 – Установка типовой крышки

### 3.4 Защита кабеля и кабелепровода

Кабель должен быть защищён от случайного повреждения движущимся оборудованием или от разлёта осколков горной породы при взрывании. Этого можно достигнуть за счёт помещения кабеля в гибкий кабелепровод, наиболее безопасное место. Кабелепровод можно соединить с крышками через проходной разём (крышки компании Geokon cover имеют пробитое отверстие для подсоединения кабелепровода) и для укрытия считываемого устройства. Типовое защитное устройство при считывании имеет герметизированную шарнирную крышку, которая помогает сохранить в чистоте и сухом состоянии концы подводящих проводов и/или заглушки.

При большом количестве датчиков деформации, с которых производится считывание в одном и том же месте, можно установить распределительный блок. Передняя панель внутри распределительного блока может иметь вращающийся переключатель или пружинный переключатель или штепсельный разём, которые облегчают подключение многочисленных датчиков к патч-корду с блока считывания.

Кабели можно сращивать для удлинения, не оказывая при этом влияние на считывание. Для обеспечения гидроизоляции при сращивании предпочтительно пользоваться комплектом для сращивания кабелей с использованием эпоксидной

смолы 3M Scotchcast™, модель 82-A1.

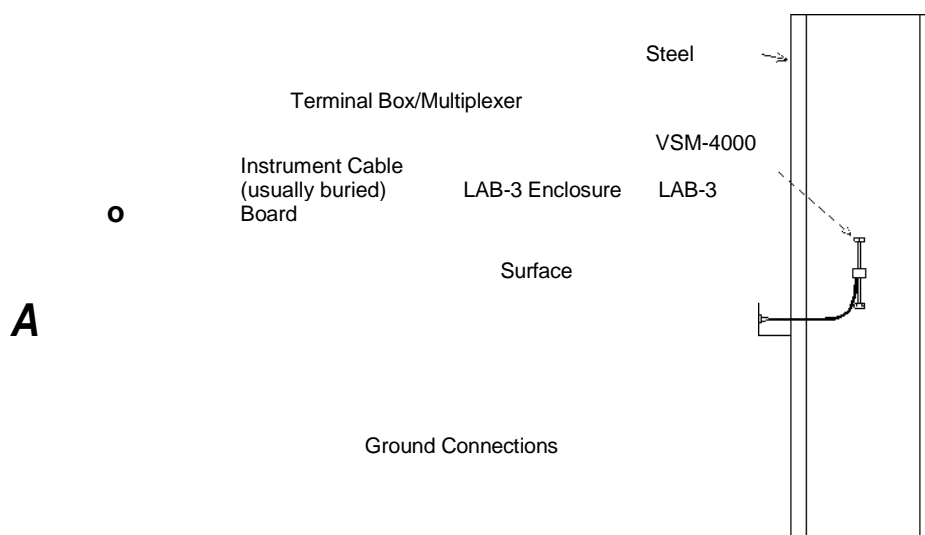
Оконцевание кабеля может производиться зачисткой (разделкой) и лужением. Подключение к патч-корду - с портативного блока считывания; можно использовать разъём с включением непосредственно на блоке считывания или приёмной части соединения на специальном патч-корде.

### 3.5. Грозовая защита

В отличие от многих типов контрольно-измерительных приборов компании Geokon, струнный датчик деформации модели 4000 не имеет каких-либо элементов грозозащиты, т.е. ограничителей напряжения или плазменных ограничителей перенапряжения.

Ниже приводятся некоторые рекомендации:

- Если датчик подключён к распределительному блоку, то такие компоненты мультиплексера, как плазменные ограничители перенапряжения (искровые разрядники), могут быть установлены на распределительном блоке/мультиплексере для обеспечения защиты от переходных режимов. В распределительных блоках и мультиплексерах, выпускаемых компанией Geokon, предусмотрены места для установки таких компонентов.
- Щиты ограничителей напряжения и кожухи, выпускаемые компанией Geokon, устанавливаются на выходе кабеля контрольно-измерительного прибора с наблюдаемого объекта. Кожух имеет съёмную крышку, так что в случае повреждения щита защиты (LAB-3) пользователь может работать с компонентами (или заменить щит). Подключение осуществляется между таким кожухом и заземлителем для облегчения устранения переходных режимов с датчика. См. рисунок 5. За дополнительной информацией по этому вопросу или по вопросу альтернативной схемы грозовой защиты обращаться на завод.
- Плазменные ограничители перенапряжений могут быть смонтированы на эпоксидном клее на кабеле датчика ближе к датчику. Магистраль заземления соединит ограничитель перенапряжений с заземлителем либо через заземляющий стержень, либо через саму металлоконструкцию.



## Рисунок 5 – Схема грозозащиты

Подрисуночные подписи:

1- распределительный блок/мультиплексер;

2-кабель контрольно-измерительного прибора (обычно скрытой проводки); 3-металлическая балка;  
4-кожух; 5-щит (LAV-3); 6-поверхность; 7-заземлители

### **4. РАЗМЕЩЕНИЕ ДАТЧИКА**

#### **4.1. Концевые эффекты**

Если концевые эффекты можно избежать, тогда датчик деформаций можно разместить далеко от концов подпорок, где на них может повлиять локализованное закрепление или искажение от прибалчивания. Для большей части конструктивных элементов достаточным является расстояние 5 футов. С другой стороны концевые эффекты могут вызывать определённый интерес, поскольку добавляют наведённый эффект к нагрузке и могут быть достаточно большими, чтобы инициировать повреждение, скорее на концах, чем в средней части конструктивного элемента.

#### **4.2. Эффект сварки**

Дуговая сварка вблизи датчиков может вызвать очень большие местные деформации в металлических конструкциях. Таким образом, приварка штифтов на направляющие сваи для поддержки теплоизоляции или арматурной сетки с торкретом и т.д., может привести к большим изменениям в деформациях (как в случае приварки крышек или защитных каналов и т.д.) на датчиках и кабелях. Всегда следует считывать показания до и после выполнения дуговой сварки на металлоконструкции, чтобы сделать возможной корректировку на изменение деформации.

#### **4.3 Изгибающие моменты**

В случае металлической конструкции датчик деформаций измеряет деформацию в одной точке поверхности, и этого будет достаточно, если будет гарантировано, что изгиба в конструктивном элементе не будет. На практике это может произойти ближе к центру длинного тонкого конструктивного элемента, на который действуют растягивающие нагрузки. Повсюду **изгибающие моменты скорее правило, нежели исключение**, и имеется нейтральная ось, вокруг которой действует изгиб.

Поскольку изгибающие моменты необходимо учитывать, то в каждом поперечном сечении конструктивного элемента требуется более одного датчика деформаций, и для полноты анализа в каждом поперечном сечении необходимо не менее трёх датчиков, а чаще – ещё больше. На **трубчатых подпорках круглого сечения** по периферии будет



достаточно разместить три датчика с шагом  $120^\circ$  (См. Приложение G). На свае из **двутавра или таврового сечения** необходимо установить не менее четырёх датчиков, а на шпунтовом ряду потребуется установка спиной друг к другу двух датчиков на каждой стороне сваи (в тех случаях, когда конструктивный элемент подвергается и изгибу, а **доступна только лицевая поверхность**, например, металлическая облицовка туннеля или наружная часть шпунтовой стенки, изгибающие моменты могут быть измерены с помощью двух струнных датчиков, установленных на разных расстояниях от нейтральной оси) (см. Приложение H).

Рассмотрим в качестве примера **тавровую балку**, показанную на рисунке 6А.

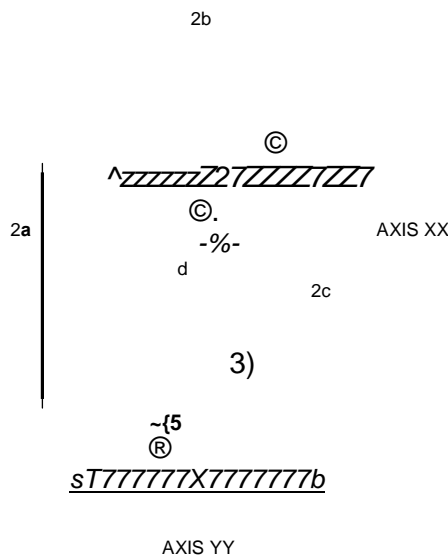


Рисунок 6А – Тензодатчики, установленные на центральной стенке балки, для измерения осевых деформаций и изгибающих моментов на осях XX и YY

Подрисуночные подписи:

1 – ось XX; 2 – ось YY

Четыре тензодатчика (1, 2, 3 и 4) привариваются попарно на центральной стенке. Датчики установлены на расстоянии  $d$  по центрам от оси  $yy$  и на расстоянии  $2c$  друг от друга. Полка тавра имеет ширину  $2b$  и стенку высотой  $2a$ . Осевое напряжение задаётся осреднением величины деформации, считываемой по всем четырём тензодатчикам, умноженной на модуль:

$$\sigma_{\text{осевое}} = \frac{(s_1 + s_2 + s_3 + s_4)}{4} \cdot E$$

Уравнение 1 – Расчёт осевого напряжения

Напряжение, вызываемое изгибом, определяется по разнице показаний между двумя парами датчиков, смонтированных на противоположных сторонах от нейтральной оси. Максимальное напряжение, вызываемое изгибом по оси  $yy$  определяется следующим образом:

$$\sigma_{xx} = \frac{(s_1 + s_3) - (s_2 + s_4)}{a} \cdot b \cdot E$$

Уравнение 2 – Напряжение, вызываемое

изгибом по оси  $yy$

Максимальное напряжение от изгиба по оси

$xx$  равно:

$$\sigma_{xx} = \frac{(s_1 + s_2) - (s_3 + s_4)}{4} x - x E \epsilon \quad a$$

Уравнение 3 – Напряжение, вызываемое изгибом по оси xx

Уравнение 4 – Максимальное напряжение

Во всех вышеприведённых расчётах следует строго следить за знаками деформаций.

Отметим, что общая деформация в любой точке поперечного сечения есть алгебраическая сумма деформаций от изгиба и осевых деформаций. Как видно, деформации наружных углов полков могут быть намного выше деформаций, измеренных на стенке, и что потеря несущей способности сечения может быть инициирована в данных точках, отсюда вытекает важность анализа изгибающих моментов.

Приведённые выше соображения приводят к заключению, что с точки зрения достижения наилучших измерений максимальных деформаций, наиболее лучшим является размещение датчиков деформаций на наружных углах полков, как это показано на рисунке 6В. Недостаток такого размещения датчиков заключается в трудности защиты датчиков и кабелей от случайных повреждений. Но **гораздо более серьёзная проблема** заключается в том, что **каждый из 4 датчиков может подвергаться действию локальных изгибающих сил, которые воздействуют только на один датчик, а не на все**. Не так уж редко сварка производится близко к тензодатчику, и часто это создаёт большие изменения в деформациях вблизи датчиков. Также нередки и местные загромождения (например, в арочных опорах в туннелях) и добавление подпорок, вызывающих изменение деформаций только на ближайшем датчике.

**Всегда выгодно размещать датчики попарно, с каждой стороны нейтральной оси тавровой балки, на которой устанавливается датчик.** Вот почему конфигурация, представленная на рисунке 6А, предпочтительна. Ещё одно преимущество заключается в том, что датчики, установленные на стенке, как это показано на рисунке 6А, гораздо легче защитить.

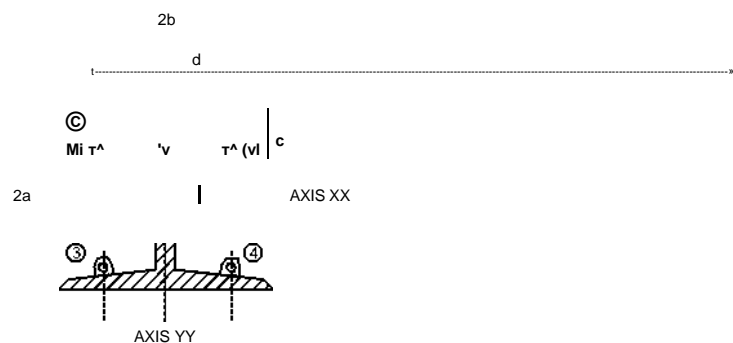


Рисунок 6В – Датчики деформации, установленные на полках (не рекомендуются в арках туннеля)

Если по экономическим причинам будет принято решение об установке только двух датчиков деформации в поперечном сечении, тогда конфигурация, представленная на рисунке 6С, будет давать осевые деформации и изгибающий момент только по малой оси YY.

2b

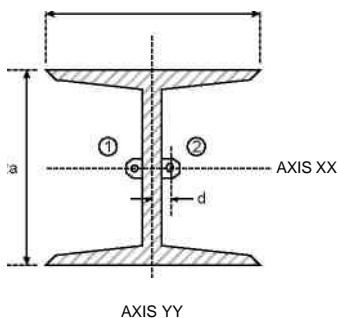


Рисунок 6С – Измерение осевой деформации и изгибающего момента только по оси YY

Такая конфигурация включает в себе преимущество такого размещения датчиков и кабелей, при котором их легко защищать. На самом деле кабель из одного датчика можно пропустить через отверстие, просверленное в стенке, так что оба кабеля защищаются в одном и том же кабелепроводе.

Другая возможная комбинация из двух датчиков представлена на рисунке 6D.

2b

6D

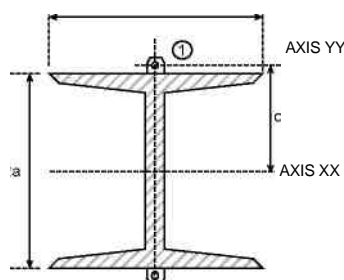
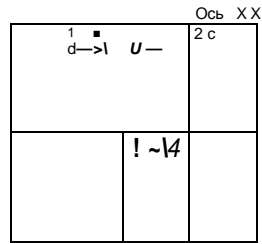


Рисунок 6D – Измерение осевой деформации и изгибающего момента только по оси XX

Данная конфигурация позволяет произвести расчет осевых деформаций и изгибающих моментов по главной оси XX. Недостаток такой конфигурации заключается в открытости позиции датчиков на наружных полках, что требует значительно большей степени защиты датчиков и кабелей. Ещё один серьёзный недостаток состоит в том, что местный изгиб на одном датчике может быть не воспринят другим датчиком. Например, сварка на наружной полке направляющей сваи вблизи одного датчика, способствующая большим изменениям деформации, может оказаться невоспринятой другим датчиком, установленном на задней стороне сваи.



2 а



Ось YY

Рисунок 6Е – Осевая деформация и изгибающий момент по оси XX (не рекомендуется)

Конфигурация, показанная на Рисунке 6Е, была использована для расчета осевых деформаций и измерения изгибающего момента по главной оси XX. Но любой изгиб вокруг малой оси YY будет незначительно влиять на показания. Более важно то, что имеется опасность того, что местному изгибу может быть подвержен один датчик, без воздействия на другой. Такая конфигурация не рекомендуется.

## 5. ОСОБЫЕ СЛУЧАИ УСТАНОВКИ

### 5.1 На металлических забивных сваях.

Модели датчиков деформации 4000 и их кабели, монтируемые на стальных сваях, должны быть защищены от царапин, возникающих по мере забивки свай в грунт. В качестве защиты предусматривается приваривание швеллеров или металлических уголков к верхней части датчиков и кабелей, см рисунок 7 ниже .

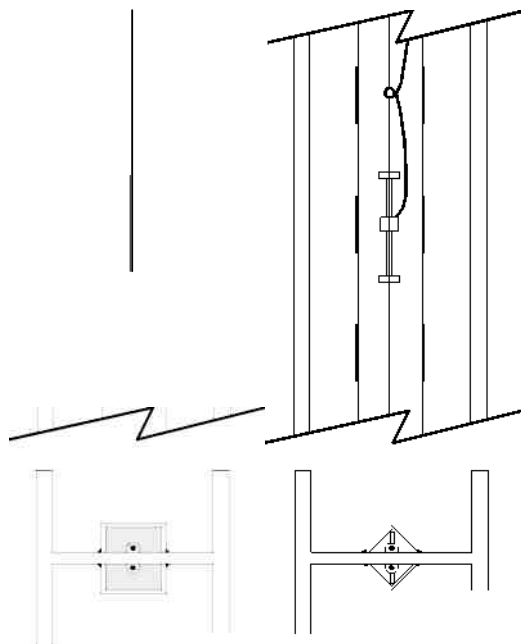


Рисунок 7 Защита на забивных сваях

Швеллера могут изготавливаться из швеллерной стали, (4" x 1 1/2") или уголков из уголкового стали, (минимум 2 1/2 дюйма). По возможности швеллера и уголки должны привариваться до монтажа приборов и кабелей. Оставить отверстия над местом установки приборов с тем, чтобы приваривание приборов осуществлять на месте. Заделать отверстие частью уголка над ним (или привариванием пластины, если используются швеллера). Это позволит избежать возгорания кабелей. Нет необходимости использовать сплошные швы. Точечной сварки будет достаточно, если она обеспечивает прочное удерживания уголков и швеллеров на месте. Кабели должны прикрепляться к **сварными штифтами, предусмотренными через каждые 3 метра.**

**Для предотвращения аварий при забивке свай необходимо соблюдать следующие меры безопасности :**

- Монтажные блоки должны устанавливаться так, чтобы верхний монтажный блок был единым с установочным винтом.
- Установочные винты, закрепляющие прибор внутри монтажных блоков, должны быть затянуты очень прочно с помощью Loctite на резьбе.
- Катушка должна прикрепляться с помощью клея к плоской поверхности трубки прибора. (Используйте любой цианоакрилатовый материал, например Eastman 910 или клей Crazy Glue). Следует проверить, чтобы сторона кабеля указателей катушки была направлена к верху сваи, т.е по направлению к концу прибора с V-образным пазом .
- В качестве дополнительной меры предосторожности необходимо надежно закрепить зажим для поддержания катушки на приборе с помощью

отвертки.



## 5.2 Установка на металлических или бетонных поверхностях с использованием эпоксидных цементов

Датчики деформации Geokon могут прикрепляться эпоксидкой к металлическим или бетонным поверхностям, если предприняты все меры для очистки соединяемых поверхностей и выдержано время, необходимое для схватывания эпоксидки, перед тем как приборы будут прикрепляться к монтажным блокам.

### 5.2.1 Бетонные поверхности :

Материалы:

Devcon - для подводных работ P/N 11800

Loctite 410 - связующий материал P/N 41045

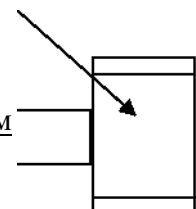
1. Смешать небольшое количество двух частей подводной эпоксидки. Соотношение: 1/1
2. Отшлифовать и/или зачистить песком соединяемые поверхности (поверхность бетона и поверхность концевого блока) и затем очистить с помощью сжатого воздуха или аэрозоля.
3. Прикрепить монтажные блоки к прокладке согласно разделу 2.2 выше .
4. Нанести тонкий слой предварительно смешанной подводной эпоксидки на центр 2/3 радиусов монтажного блока (см. рис. Ниже).
5. Нанести тонкий слой связующего материала 410 Instant на внешние края монтажных блоков .
6. Нажать и поддерживать в этом положении в течение 2 минут.
7. Осторожно вынуть распорку из монтажного блока .
8. Установку приборов осуществлять после 24 часовой выдержки времени .

Loctite 410

Devcon Underwater Putty

▲

Рисунок 8 Установка с применением эпоксидки



### 5.2.2 Металлические поверхности:

Применяется связующий материал Loctite Speedbonder H4500. Его можно приобрести в виде картриджа, где автоматически осуществляется дозирование двух частей связующего материала в смесь с необходимым соотношением 10/1. Максимальная прочность связующего материала достигается в течение 10 минут, в течение которых монтажные блоки удерживаются на поверхности нажатием руки, с помощью груза или магнитов.

### 5.3 Монтаж на бетонных поверхностях с помощью анкеров

Деформацию бетонных поверхностей можно измерить с помощью струнного датчика деформации Model 4000 путём крепления датчика деформации к бетонной поверхности, применяя следующий метод:

Зацементировать в конечные блоки специальные дюбели, (Деталь NO 4000-5), в просверленные отверстия в бетоне. Имеется шаблон, (Model 4000-11), для сверления двух 2½" глубиной отверстий в бетоне с надлежащим шагом. Отверстия должны иметь диаметр не менее ½". Монтажные блоки крепятся к распорке с помощью распорного блока (см.раздел 2.2), для их правильного размещения. Затем дюбели цементируются в уже просверленных отверстиях с помощью или быстротвердеющего гидравлического цемента, или высокопрочной смолы.

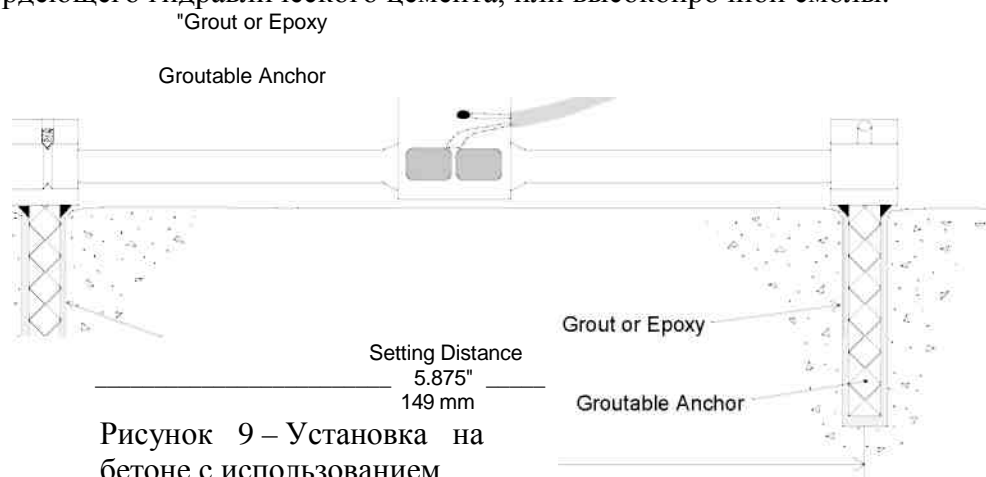


Рисунок 9 – Установка на бетоне с использованием цементируемых анкеров

**Подрисуночные надписи:** установочное расстояние, заливка смолы, заливка анкера

## **6. Снятие показаний**

Следующие три раздела описывают, как снимать показания, используя один из блоков считывания Geokon.

<b>Модель</b>	<b>4000</b>	<b>4050</b>
Положение блока	С	В
Дисплей:	Микродеформ (lj,s)	цифры ( $\mu^2 \times 10^{-3}$ )
Диапазон частот	450-1250 Hz	1400-3200 Hz
Средний отсчёт:	2500 lj,s	6000 цифр
Миним. отсчёт:	1000 lj,s	2000 цифр
Максим. отсчёт:	4000 lj,s	10000 цифр

Таблица 1 – Диапазоны показаний тензодатчика

### **6.1. Работа блока считывания GK-403**

GK-403 может хранить показания датчика и применять коэффициенты калибровки для преобразования показаний в инженерные единицы. Читайте Инструкцию GK-403 для получения дополнительной информации о Режиме "G" Считывания. GK-403 считывает температуру термистора сразу в градусах С.

Подсоединить Считывание, используя подвижные вводы, или, в случае терминала, соединитель. Красный и чёрный зажимы для струнного датчика, белый и зелёный вводы – для термистора и голубой – для провода потребления оболочки.

1. Повернуть селектор дисплея в положение "С" или "В". Смотри Таблицу 1 для правильного положения.
2. Включить прибор и появится показание в окошке переднего дисплея. Последняя цифра может изменить 1 или 2 цифры при считывании. Нажать кнопку "Store" для записи отображённой величины. Если показание не отображено или оно не устойчивое, смотри раздел 5 об устранении дефектов. Термистор будет считываться и будет отображён на экране выше отсчёта датчика в градусах С.
3. Датчик сам отключается через примерно 2 минуты для экономии энергии.

### **6.2 Работа блока считывания GK-404**

GK404 – блок считывания величиной с ладонь, отображающий величину струны и температуры в градусах С.

Струнный блок считывания GK-404 поставляется вместе коммутационным шнуром для подсоединения к струнным датчикам. Один конец состоит из 5-штырькового штепселя для подсоединения к соответствующей розетке на дне корпуса GK-404. Другой конец состоит из 5 вводов с их концами в зажимах. Цвета зажимов: красный, чёрный, зелёный, белый и голубой. Цвета представляют положительный ввод датчика (красный), отрицательный

ввод струнного датчика (чёрный), положительный ввод термистора (зелёный), отрицательный ввод термистора (белый) и провод потребления кабеля датчика (голубой). Зажимы должны подсоединяться к соответственно окрашенным цветным вводам от кабеля струнного датчика.

Пользуйтесь кнопкой **POS** (положение) для выбора положения **C** и кнопкой **MODE** для выбора **µE** (микрореформация)

Прочие функции можно выбрать как описано в Инструкции GK404.

GK-404 будет продолжать измерения и отображать показания до нажатия кнопки **OFF** или .если получилось, когда автоматический таймер **Power-Off** выключает GK-404.

GK-404 непрерывно отслеживает положение элементов (2) 1.5V AA, и когда их объединённый вольтаж падает до 2V, сигнал **Batteries Low (слабая батарея)** появляется на экране. Новый комплект батарей 1.5V AA следует установить в этой точке.

#### 6.4. Измерение температур

Все струнные датчики снабжены термистором для считывания температуры. Термистор даёт выход переменчивого сопротивления по мере колебания температуры. Обычно белый и зелёный вводы подсоединяются к внутреннему термистору. Примечание: Блоки считывания GK-403 и GK404 считывают термистор автоматически и отображают температуру прямо в °C.

### 7. Интерпретация данных

Показания на канале C блоков считывания GK-401, GK-403 или GK-404 отображены прямо в микрореформациях, исходя из теоретического уравнения;

$$M\epsilon_{теория} = 4.062 (f \times 10^{-3}) \text{ где } \mu\epsilon$$

-микрореформация, и  $f$  - резонансная частота струны.

#### 7.1 Преобразование показаний в изменения деформации

На практике метод обжатия провода эффективно укорачивает струну, слегка причиняя пересуммирование деформации. Этот эффект снимается путём применения коэффициента калибровки партии (B), снабжённого датчиками. (Такой типовой коэффициент для тензодатчика Модели 4000 =  $0.943 \pm 0.01$ ). Далее

$$U_{S\text{apparent}} = (R1 - R0)B$$

Где  $R_0$  – начальное показание на Канале С и  $R_1$  – последующее показание.  
Примечание: если  $(R_1 - R_0)$  положительное, то возникает деформация растяжения. Эта величина условной деформации требуется для вычисления напряжений по уравнениям 2, 3, 4 на странице 8. Вычисленные таким образом деформации дают общее число деформаций, вызванных как строительными работами, так и любыми возможными изменениями температуры.

## 7.2 Преобразование деформаций в напряжение

В то время как датчики деформаций измеряют приложенные усилия или деформации сооружения, проектировщик больше заинтересован в конструктивных нагрузках или напряжениях. Это требует преобразования из измеренных деформаций в вычисленные напряжения.

Деформация изменяется во времени и вычисляется из показаний датчиков деформаций, взятых в разное время и путем сравнения с некоторыми начальными отсчетами, взятыми в начале отсчета времени. Этот начальный отсчет лучше брать, когда конструктивный элемент находится без нагрузки, например, датчики должны устанавливаться, когда элемент еще находится на арматурном дворе или на складе. Это не всегда возможно, и часто датчики деформаций устанавливаются на элементы, которые уже находятся под какой-то уже существующей нагрузкой и, таким образом, изменения последующих деформаций отсчитываются от некоторой неизвестной точки отсчета. Однако, существует технология, главным образом «Метод бурения слепой скважины» (Photolastic 1977), где остаточные или существующие напряжения могут быть измерены. Методика заключается в том, что цементируется соединительная муфта датчика деформации к поверхности и затем анализируются напряжения, вызванные бурением короткого несквозного отверстия в центре соединительной муфты. Однако, это хорошо известный факт, что деформации могут оставаться в стали во время ее изготовления. (Часто, поверхностный слой катаной стали элемента находится под напряжением, по сравнению с нижерасположенным слоем стали).

Иногда возможно, особенно когда контролируется поведение временных опор, замерить деформацию в конструктивном элементе после того, как сооружение разобрано. Это показание без нагрузки должно согласовываться с начальным показанием без нагрузки, если оно было получено. Любая несогласованность будет указывать на сдвиг нуля, хотя и не следует просмотреть возможность некоторых пластических деформаций, особенно, где измеренные деформации были достаточно высоки для приближения к точке текучести.

**Данные температуры должны записываться при каждом снятии показаний датчика** вместе с информацией о ходе выполняемых строительных работ. Эти данные могут дать логическое объяснение по наблюдаемым изменениям в показаниях.

## **8. НАХОЖДЕНИЕ И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ**

Обслуживание и устранение неисправностей Струнных датчиков деформаций Модели 4000 сводятся к периодическим проверкам подсоединений кабеля и обслуживанию клеммных зажимов. Установленные датчики обычно недоступны и ремонтные работы ограничены.

В случае возникновения трудностей, ознакомьтесь со следующим списком проблем и возможных их решений. Обратитесь за помощью к Заводу-изготовителю за дополнительной помощью по нахождению и устранению неисправностей.

### ***Признак: Показания датчика деформаций нестабильны***

- f Правильно ли установлено положение Блока считывания данных? Если при использовании регистратора данных для автоматической записи показаний, стертые уставки частоты возбуждения правильные?
- f Находятся ли показания деформаций за пределом расчетного диапазона (на сжатие или растяжение) инструмента? Прибор возможно слишком стал свободным или зажатым; проверка данных могла бы указать. Ослабьте два овальных установочных винта в одном из монтажных блоков. Это даст возможность внутренней пружине перенатянуть прибор и прибор будет опять считывать показания. Установите прибор на какую-нибудь новую точку отсчета и опять затяните установочные винты. Если датчик не отвечает на переустановку и, если старая тяговая катушка даст новое показание, тогда датчик должен быть заменен.
- f Есть ли рядом источник помех от электротехнического оборудования? Наиболее вероятными источниками электрических помех являются моторы, генераторы и антенны. Отодвиньте оборудование от установки или установите электронные фильтры. Обеспечьте, чтобы заземляющий провод был соединен с системой заземления или используйте переносной Блок считывания данных или Регистратор данных.
- / Блок считывания данных работает с другим датчиком? Если нет, то возможно у блока села батарея или он не работает.

### ***Признак: Датчик деформации не считывает***

- f Кабель перебит или смят? Это можно проверить омметром. Номинальное сопротивление между двумя выводами датчика (обычно красный и черный выводы) 180Q, +10Q. Не забудьте прибавить сопротивление кабеля при проверке (22 AWG плетеные медные выводы приблизительно 14.7Q/1000' или 48.5Q/км, умножить на 2 для обоих направлений). Если сопротивление показывает бесконечное или очень высокое (мегаометры), можно подозревать об обрыве провода. Если показывает очень низкое сопротивление (<100fi), возможно, в кабеле короткое замыкание. Наборы с инструкцией имеются от Завода-изготовителя для ремонта перебитых или закороченных кабелей. Обращайтесь к представителям Завода-изготовителя за дополнительной

информацией.

- *f* Блок считывания данных или Регистратор данных работает с другим датчиком деформаций? Если нет, то Блок считывания данных или Регистратор данных, возможно, имеют дефекты.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А – ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ (ТУ)

	<b>Модель 4000</b>	<b>Модель 4050</b>
Диапазон (Полный диапазон - ПД):	3000  Lis	3000  j,s
Разрешение:	1.0  j,s	1.0  IS
Точность <sup>1</sup> :	Калибровка партии... +/- 0.5% ПД Индивидуальная кал.... +/- 0.1% ПД	Калибровка партии... +/- 0.5% ПД Индивидуальная калиб.... +/- 0.1% ПД
Нулевая устойчивость:	0.02% ПД/год	0.02% ПД/год
Линейность:	+/- 0.5% ПД	+/- 0.5% ПД
Тепловой коэффициент:	12.2  j,s/°C	12.2  j,s/°C
Размеры (прибор):	6.125 x 0.750"	12.625" x 0.750"
(Длина × Диаметр)	155 x 19 мм	645 x 19 мм
Размеры (катушка):	0.875 x 0.875" 22 x 22 мм	Внутренний
Диапазон частоты:	450 – 1250 Гц	1400 – 3200 Гц
Сопротивление катушки:	180 Q	50 Q
Диапазон температур:	-20 до +80° C	-20 до +80° C

Примечание:

<sup>1</sup> Используя технику закругленного монтажа (полином второго порядка).

### **А.2 Термистор (см ПРИЛОЖЕНИЕ С также)**

Диапазон: -80 до  
+150° C

Точность: ±0.5° C



## ПРИЛОЖЕНИЕ В – ПРИНЦИП РАБОТЫ

Струна, прикрепленная к поверхности деформируемого тела, будет изменяться следующим образом. Деформации изменяют натяжение струны и, следовательно, также ее естественную частоту вибрации (резонанс). Соотношение между частотой (периодом) и деформацией (натяжением) описывается следующим образом;

1. Основная частота (частота настройки) вибрации струны относится к ее натяжению, длине и по уравнению:

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

Где;

$L_w$  – длина струны в дюймах.

$F$  – натяжение струны в фунтах.

$m$  – масса струны на единицу длины (фунты, сек.<sup>2</sup>/дюйм.<sup>2</sup>).

2. Отмечаем, что:

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

Где;

$W$  – вес  $L_w$  дюймов струны (фунтов).

$g$  – ускорение силы тяжести (386 дюймов/сек.<sup>2</sup>).

3. и:

$$W = \rho a L$$

Где;

$\rho$  – плотность материала струны (0.283 фунт./дюйм.<sup>3</sup>).

$a$  – площадь попер. сечения струны (дюйм.<sup>2</sup>).

4. Объединяя уравнения 1, 2 и 3 получаем:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\rho a g}}$$

5. Отмечаем, что натяжение ( $F$ ) может быть выражено в усилиях, например:

$$F = 6 E a s_w$$

Где;

$s_w$  – напряжение струны (дюйм./дюйм.).

$E$  – модуль Юнга (упругости) струны ( $30 \times 10^6$  Фунтдюйм<sup>2</sup>).

6. Объединяя уравнения 4 и 5 получаем:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{Eg}{P}}$$

7. Заменяя данные величины на **E**, **g** и **P** получаем:

$$f = \frac{101142}{L_w} \sqrt{\frac{\epsilon}{v_w}}$$

8. На канале 'A', который показывает период вибрации, **T**, умноженное на коэффициент  $10^6$ ;

$$T = f \cdot 10^6$$

9. Объединяя уравнения 7 и 8 получаем:

$$\epsilon_w = \frac{97.7}{T^2} L_w$$

10. Теперь уравнение 9 должно быть выражено в виде напряжения на поверхности тела, к которому прикреплен датчик. Следовательно, деформация тела должна быть равной деформации струны:

$$\frac{\epsilon_w}{L_w} = \frac{\epsilon_g}{L_g}$$

Где ;

**s** – напряжение в теле.

**L<sub>g</sub>** – длина датчика ( в дюймах).

11. Объединяя уравнения 9 и 10 получаем:

$$\epsilon_w = \frac{97.75}{T^2} \cdot \frac{L_w}{L_g}$$

Где: (для датчика деформации Модели

4000) **L<sub>w</sub>** - 6.250 дюймов **L<sub>g</sub>** - 5.875

дюймов.

12. Поэтому:

$$\epsilon = 4.062 \times 10^3 \frac{1}{T^2}$$

(Отмечаем, что **T** – в секундах  $\times 10^6$  и  $\epsilon$  – в дюймах на дюйм)

13. Экран на положении "С" Блока GK-401/403 основывается на уравнении:

$$\mu\epsilon = 4.062 \times 10^9 \frac{1}{T^2}$$

Отмечаем, что в этой формуле  $\epsilon$  - в микродюймах на дюйм и **T** – в секундах  $\times 10^6$

Альтернативно  
герцах

$\epsilon = 4.062 \times 10^{-3} f^2$  микронапряжение. Где **f** - частота в

Возведение в квадрат, инвертирование и умножение на коэффициент  $4.062 \times 10^9$ , - все делается внутри микропроцессором, поэтому отображающееся на дисплее показание на Канале С дается в микродюймах/дюйм ( $\mu\epsilon$ ).

## ПРИЛОЖЕНИЕ С – ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ

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

Сопротивление к уравнению температуры:

$$T = \frac{1}{A + B(\ln R) + C(\ln R)^2} - 273.2$$

Уравнение С-1 Преобразование сопротивления термистора в температуру

где: T = Температура в °C.  
 LnR = Натуральный логарифм сопротивления термистора  
 A = 1.4051 x 10<sup>-3</sup> (коэффициенты, вычисленные за интервал от -50 до +150° C.)  
 B = 2.369 x 10<sup>-4</sup>  
 C = 1.019 x 10<sup>-7</sup>

Ом	Темп	Ом	Темп	Ом	Темп	Ом	Темп	Ом	Темп
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

Таблица С-1 Зависимость сопротивления термистора от температуры

## **ПРИЛОЖЕНИЕ D - МОДЕЛЬ 4050. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИНСТРУКЦИИ (12" БАЗА ДАТЧИКА)**

Струнный датчик деформаций Модели 4050 является измененной версией струнного датчика деформаций Модели 4000, запроектированный для измерения напряжений на более длинной базе.

Инструкция по эксплуатации Модели 4000, Раздел 2 применима, однако, обратите внимание на следующие специальные инструкции при использовании Модели 4050.

- Модель 4050 использует специальную распорку длиной 12 5/8".
- Перед установкой датчика, снимите черную защитную шайбу между трубкой и концевым блоком с V образным пазом.
- Модель 4050 считывается на **Канале В** Блока считывания GK-401 и GK-403. Для установки датчика на показание всего натяжения показание должно быть приблизительно 2000; для всего сжатия, 10000; для полудиапазона установите на 6000. Примечание: если применяется CR10, диапазон возбуждения должен быть выбран 1400 - 3500 Гц.
- Для установки датчика потяните или надавите на конец трубки датчика, где выходит кабель (но не на сам кабель!).
- Конвертируйте показание положения В в микронапряжение с помощью индивидуального коэффициента калибровки (выраженное в микронапряжении/цифра) прилагаемое с датчиком.

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

- Для корректировки влияния температуры, только для датчика, применяется следующее уравнение.

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

$R_1$  = настоящее показание  
(положение В)

$R_0$  = начальное считывание  
(положение В)

$T_1$  = настоящая температура (°C)  
 $T_0$  = начальная температура (°C)  
 $K = +12.0$  микронапряжение/°C

**Примечание:** Если датчик прикреплен к стали, совокупное тепловое воздействие практически равно нулю. Если смонтировано на бетоне – применяйте коэффициент +2 микронапряжение/°C

- **Возможны другие базы датчиков с Моделью 4050. Для получения**

**дополнительной информации обратитесь за консультацией к  
представителям Завода-изготовителя.**

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Е – ИЗМЕРЕНИЯ И ПОПРАВКИ НА ТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ**

Если бы концы конструктивного элемента были свободными для расширения или сужения без ограничения, тогда изменения напряжения будут иметь место без каких-либо изменений в усилии. И в этих случаях, конечно, датчик деформации не покажет изменения в показании. И наоборот, если концы стального элемента ограничены какой-либо полужесткой средой, то любое повышение температуры стального элемента вызовет повышение сжимающего напряжения в элементе. (Даже, если действительное напряжение будет растягивающим!) Величина этого вызванного температурой сжимающего напряжения будет точно измеряться датчиком деформаций. (Потому что, пока элемент зажат от расширения, струна не закреплена и расширение струны вызовет уменьшение натяжения струны и, как результат, уменьшение вибрационной частоты. Это будет указываться уменьшением в показании деформации на блоке считывания данных, в соответствии с наблюдаемым увеличением сжимающего усилия, которое, странно сказать, точно равно увеличению от температуры при сжимающих напряжениях в элементе.)

Напряжения вызванные температурой могут быть отделены от напряжений вызванных нагрузкой считыванием обоих деформаций и температуры датчиков деформации при частых интервалах за период времени, в котором внешняя нагрузка от строительных работ может рассматриваться как постоянной. Когда эти изменения деформаций наносятся против соответствующих изменений температуры, результирующий график показывает прямолинейное соотношение, уклон которого дает коэффициент  $K_T$ . Этот коэффициент может быть использован для расчета напряжения, вызванного температурой.

$$\sigma_{\text{тепловой}} = K_T (T_1 - T_0) E \dots \dots \dots E1$$

Который при желании может быть вычтен из наблюдаемого изменения напряжения

$$\sigma_{\text{наблюдаемый}} = (R_1 - R_0) E \dots \dots \dots E2$$

чтобы дать ту часть изменения напряжения только вследствие нагрузки от строительных работ

$$\sigma_{\text{нагрузка}} = [(R_1 - R_0) E - K_T (T_1 - T_0)] E \dots \dots \dots E3$$

Заметьте, что поправочный коэффициент  $K_T$ , может изменяться во времени и с проведением строительных работ вследствие того, что жесткость заземления может изменяться. Тогда было бы неплохо повторить вышеуказанную процедуру для расчета нового поправочного коэффициента температуры.

Если, по какой-либо причине, потребуется действительная деформация стального элемента, то есть, изменение единичной длины, которая может быть измерена, скажем, циферблатным индикатором, прикрепленным к поверхности, это дается уравнением

$$\mu E_{\text{действительное}} = (R_1 - R_0) E + (T_1 - T_0) \times CF_1 \dots \dots \dots E4$$

Где  $CF_1$  представляет коэффициент расширения стали = +12.2 микронапряжение/°C.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ F – ПОПРАВКА НА ТЕМПЕРАТУРУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НА БЕТОНЕ**

В свободном поле, где не действуют нагрузки, температурные деформации бетона даются следующим уравнением;

$$\mu\epsilon_{\text{тепловой}} = (T_1 - T_0) \times CF_2 \dots\dots\dots G1$$

$CF_2$  представляет коэффициент расширения бетона. Если эта цифра неизвестна, примите номинальную величину +10.4 микронапряжение/°C.

Если, по какой-либо причине, потребуется действительная деформация бетонного элемента, то есть, изменение единичной длины, которая может быть измерена, скажем, циферблатным индикатором, прикрепленным к поверхности, это дается уравнением

$$\mu\epsilon_{\text{действительный}} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times CF_1 \dots\dots\dots G2$$

Где  $CF_1$  представляет коэффициент расширения стали = +12.2 микронапряжение/°C,

и  $(R_1 - R_0)B$  – наблюдаемое напряжение, зарегистрированное блоком считывания,

Для расчета напряжений в бетоне только вследствие изменения нагрузки;

$$\mu\epsilon_{\text{нагрузка}} = \mu\epsilon_{\text{действительная}} - \mu\epsilon_{\text{тепловой}} = (R_1 - R_0)B + (T_1 - T_0) \times (CF_1 - CF_2) \dots\dots\dots G3$$

Обратите внимание на следующий пример, где  $B = 0.91$

$R_0 = 3000$  микронапряжение,  $T_0 = 20^\circ\text{C}$

$R_1 = 2900$  микронапряжение,  $T_1 = 30^\circ\text{C}$

$$\mu\epsilon_{\text{наблюдаемое}} = (2900 - 3000) \times 0.91 = -91 (\text{сжимающий})$$

$$\mu\epsilon_{\text{действительное}} = (2900 - 3000) \times 0.91 + (30 - 20) \times 12.2 = +3 (\text{растягивающий})$$

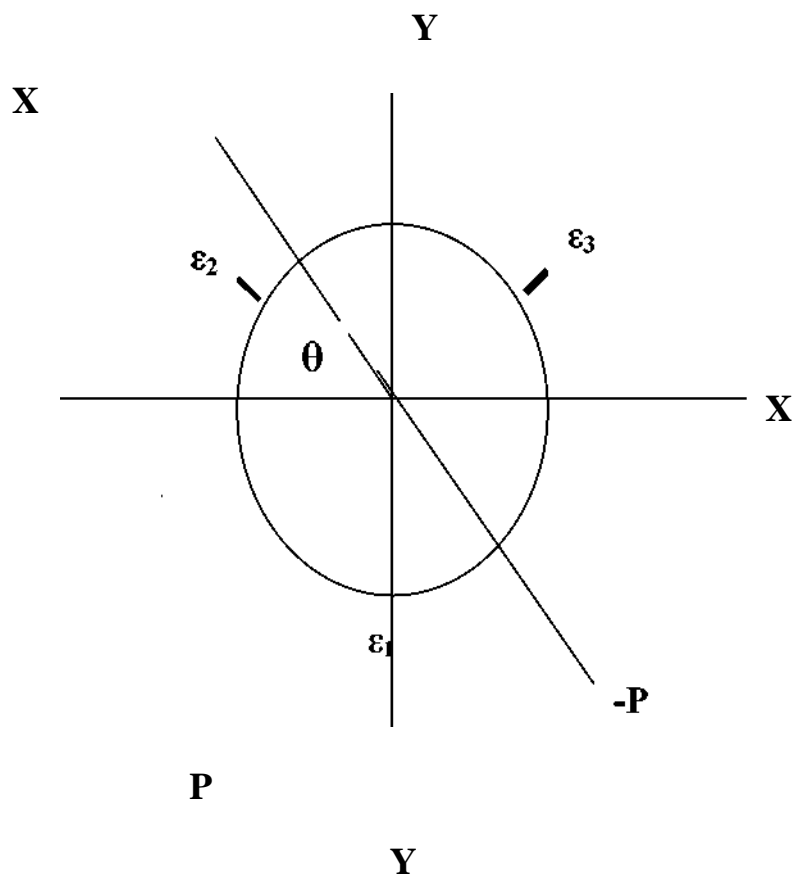
$$\mu\epsilon_{\text{тепловой}} = (30 - 20) \times 10.4 = +104 (\text{растягивающий})$$

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

**Примечание:** Поскольку предположения были сделаны относительно термических коэффициентов для бетона, эти уравнения должны применяться только в качестве общего руководства.



**ПРИЛОЖЕНИЕ G – РАСЧЕТ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК И ИЗГИБАЮЩИХ УСИЛИЙ ПО ТРЕМ ДАТЧИКАМ, ПОД УГЛОМ 60 ГРАДУСОВ, НА ТРУБЕ КРУГЛОВО СЕЧЕНИЯ**



Среднее осевое напряжение =  $(\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) / 3$

Максимальное напряжение на изгиб вокруг оси YY, (X) =  $(\epsilon_2 - \epsilon_3)$

/1.732

Максимальная деформация изгиба вокруг оси XX, (Y) =  $(\epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_1) / 2$

Формула для максимальных деформаций изгиба +/-P

Максимальное начальное изгибающее усилие, P, =  $X \cos \theta + Y \sin \theta$  и  $\tan \theta = Y/X$

Пример. Пусть три равномерно расположенные, замеренные усилия будут  $\epsilon_1 = -50$ ,  $\epsilon_2 = +65$ , и  $\epsilon_3 = -10$  микронапряжения. С  $\epsilon_1$  на оси Y  
 Тогда  $X = (65+10)/1.732 = 43.3$  и  $Y = (65-10+50)/2 = 52.5$   
 Из чего  $\tan \theta = 1.21$  и  $\theta = 50.48$  градусов из оси X и

$$P = \pm [43.3 \times 0.636 + 52.5 \times 0.771] = \pm \mathbf{68} \text{ микронапряжение}$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ Н - ДВА ДАТЧИКА ДЕФОРМАЦИЙ, СМОНТИРОВАННЫЕ ОДИН НАД ДРУГИМ

Где доступна только одна поверхность деформирующего элемента, то могут быть использованы два датчика деформаций, устанавливаемые один над другим, для разделения осевых деформаций от усилий вследствие изгиба.

Искажение файла, см. английский текст



$E_1$  и  $E_2$  - две замеренные деформации на расстояниях  $d_1$  и  $d_2$  от нейтральной линии стального элемента (например, шпунтовая свая)

Если  $R = d_2/d_1$

Продольная деформация по нейтральной линии =  $(RE_1 - E_2)/(R-1)$

Изгибающее усилие на расстоянии  $d_1$  от нейтральной линии =  $(E_2 - E_1)/(R-1)$