
Российское акционерное общество энергетики и электрификации
«ЕЭС России»

Открытое акционерное общество
«Диагностика гидротехнических, энергетических и других ответственных сооружений»
АО «ДИГЭС»
(Участник ассоциации «Гидропроект»)

СОГЛАСОВАНО:

Зам. генерального директора
АО «ДИГЭС»
Д.Б.Радкевич
1996 г.
М.П.



УТВЕРЖДАЮ:

Зам. генерального директора
ГП «ВНИИЭТРИ»
Ю.И.Брегадзе
1996 г.
М.П.



РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений
Деформации линейные в массиве грунта

Методика выполнения измерений
преобразователями деформации грунта
измерительными струнными типа ПДГС

МИ 2432-97

Москва 1996

Информационные данные

РАЗРАБОТАНА: Открытым акционерным обществом «ДИГЭС», отделом метрологии в строительстве ГП «ВНИИФТРИ»

УТВЕРЖДЕНА: Государственным предприятием «ВНИИФТРИ» 25 декабря 1998 г.

ИСПОЛНИТЕЛИ: Зиновьев Р.К. руководитель темы, Марков А.И., Халтурина А.М.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНА:

Группа Т 86

Рекомендация

**Государственная система обеспечения единства измерений
Деформации линейные в массиве грунта
Методика выполнения измерений преобразователями деформации грунта
измерительными типа ПДГС**

Дата введения 01.01.1999 г.

Содержание

- [1. Нормы погрешности измерений](#)
- [2. Средства измерений](#)
- [3. Метод измерений](#)
- [4. Требования безопасности и требования к квалификации операторов](#)
- [5. Условия измерений](#)
- [6. Подготовка к выполнению измерений](#)
- [7. Проведение измерений](#)
- [8. Обработка результатов измерения и их оформление](#)
- [9. Контроль погрешности результатов измерений](#)

[Приложения](#)

Приложение 1. Конструктивная схема ПДГС

Приложение 2. Метрологические характеристики преобразователей деформаций грунта измерительных струнных типов ПДГС-160 и ПДГС-320

Приложение 3. Метрологические характеристики периодометров типа ПЦП-1 и типа ПЦС

Приложение 4. Схема монтажно-регулирующего приспособления для установки приспособления ПДГС

Настоящая рекомендация по метрологии устанавливает методику выполнения измерений статической относительной линейной деформации сжатия или растяжения по выбранному направлению на заданном участке в массиве грунта измерительными преобразователями деформации грунта струнными типа ПДГС (далее – преобразователи ПДГС) при контрольных наблюдениях и натурных исследованиях напряженно-деформированного состояния каменно-земляных плотин.

Преобразователи ПДГС могут быть использованы для определения всех компонентов тензора деформации в грунте.

1. НОРМЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. Методика выполнения измерений деформаций обеспечивает выполнение измерений с погрешностью, не превышающей значения, вычисленного по формуле (1), в которой учитывается воздействие на погрешность измерения температуры окружающей среды.

Предел погрешности измерений Δ (млн⁻¹) равен:

$$\Delta = (\gamma + \gamma_{\text{дон}}) \varepsilon_{\delta} \quad (1)$$

где ε_{δ} – диапазон измерений преобразователей ПДГС, (млн⁻¹);

γ – пределы основной погрешности преобразователя ПДГС, приведенной к диапазону измерений $\gamma = \pm 0,05$;

$\gamma_{\text{дон}}$ – пределы дополнительной погрешности преобразователя ПДГС, приведенной к диапазону измерений, вызванной изменением температуры окружающей среды относительно нормальных условий, при которых $T_{\text{окр}} = (293 \pm 5) \text{K}$

$$\gamma_{\text{дон}} = \pm |\Delta T| \cdot K_T \quad (2)$$

где ΔT – разность между значениями температуры грунта во время измерения деформации и температуры, при которой проводилась градуировка (поверка) преобразователя, К;

K_T – коэффициент функции влияния температуры окружающей среды, 1/К,
 $K_T = 0,001 \text{K}^{-1}$.

2. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. При выполнении измерений должен быть применен преобразователь типа ПДГС-160 или ПДГС-320, оснащаемый различными типоразмерами преобразователя измерительного струнного линейных перемещений типа ПЛПС-С (ТУ 34-28-11234-78) ПЛПС-С-160 или ПЛПС-С-320 соответственно. Конструктивная схема преобразователя ПДГС и техническое описание представлены в приложении 1.

2.2. Преобразователь ПДГС работает совместно с периодомером типа ПЦП-1 (ТУ 34-28-10246-88) или периодомером ПЦС (ТУ 34-28-11182-87).

2.3. Метрологические характеристики преобразователя приведены в приложении 2.

2.4. Информативным параметром выходного сигнала преобразователя является период (частота), который измеряют вторичным измерительным прибором – периодомером типа ПЦП-1 или ПЦС. Метрологические характеристики периодомеров представлены в приложении 3.

2.5. Система регистрации информативного параметра выходного сигнала в зависимости от уровня автоматизации может быть выполнена в одном из двух вариантов исполнения:

- как дистанционная система с выводом кабелей от преобразователей на ручные коммутаторы типа КП-24 и измерением сигналов с помощью портативного периодомера ПЦП-1;

- как автоматизированная информационно-измерительная система со встроенным периодомером типа ПЦС на базе управляющих вычислительных комплексов, выполняющих обработку данных в масштабе реального времени.

2.6. Градуировочная характеристика преобразователя ПЛПС, заключенного внутри ПДГС, аппроксимируется полиномом 2-й степени

$$Y = \frac{A}{X^2} + \frac{B}{X} + C \quad (3)$$

где Y – измеряемое перемещение анкеров, мм;

X – период выходного сигнала преобразователя, мкс;

A, B, C – постоянные коэффициенты, вычисленные по результатам градуирования преобразователя ПЛПС-С, соответственно мм·мкс², мм·мкс, мм.

2.7. Для измерения температуры окружающей среды используют измерительный преобразователь типа ПТС-60 (ТУ 34-28-10338-89).

2.8. При определении деформации в исследуемом слое грунта преобразователь устанавливают таким образом, чтобы его ось совпала с направлением главных деформаций. Если его направление неизвестно, то монтируют розетку из двух, трех или более преобразователей. В зависимости от предполагаемого характера напряженно-деформированного состояния грунта возможны 2 варианта размещения преобразователей:

- розетка при плоской деформации (три преобразователя ПДГС размещают по вертикали, горизонтали и под углом 45° к первым двум);

- розетка для получения полной информации о тензоре деформации (шесть преобразователей ПДГС размещают по трем взаимно перпендикулярным направлениям и по трем биссектрисам углов между этими направлениями).

2.9. Рекомендуемые приспособления для установки преобразователей приведены в приложении 4.

2.10. Для измерения линейных размеров допустимо пользоваться бытовой линейкой или рулеткой длиной не менее 30 см и ценой деления 1 мм.

2.11. Все средства измерения должны иметь действующие свидетельства о поверке. ПДГС – пройти испытания на утверждение типа и зарегистрирован в Госреестре.

3. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

Метод измерения линейных деформаций в массиве грунта преобразователями ПДГС основан на измерении изменения расстояния между центрами двух анкеров преобразователя ПДГС, заключенных в контролируемые слои грунта относительно первоначального расстояния A_0 между центрами анкеров.

Корпус преобразователя ПЛПС-С, входящего в состав преобразователя ПДГС, закреплен на верхнем анкере ПДГС, а шток преобразователя ПЛПС-С, дополненный соединительным стержнем, на нижнем анкере ПДГС.

Взаимное смещение слоев грунта вызывает соответствующее смещение жестко связанных с ними анкеров и преобразуется струнным преобразователем ПЛПС-С в период выходного сигнала.

4. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРОВ

4.1. Преобразователь ПДГС по степени защиты человека от поражения электрическим током должен соответствовать классу 0 по ГОСТ 12.2.007.0-75.

4.2. В процессе монтажа преобразователя ПДГС на объекте эксплуатации должны быть соблюдены «Правила устройства электроустановок», а в процессе эксплуатации «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей».

4.3. К работе с преобразователем ПДГС и периодомером допускают лиц, изучивших их технические описания и инструкции по эксплуатации, знающих правила техники безопасности при работе с напряжением до 1000 В, а также прошедших местный

инструктаж по безопасности труда.

5. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

При выполнении измерений соблюдают следующие условия:

- а) показать рН контактирующей с преобразователем среды должен быть не более 10*;
- б) температура окружающей среды должна находиться в диапазоне (273-313)К;
- в) внешнее давление грунта должно быть не более 3 МПа*.

6. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

При установке преобразователя ПДГС на объекте эксплуатации должны быть произведены следующие работы:

6.1.1. После распаковки и непосредственно перед установкой производят внешний осмотр каждого преобразователя, чтобы установить отсутствие видимых повреждений, коррозии и т.п.

6.1.2. С помощью омметра типа М41070/1 проверяют целостность токоведущих частей преобразователя.

6.1.3. Проверяют электрическое сопротивление изоляции между выводами и корпусом преобразователя с помощью мегаомметра М410013 с номинальным напряжением 500В, которое должно быть не менее 1,0 Мом. Изоляция электрических цепей преобразователя относительно корпуса должна выдерживать в течение 1 мин действие испытательного напряжения 500В практически синусоидальной формы частотой от 45 до 65 Гц.

6.1.4. Соответственно проекту размещения контрольно-измерительной аппаратуры на объекте размечают направление расположения преобразователей и места для установочных площадок.

6.1.5. С помощью периодомера ПЦП-1 проверяют значение периода выходного сигнала преобразователя, которое должно находиться в рабочем диапазоне периодов выходного сигнала преобразователя ПДГС (см. Приложение 2).

6.1.6. Перед установкой преобразователя должна быть подготовлена установочная площадка на поверхности грунта в процессе укладки грунта на плотину путем послойной отсыпки и уплотнения грунта по технологии, предусмотренной проектом. Грунт формируют до отметки, соответствующей месторасположению центра верхнего анкера (при установке преобразователя в вертикальном или наклонном положении), или верха анкеров (при установке в горизонтальном положении).

6.1.7. С помощью монтажно-регулирующих приспособлений (см. Приложение 4) непосредственно на установочной площадке преобразователь ПДГС монтируют в заданном начальном положении, обусловленным обеспечением возможности измерений как растягивающих, так и сжимающих деформаций и закрепляют его в этом положении на весь период установки. При монтаже выполняют следующие операции:

6.1.7.1. На расположенном в горизонтальном положении преобразователе ПДГС (в сборе) поочередно прикрепляют к нижнему анкеру 2 четыре стойки 3 с резьбой на концах, для чего каждую стойку сначала пропускают через соответствующее резьбовое отверстие верхнего анкера 1, а затем ввинчивают до упора в глухое резьбовое отверстие в нижнем анкере 2.

* Параметры грунта должны соответствовать проекту размещения контрольно-измерительной аппаратуры на объекте.

6.1.7.2. Определяют реальную базу преобразователя А, с учетом изложенного в п.6.1.7.1, и изготавливают шаблон, длина которого равна А.

6.1.7.3. Регулировочные муфты 4, для установки которых в верхнем анкере 1 предусмотрены резьбовые отверстия, пропускают через концы стоек 3. Приставив шаблон к внутренней поверхности нижнего анкера и контролируя по нему базу А, заворачивают ключом поочередно регулировочные муфты до упора ее нижнего торца в заплечики стержня, при этом шаблон должен касаться (без зазора) внутренних поверхностей анкеров 1 и 2.

6.1.7.4. На каждую стойку 3 с резьбой на верхнем конце наворачивают гайку 5 до упора с поверхностью верхнего торца регулировочной муфты.

6.1.8. Выбуривают вертикальную (или наклонную) скважину диаметром 0,42–0,45 м на глубину, превышающую базу преобразователя ПДГС на 0,2 м, при этом за устье скважины принимают центр верхнего анкера.

6.1.9. С помощью шланга бетононасоса заливают бетоном дно скважины на глубину 15 см. Опускают в скважину собранный согласно п.6.1.7. преобразователь ПДГС таким образом, чтобы нижний анкер своими ребрами погрузился в бетон, а верхний анкер находился ниже устья скважины.

6.1.10. После схватывания бетона (процесс схватывания длится не менее 12 часов) пространство между стеной скважины и кожухом преобразователя ПДГС засыпают грунтом, выбранным в результате бурения скважины, при этом тщательно послойно трамбуют засыпаемый грунт.

6.1.11. После засыпки скважины устанавливают опалубку вокруг верхнего анкера 1 диаметром 0,6 м, после чего заливают анкер слоем бетона толщиной 15 см. При заливке бетона необходимо защитить резьбовые соединения регулировочных муфт от попадания в них бетона.

6.1.12. После схватывания бетона в опалубке отвинчивают последовательно все гайки 5, вывинчивают и вынимают регулировочные муфты и стойки 3.

Примечание: Рекомендуется стойку 3 изготавливать составной из двух равных частей, соединенных между собой левой резьбой. Если по каким-либо причинам стойку 3 от анкера 2 отвернуть невозможно, то вращая стойку вправо, развинчивают части стойки и вынимают верхнюю.

6.1.13. Для установки преобразователя ПДГС в горизонтальном положении отсыпку по проектной технологии ведут до отметки расположения оси преобразователя плюс 20 см. Затем выбирают грунт: в глубину – до поверхности касания грунта кожухом преобразователя и в районе анкеров на 10 см больше их радиуса и вдоль по поверхности грунта на две длины преобразователя ПДГС, после этого устанавливают ПДГС, выполняют опалубку и бетонируют анкера аналогично ранее описанному. Затем засыпают скважину грунтом с тщательной послойной трамбовкой до верха анкеров.

6.2. После установки преобразователя подключают к преобразователю периодомер. С помощью периодомера измеряют значение периода выходного сигнала X_0 . По нему находят первоначальное расстояние между анкерами A_0 , которое записывают в журнал наблюдений.

6.3. Присоединение кабеля связи проектной длины к преобразователю ПДГС осуществляют сваркой или пайкой жил и горячей вулканизацией с помощью полевого вулканизатора ВП-36. Прокладку кабеля связи внутри грунтового массива производят «змейкой».

6.4. Преобразователь температуры типа ПТС-60 устанавливают на уровне преобразователя ПЛПС-С при засыпке пространства между стенками скважины и кожухом преобразователя ПДГС при соблюдении требований рекомендаций МИ 2370-96.

6.5. Перед проведением измерений после установки преобразователя на месте

эксплуатации необходимо определить значение первоначального расстояния между анкерами преобразователя ПДГС A_o и формулу для относительной линейной деформации ε , для чего выполняют следующие операции.

6.5.1. По зарегистрированному в журнале наблюдений начальному значению периода входного сигнала X_o (см. п.6.2) определяют по градуировочной характеристике ПЛПС-С, заключенного внутри ПДГС, значение перемещения L_o .

6.5.2. Первоначальное расстояние между анкерами A_o определяют по формуле

$$A_o = A_w - (D - L_o) \quad (4)$$

где A_w – максимальное возможное расстояние между анкерами (при полностью выдвинутом штоке преобразователя ПЛПС-С):

$A_w = 1200$ мм для преобразователя ПДГС-160;

$A_w = 2400$ мм для преобразователя ПДГС-320.

D – диапазон изменений преобразователя ПЛПС-С;

$D = 160$ мм для преобразователя ПЛПС-160;

$D = 320$ для преобразователя ПЛПС-320.

6.5.3. Согласно п.3 настоящей методики измеряемая деформация определяется отношением изменения расстояния между анкерами ПДГС ΔL к первоначальному расстоянию между ними A_o .

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{A_o} = \frac{L_o - L_{изм}}{A_o} \quad (5)$$

где L_o – значение перемещения, определяемое по п.6.5.1, мм.

$L_{изм}$ – значение перемещения в момент измерения, определяемое по градуировочной характеристике преобразователя ПЛПС-С, мм (см. п.2.6).

6.5.4. При наличии сформированного банка данных измерений на магнитном носителе пользуются формулой для нахождения деформации в следующем виде:

$$\varepsilon = \frac{A}{A_o} X_i^{-2} + \frac{B}{A_o} X_i^{-1} + \frac{C - L_o}{A_o} \quad (6)$$

где ε – измеряемая деформация, млн^{-1} ;

X_i – значение периода выходного сигнала преобразователя при i -ом измерении, мкс;

A_o – первоначальное расстояние между анкерами, определенное по формуле (4), мм;

A, B, C – коэффициенты градуировочной характеристики преобразователя ПЛПС-С.

6.6. При подготовке к выполнению измерений средства измерений и регистрирующая аппаратура должны быть подготовлены к работе согласно их технической документации, утвержденной в установленном порядке.

7. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

7.1. При выполнении измерений статической относительной линейной деформации сжатия или растяжения грунта должны быть выполнены следующие операции:

а) в зависимости от варианта исполнения системы (см. п.2.5) подключение измерительной аппаратуры к преобразователю должно быть произведено вручную или автоматически;

б) результаты отдельных наблюдений информативного параметра выходного сигнала преобразователя должны быть зарегистрированы вручную (в журнале наблюдений) или автоматически (на машинном носителе);

в) одновременно с измерением линейной деформации измеряют преобразователем

ПТС-60 температуру окружающей среды.

8. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ И ИХ ОФОРМЛЕНИЕ

8.1. Обработку результатов измерения для преобразователей ПДГС следует выполнять следующим способом:

8.1.1. Наблюдаемое значение измеряемой деформации вычисляют по формуле (6) данной методики.

8.1.2. Погрешность измерения деформации определяют по формуле (1) данной методики.

8.2. Результат измерения должен быть представлен именованным (млн^{-1}) числом, содержащим три значащих цифры, и пределами допускаемых значений абсолютной погрешности измерения, определенными по формуле 1 и содержащими две значащие цифры.

8.3. Результаты измерений должны быть оформлены записью в журнале или на магнитном носителе.

9. КОНТРОЛЬ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

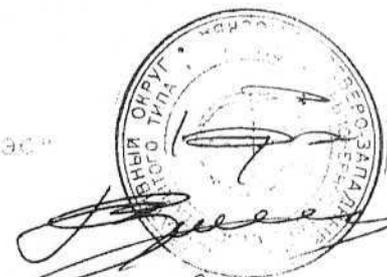
При выполнении измерений по данной методике необходимо проводить первичный (оперативный) и периодический (статистический) контроль погрешности результатов измерений. Нормативы, методы, средства и план проведения этого контроля подробно регламентированы в технической документации на данное СИ и проекте размещения контрольно-измерительной аппаратуры на конкретном объекте, составленном с учетом этого контроля. Контроль проводится комплексно различными методами и средствами (например, геодезическими марками) с учетом индивидуальных особенностей конкретного сооружения.

Генеральный директор ОАО "ВИГЭС"

начальник отдела ЗинПСИ,
руководитель темы

Научный сотрудник,
ответственный исполнитель

Начальник отдела метрологии в
строительстве ГП "ВНИИФТРИ"



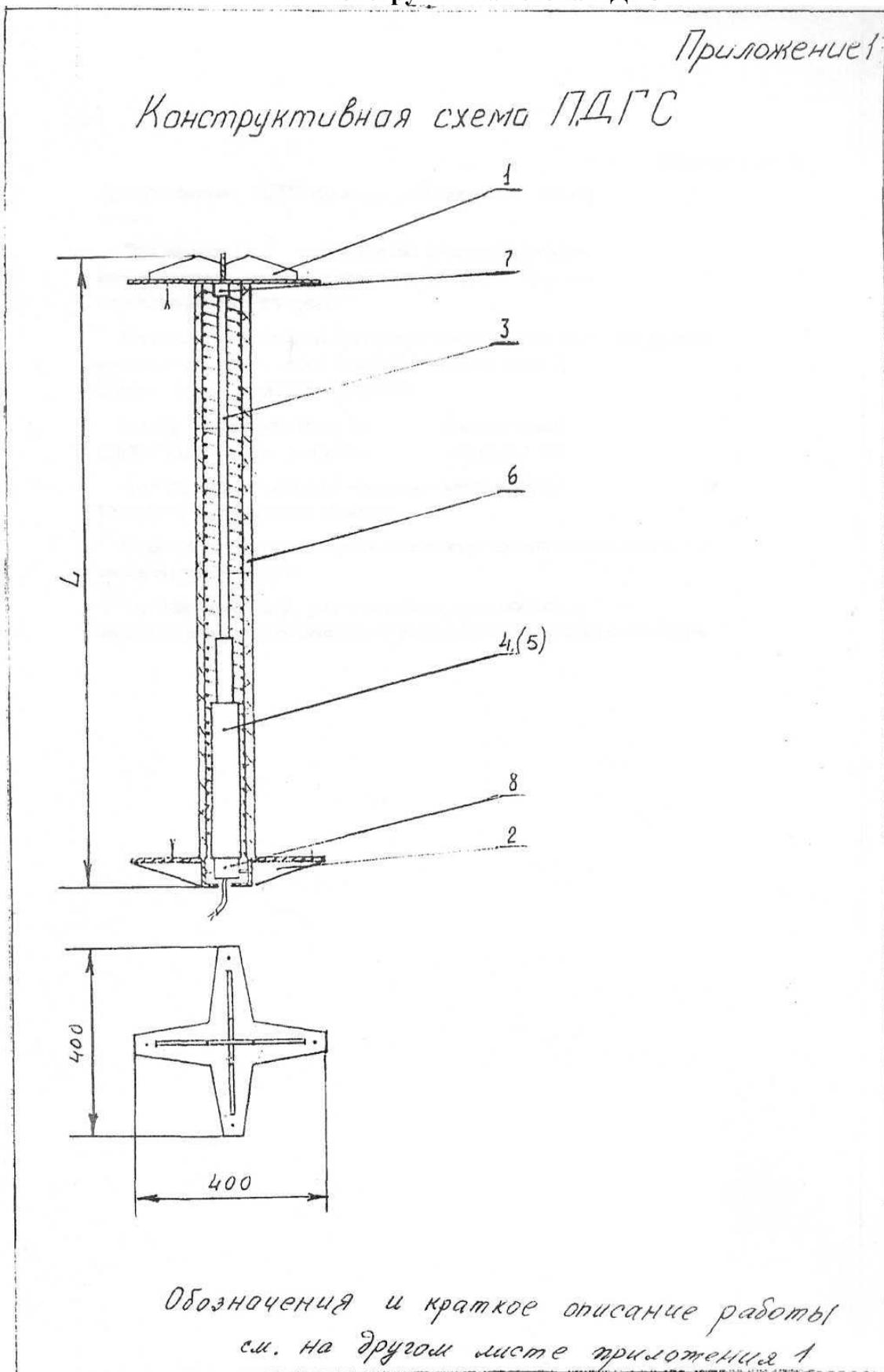
Р. В. Брандэр

Р. К. Зиновьев

Н. М. Халтурина

А. И. Марков

Конструктивная схема ПДГС



Преобразователи ПДГС-160 и ПДГС-320 состоят из следующих основных узлов:

- двух анкеров 1 и 2, обеспечивающих связь преобразователя с контролируемым массивом грунта соответственно в двух заданных точках и определяющих базу измерения;
- соединительного стержня 3, шарнирно связывающего анкер 1 со штоком струнного преобразователя 4 (для ПДГС-320) или 5 (для ПДГС-160), корпус которого шарнирно соединен с анкером 2;
- преобразователя линейных перемещений измерительного струнного ПЛПС-С (ПЛПС-320 или ПЛПС-160 соответственно 4 или 5), преобразующего одноосные взаимные линейные перемещения анкеров 1 и 2 в частотно-модулированный сигнал;
- кожуха 6, предотвращающего возникновение продольных сил трения на элементах преобразователя;
- двух шарниров 7 и 8, расположенных в зоне анкеров 1 и 2 предохраняющих преобразователь от возникновения изгибающих моментов.

Приложение 2

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СТРУННЫХ ТИПОВ ПДГС-160 И ПДГС-320

Общие характеристики преобразователей ПДГС-160 и ПДГС-320

Диапазон измерений сжимающих деформаций, млн^{-1}	-1,33·10 ⁵ - 0
Выходной электрический сигнал	Затухающие колебания электродвижущей силы
Рабочий диапазон периодов выходного сигнала, мкс	450 – 1250
Амплитуда выходного сигнала, измеренная в интервале времени от 100 до 200 периодов, не менее, мВ	5
Выходной импеданс на частоте 1,5 кГц, кОм	0,2 – 0,3
Пределы допускаемой основной погрешности, приведенной к диапазону измерения, %	± 5,0
Пределы допускаемой вариации показаний, приведенный к диапазону измерений, %	5,0
Пределы допускаемой дополнительной погрешности, приведенной к диапазону измерений, вызванной изменением температуры окружающей среды на каждые 10К, %	± 1,0

Индивидуальные характеристики

	ПДГС-160	ПДГС-320
Диапазон измерений растягивающих деформаций, млн^{-1}	0 – 1,54·10 ⁵	0 – 1,73·10 ⁵
База измерений максимальных сжимающих деформаций, мм	1200	2400
База измерений максимальных растягивающих деформаций, мм	1040	2080
Максимальное возможное смещение анкеров, мм	160	320

Метрологические характеристики периодометров типа ПЦП-1

Диапазон измерения периодов, мкс	400 – 2000
Входное сопротивление на частоте 1500 Гц, кОм	$3 \pm 0,2$
<i>Параметры импульса запроса при нагрузке 120 Ом $\pm 20\%$:</i>	
амплитуда напряжения, В	150 ± 15
длительность на уровне 0,1 амплитудного значения, мс	$0,5 \pm 0,2$
<i>Характеристики относительной погрешности:</i>	
пределы допускаемой систематической составляющей, %	$\pm 0,1$
предел допускаемого среднеквадратического отклонения случайной составляющей, %	0,05

Метрологические характеристики периодометров типа ПЦС

Диапазон измерения периодов, мкс	400 – 2000
Входное сопротивление на частоте 1500 Гц, кОм	$3 \pm 0,2$
<i>Параметры импульса запроса на нагрузке 120 Ом $\pm 20\%$:</i>	
амплитуда напряжения, В	150 ± 15
длительность на уровне 0,1 амплитудного значения, мс	$0,5 \pm 0,2$
<i>Характеристики относительной погрешности:</i>	
пределы допускаемой систематической составляющей, %	$\pm 0,02$
предел допускаемого среднеквадратического отклонения случайной составляющей, %	0,02

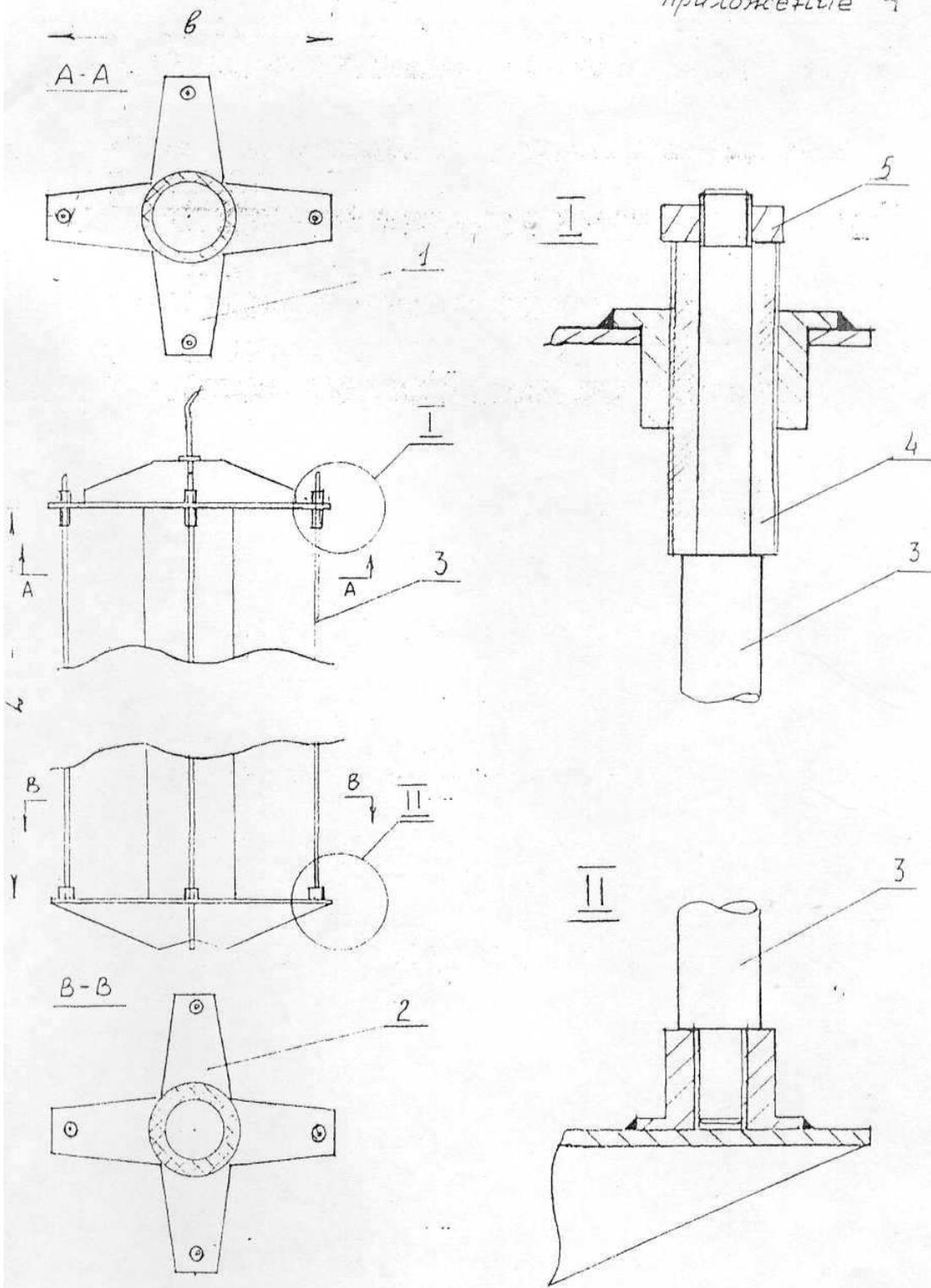


Схема монтажно-регулирующего приспособления для установки приспособления ПДГС

- 1. анкер верхний
- 2. анкер нижний
- 3. стойка
- 4. регулировочная муфта
- 5. гайка