

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Вертикальные и горизонтальные перемещения грунтовых сооружений. Методика выполнения измерений инклинометрическими системами контроля перемещений типа ИСКП

МИ - 2200 - 91

Москва
1991

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

Разработана: малым научно-производственным предприятием «ДИГЭС»
НПО «ВНИИФТРИ»

Исполнители: В.З.Хейфиц, А.И.Марков, И.Р.Петрашень, Д.Б.Радкевич,
И.К.Коновалов, А.К.Головлев, Н.М.Халтурина

Утверждена: НПО "ВНИИФТРИ» 12 декабря 1990 г.

Содержание

- [1. Метод и средства измерений](#)
- [2. Условия выполнения измерений](#)
- [3. Подготовка к выполнению измерений](#)
- [4. Проведение измерений](#)
- [5. Обработка результатов измерений и их оформление](#)

[Приложения](#)

Приложение 1. Общий вид измерительной системы контроля перемещений

Приложение 2. Геометрическая схема измерений

Приложение 3. Метрологические характеристики инклинометрической системы типа ИСКП

Приложение 4. Конструктивная схема преобразователя угла наклона

Приложение 5. Конструктивная схема преобразователя линейных перемещений

Приложение 6. Форма записи результатов измерений и их обработки при проведении наблюдений за осадками и горизонтальными смещениями каменно-земляных плотин инклинометрическим способом

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

РЕКОМЕНДАЦИЯ

**Вертикальные и горизонтальные перемещения грунтовых сооружений.
Методика выполнения измерений инклинометрическими системами
контроля перемещений типа ИСКП**

Дата введения с 01.10.92

Настоящая рекомендация устанавливает методику выполнения измерений вертикальных и горизонтальных перемещений внутренних зон высоких плотин из местных материалов инклинометрическими системами контроля перемещений типа ИСКП.

1. МЕТОД И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. Метод измерения основан на зависимости расстояния между двумя смежными кольцевыми марками, установленными в инклинометрической скважине, и угла, образованного осью, соединяющей центры двух смежных марок, и вертикалью, от осадок и поперечных сдвигов тела плотины.

1.2. Инклинометрическая скважина (далее - скважина) составлена из телескопически соединенных труб, закладываемых в тело плотины при ее возведении (см. приложение 1). В трубах закреплены кольцевые марки. Марка находится в плоскости анкера, которым труба закреплена в теле плотины, и имеет паз, который сориентирован относительно оси плотины. Марка, закрепленная в основании плотины, является репером. Скважины могут быть установлены вертикально или наклонно, под углом 23° к вертикали.

1.3. Измерение проекций угла наклона скважины d_x и d_y на вертикальные плоскости XOZ и YOZ , образованные осями прямоугольной системой координат (см. приложение 2), сориентированной относительно оси плотины, осуществляется скважинным снарядами (далее - снарядами) СС1.

1.3.1. Ориентация снаряда СС1 осуществляется с помощью направляющей на поверхности корпуса снаряда, входящей в паз марки.

1.3.2. СС1 укомплектован двумя измерительными струнными преобразователями углов наклона, измеряющими углы наклона в двух взаимноперпендикулярных вертикальных плоскостях. Информативным параметром выходного сигнала струнных преобразователей является период (частота), который измеряют периодометром цифровым портативным типа ПЦПМ.

1.3.3. В зависимости от того, в какой из скважин, вертикальной или наклонной, проводят измерения используют снаряды СС1-В или СС1-Н соответственно.

1.3.4. Снаряд СС1-В укомплектован двумя измерительными преобразователями ПУНС-00, измеряющими углы наклона от вертикальной прямой.

1.3.5. Снаряд СС1-Н укомплектован одним ПУНС-00 и одним ПУНС-00-01, измеряющим углы наклона от прямой, составляющей с вертикалью угол 23° .

1.3.6. Градуировочной характеристикой преобразователей ПУНС является полином 2-ой степени

$$\alpha = AF^2 + BF + C, \quad (I)$$

где α – значение измеряемого угла наклона, град;

$F = 1/T$ – значение информативного параметра (частоты) выходного сигнала преобразователя, кГц (T - период выходного сигнала, мкс);

A, B, C – постоянные коэффициенты, вычисленные по результатам градуирования преобразователя ПУНС.

1.3.7. Технические характеристики преобразователя и периодомера приведены в приложении № 3, техническое описание – в приложении 4, рис.1.

1.4. Измерение изменения расстояния между двумя смежными марками относительно первоначального расстояния между ними проводят преобразователем линейных напряжений, который состоит из двух герконовых преобразователей линейных перемещений верхнего и нижнего, находящихся в снаряде СС2 (см. приложение 5).

1.4.1. Принцип действия преобразователя линейных перемещений состоит в следующем: герконы верхнего и нижнего преобразователя постоянно замкнуты магнитным полем магнитов; при прохождении снаряда СС2 по скважине марки шунтируют магнитное поле постоянных магнитов и происходит размыкание герконов, находящихся в плоскости каждой из двух марок инклинометрического звена. Фиксация сработавших герконов производится электронным блоком в момент размыкания геркона в верхнем преобразователе при наличии разомкнутого геркона в нижнем преобразователе.

1.4.2. Изменение расстояния между смежными марками каждого инклинометрического звена определяют по градуировочной характеристике преобразователя линейных перемещений:

$$\Delta L = \sum_{j=1}^{n_1} l_{1j} + \sum_{j=1}^{n_2} l_{2j} + 1,5, \quad (2)$$

где ΔL – значение измеряемого взаимного смещения двух смежных марок, мм;
 n_1 – порядковый номер j -го разомкнутого геркона в верхнем герконовом преобразователе, начиная с верхнего геркона;
 n_2 – порядковый номер j -го разомкнутого геркона в нижнем герконовом преобразователе, начиная с нижнего геркона;
 l_{1j} – расстояние между j и $(j + 1)$ герконами в верхнем герконовом преобразователе, определенное во время градуирования преобразователя, мм;
 l_{2j} – расстояние между j и $(j + 1)$ герконами в нижнем герконовом преобразователе, определенные во время градуирования преобразователя.

1.4.3. Значение расстояния L_k между смежными марками каждого звена определяют по формуле:

$$L_k = (L_0 - \Delta L) \pm 1,5, \text{ мм} \quad (3)$$

где L_0 – расстояние между первым герконом в верхнем герконовом преобразователе и последним герконом в нижнем преобразователе. Значение L_0 определяют во время градуирования данного преобразователя. Номинально L_0 соответствует первоначальному расстоянию между двумя смежными марками во время монтажа;
 ΔL_0 – значение взаимного (относительно первоначального положения) смещения смежных марок. ΔL рассчитывают в процессе обработки результатов измерения по формуле (2).

1.5. Координаты каждой марки i связаны с координатами смежной с ней маркой $(i+1)$ следующими формулами:

$$X_{i+1} = X_i + \frac{L_k \cdot \operatorname{tg} \alpha_{xi}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xi} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yi}}}; \quad (4)$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \frac{L_k \cdot \operatorname{tg} \alpha_{yi}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xi} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yi}}}; \quad (5)$$

$$Z_{i+1} = Z_i + \frac{L_k}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xi} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yi}}}; \quad (6)$$

где x_i, y_i, z_i - координаты i -ой марки;

$x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1}$ - координаты $(i+1)$ -ой марки;

L_k - расстояние между i -ой и $(i+1)$ марками;

α_{xi} - проекция угла α_i , образованного вертикалью и прямой, соединяющей центры i -ой и $(i+1)$ марок, на вертикальную плоскость ZOX ;

α_{yi} - проекция угла α_i , образованного вертикалью и прямой, соединяющей центры i -ой и $(i+1)$ марок, на вертикальную плоскость YOZ .

1.6. Схему размещения инклинометрических скважин в плотине устанавливают проектом натуральных наблюдений.

1.7. Нижнее звено с реперной маркой размещают на скальных основаниях или в бетонных конструкциях, осадки которых малы в сравнении с осадками тела плотины. В случае, когда установка нижних звеньев в недеформированной зоне невозможна, их устанавливают в зоне (смотровой галерее), где можно контролировать изменение координат реперной марки.

2. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

При выполнении измерений должны быть соблюдены следующие условия, определяющие рабочую область средств измерения и вспомогательного оборудования:

температура окружающей среды, °С... 0 ÷ 30, давление воды в нижних инклинометрических звеньях, МПА ... до 3.

3. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. При подготовке к выполнению измерений углов наклона должны быть выполнены следующие операции.

3.1.1. Доставить на транспортной тележке СС1, БИС и ПЦП-1 к месту проведения измерений.

3.1.2. Перевести транспортную тележку из транспортного положения в рабочее.

3.1.3. Установить БИС и ПЦП-1 на столе транспортной тележки.

3.1.4. Присоединить ПЦП-1 и кабеля к БИСу,

3.1.5. Присоединить к кабельному наконечнику скважинный снаряд СС1.

3.1.6. Открыть крышку оголовка скважины.

3.1.7. Включить БИС.

3.1.8. Опустить СС1 в скважину до самой нижней марки.

3.2. При подготовке к выполнению измерений линейных перемещений марок должны быть

выполнены следующие операции:

- 3.2.1. Доставить на транспортной тележке СС2 и БИС к месту проведения измерений.
- 3.2.2. Перевести транспортную тележку из транспортного положения в рабочее.
- 3.2.3. Установить БИС на столе транспортной тележки.
- 3.2.4. Присоединить кабели к БИСу.
- 3.2.5. Присоединить к кабельному наконечнику скважинный снаряд СС2.
- 3.2.6. Открыть крышку оголовка скважины.
- 3.2.7. Включить БИС.
- 3.2.8. Опустить СС2 в скважину до нижней марки.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. При выполнении измерений углов наклона должны быть выполнены следующие операции:

4.1.1. Подъем с остановками СС1. Сигналом для установки служит изменение числа пройденных марок и звуковой сигнал.

4.1.2. Выдержка СС1 без движения не менее 1 минуты,

4.1.3. Подключение при помощи БИСа, ПУНСов к ПЦП-1.

4.1.4. Регистрирование в журнале наблюдений результатов измерений.

4.2. При выполнении измерений линейных перемещений марок должны быть выполнены следующие операции:

4.2.1. Подъем с остановками СС2. Сигналом для остановки служит изменение числа пройденных марок и звуковой сигнал.

4.2.2. Регистрирование в журнале наблюдений результатов измерений.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОФОРМЛЕНИЕ

5.1. Обработку результатов измерения следует выполнять следующим способом:

5.1.1. Наблюдаемое значение вертикального перемещения (осадки) S_i каждой i -ой марки, а также ее горизонтальные перемещения по осям x , y , u_{xi} и u_{yi} определяют по следующим формулам:

$$S_i = A_z - B_z \quad (7)$$

$$u_{xi} = A_x + B_x \quad (8)$$

$$u_{yi} = A_y + B_y \quad (9)$$

где:

$$A_z = Z_{0i} - Z_{01} \quad (10)$$

$$A_x = X_{0i} - X_{01} \quad (11)$$

$$A_y = Y_{0i} - Y_{01} \quad (12)$$

$$B_z = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xi} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yi}}} \quad (13)$$

$$B_x = \sum_{i=1}^n \frac{L_i \operatorname{tg} \alpha_{xi}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xi} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yi}}} \quad (14)$$

$$B_y = \sum_{i=1}^n \frac{L_i \operatorname{tg} \alpha_{yi}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xi} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yi}}} \quad (15)$$

где z_{0i}, x_{0i}, y_{0i} - начальные координаты реперной марки, измеренные геодезическими средствами при ее установке, мм;

z_{0i}, x_{0i}, y_{0i} - начальные координаты i -ой марки, измеренные при ее установке геодезическими средствами, мм;

n - порядковый номер марки;

L_i - расстояние между i -ой и $(i+1)$ марками;

α_{xi} и α_{yi} - проекции угла α , образованного вертикалью и прямой, соединяющей центры i -ой и $(i+1)$ марок на плоскости XOZ и YOZ.

5.1.2. Систематическую составляющую погрешности измерения, определяемую как разность координат верхней марки N , находящейся на поверхности сооружения, измеренных инклинометрической системой и геодезическими средствами измерений, распределяют линейно по длине скважины и вводят в результат измерения, как поправку ΔS_i ; ΔU_{xi} ; ΔU_{yi}

$$\Delta S_i = (B_{zN} - C_z) \frac{n}{N} \quad (16)$$

$$\Delta U_{xi} = (B_{xN} - C_x) \frac{n}{N} \quad (17)$$

$$\Delta U_{yi} = (B_{yN} - C_y) \frac{n}{N} \quad (18)$$

где:

$$B_{zN} = \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xi} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yi}}} \quad (19)$$

$$B_{xN} = \sum_{i=1}^N \frac{L_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_{xi}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xi} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yi}}} \quad (20)$$

$$B_{yN} = \sum_{i=1}^N \frac{L_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_{yi}}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xi} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yi}}} \quad (21)$$

$$C_z = Z_N - Z_{01} \quad (22)$$

$$C_x = X_N - X_{01} \quad (23)$$

$$C_y = Y_N - Y_{01} \quad (24)$$

Z_N, X_N, Y_N - координаты верхней марки, измеренные геодезическими средствами в данном цикле измерений, мм.

5.1.3. Систематическую составляющую погрешности измерения, возникающую в результате взаимодействия труб инклинометрических звеньев с грунтом вводят в результат измерения, как поправку по следующей формуле:

$$\Delta_c = \frac{\gamma (E_0 - E_1) (1 - \nu)^2 (1 - 2\nu) D}{E_1 E_0 (1 - \nu)} \cdot (Z_N - Z_L) \quad (25)$$

где: E_0 - модуль деформации грунта;
 E_1 - приведенный модуль деформации зоны грунта, работающей совместно с инклинометрическим звеном;
 ν - коэффициент Пуассона;
 γ - плотность грунта;
 D - диаметр зоны грунта, перекрываемой анкерами инклинометрического звена;
 Z_N - вертикальная координата верхней марки;
 Z_L - вертикальная координата марки, на которой оценивается значение погрешности.

Формула справедлива для слоев плотины, удаленных от гребня и основания не менее, чем на $5D$.

5.1.4. Предел абсолютной погрешности измерения перемещения i -ой марки по каждой из трех координат $\Delta z, \Delta x, \Delta y$ определяют по формулам:

$$\Delta_x = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \alpha_x} \cdot \Delta \alpha_x\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial \alpha_y} \cdot \Delta \alpha_y\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial L} \cdot \Delta L\right)^2} \cdot \frac{\left(\frac{N}{2} - \frac{N}{2} - n\right)}{2} \quad (26)$$

$$\frac{\partial x}{\partial L} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 d_{x_i} + \operatorname{tg}^2 d_{y_i}}} \quad (27)$$

$$\frac{\partial x}{\partial \alpha_x} = L_i \cdot \left(1 - \operatorname{tg}^2 d_{x_i} + \operatorname{tg}^2 d_{y_i}\right)^{-3/2} \cdot \operatorname{tg} d_{x_i} \cdot \cos^2 d_{x_i} \quad (28)$$

$$\frac{\partial x}{\partial \alpha_y} = -L_i \cdot \left(1 - \operatorname{tg}^2 d_{x_i} + \operatorname{tg}^2 d_{y_i}\right)^{-3/2} \cdot \operatorname{tg} d_{y_i} \cdot \cos^2 d_{y_i} \quad (29)$$

ΔL - погрешность преобразователя линейных перемещений;

$\Delta L = \pm 1,5$ мм;

$\Delta \alpha_x$ и $\Delta \alpha_y$ - погрешности преобразователей струнных типа ПУНС, рад;

$$\Delta \alpha = \gamma \cdot D_\alpha$$

где: γ - предел допускаемой основной погрешности, приведенной к диапазону измерений,

$$[\gamma] = 0,01;$$

D_α - диапазон измерения преобразователя ПУНС, рад.

Аналогичные зависимости для двух других координат.

Формула справедлива для слоев плотины, удаленных от гребня и основания не менее, чем на 5Д.

5.2. Результат измерения должен быть представлен именованным числом и наибольшим возможным значением абсолютной погрешности измерения, определенный по формуле п.5.1.4.

5.3 Результаты измерений должны быть оформлены записью в журнале или на магнитном носителе. Рекомендуемая форма журнала регистрации перемещений сооружения приведена в приложении 6.

Приложение 1

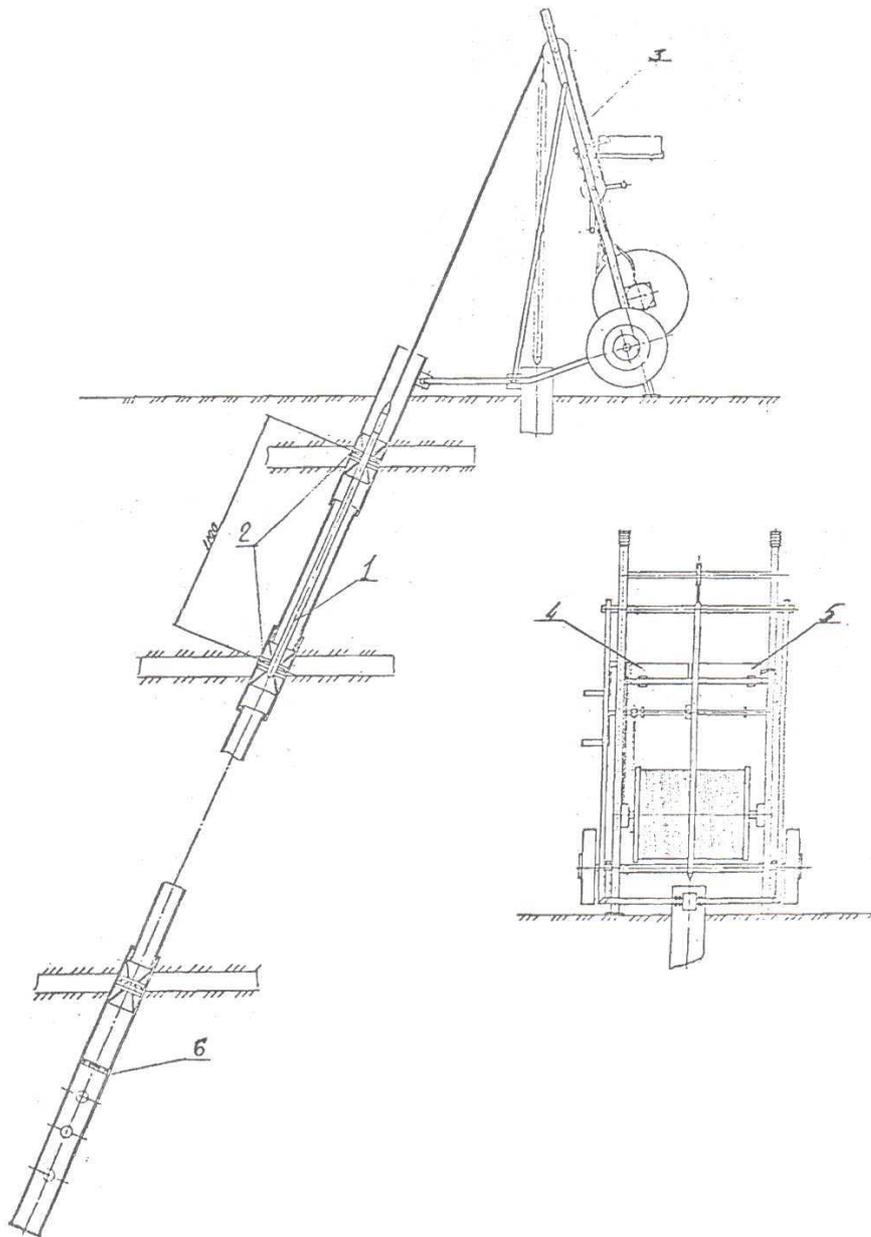


Рис. 1 Общий вид измерительной системы контроля перемещений

- 1 – скважинный снаряд СС1 или СС2; 2 – смежные марки инклинометрического звена;
3 – транспортная тележка; 4 – блок индикации сигналов; 5 – периодомер ПЦПМ;
6 – реперное устройство

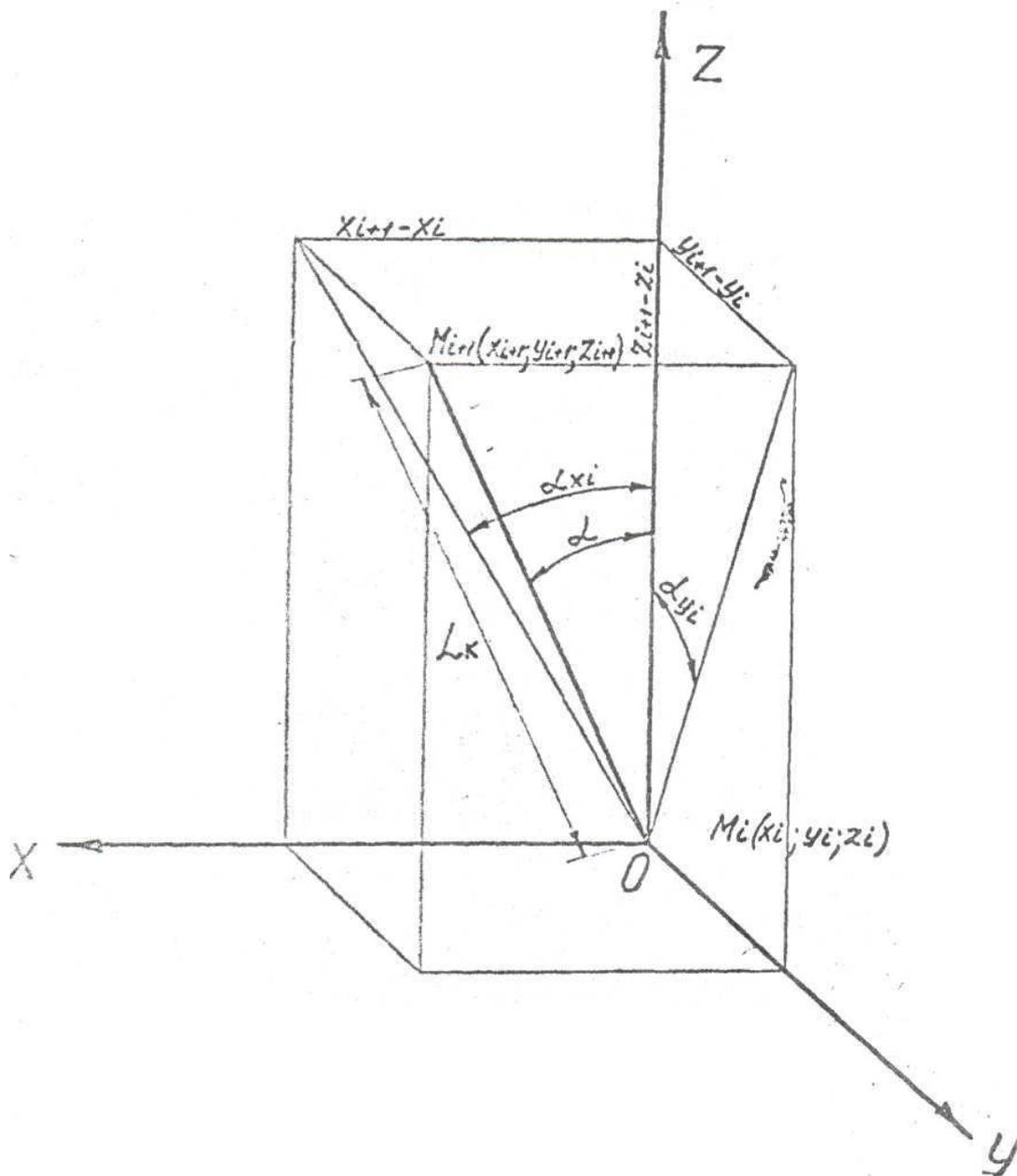


Рис.2 Геометрическая схема измерений

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТИПА ИСКП

1. Метрологические характеристики преобразователей углов наклонов измерительных струнных типов ПУНС-00 и ПУНС-00-01:

Диапазон измерений, рад:	
ПУНС-00	$\pm 0,1$
ПУНС-00-01	$0,3 \div 0,5$
Выходной импеданс на частоте 1,5 кГц, КОм	$0,2 - 0,3$
Выходной электрический сигнал	затухающие колебания электродвижущей силы
Диапазон периодов выходного сигнала (рабочий) мкс	45 – 1250
Амплитуда напряжения выходного сигнала, мВ, не менее	5
Пределы допускаемой основной погрешности, приведенной к диапазону измерений, %	± 1
Предел допускаемой вариации показаний, приведенной к диапазону измерений, %	1
Пределы допускаемой дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры окружающей среды на каждые 10°С, приведенной к диапазону измерений, %	± 1
...	

2. Метрологические характеристики преобразователя линейных перемещений:

Диапазон измерений, мм	$0 \div 120$
Предел допускаемого значения систематической составляющей погрешности, мм	0,25
Предел допускаемого значения среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности, мм	0,2
Номинальное значение установочной базы градуировочного приспособления типа У 402, мм	1080

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРИОДОМЕРОВ ТИПА ПЦПМ

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

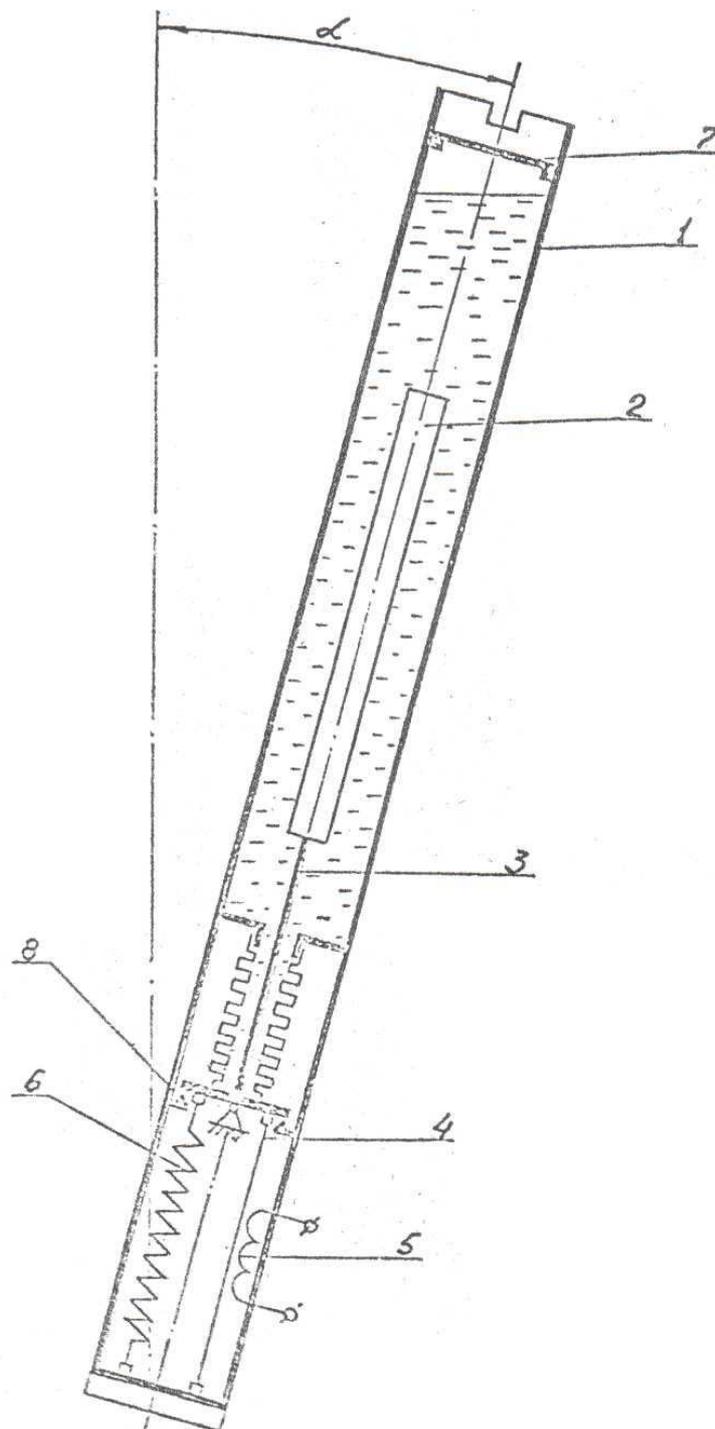


Рис.3. Конструктивная схема преобразователя угла наклона

Техническое описание преобразователя измерительного струнного угла наклона типа ПУНС

Преобразователь угла наклона типа ПУНС, рис.3 состоит из корпуса 1, заполненного маслом; в масле находится поплавок 2, закрепленный на рычаге 3 с упругим шарниром. К рычагу также крепятся струнный преобразовательный элемент (СПЭ), состоящий из струны 4 и электромагнитной головки 5, и пружина 6. Корпус преобразователя ПУНСа герметично закрыт крышкой 7. На корпусе имеются паз и выступ, повернутые на угол 90° относительно друг друга, при помо-

щи которых осуществляется ориентация преобразователей угла наклона относительно друг друга и относительно корпуса СС1. Упругий шарнир позволяет рычагу с поплавком поворачиваться только в плоскости, совпадающей с выступом на корпусе ПУНСа. Угол поворота ограничивается упорами 8. В этой же плоскости расположены СПЭ и пружина, проводятся измерения угла. Работает ПУНС следующим образом: при отклонении корпуса ПУНСа от вертикали вправо или влево на угол до $0,1$ рад (6°) составляющая выталкивающей силы, перпендикулярная оси поплавка создает момент относительно оси упругого шарнира и изменяет силу натяжения струны, что вызывает изменение частоты собственных колебаний струны. СПЭ преобразует частоту собственных колебаний струны в частотно-модулированный электрический выходной сигнал.

Приложение 5

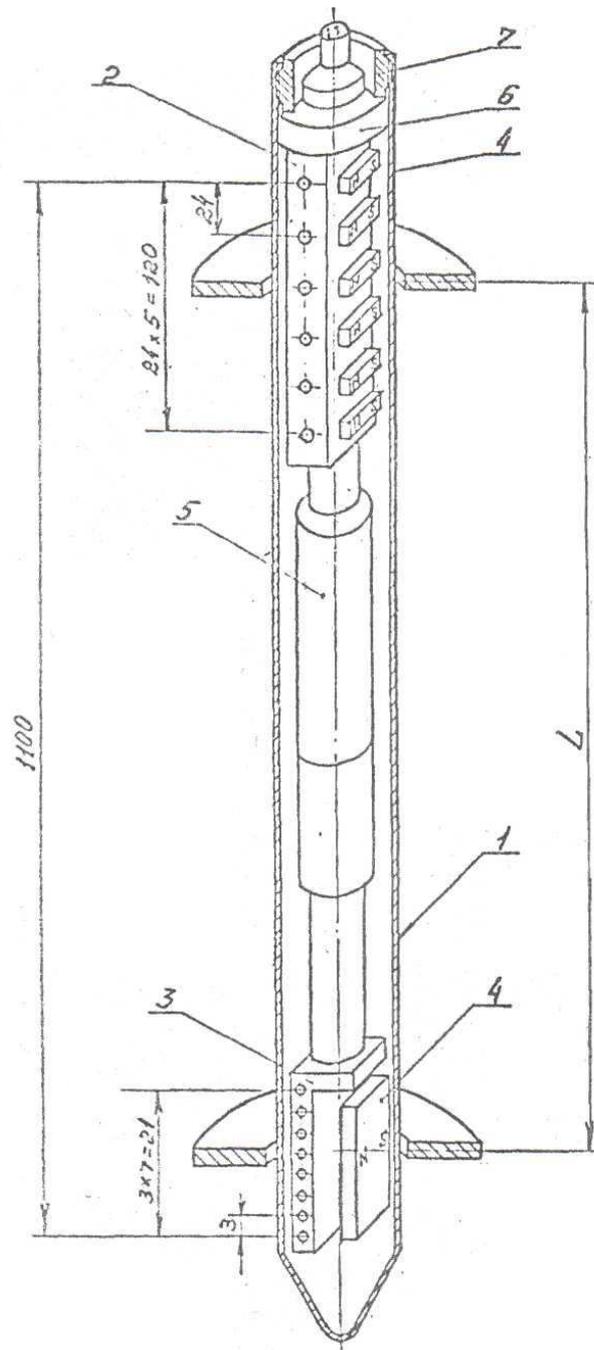


Рис.4. Конструктивная схема преобразователя линейных перемещений.

*Техническое описание преобразователя линейных перемещений,
находящегося в измерительном снаряде СС2*

Скважинный снаряд СС2, рис.4 состоит из корпуса 1, в котором размещены два герконовых преобразователя линейных перемещений: верхний 2 и нижний 3, постоянных магнитов 4, электронного блока 5, заглушки 6 и гайки 7.

Корпус и гайка СС2 аналогичны корпусу и гайке снаряда СС1.

Герконовые преобразователи линейных перемещений, постоянные магниты, электронный блок и заглушка объединены в один блок преобразователей линейных перемещений.

Верхний герконовый преобразователь линейных перемещений состоит из шести герконов, установленных с шагом $l_1 = 24$ мм. Расстояние между крайними герконами равно 120 мм и соответствует максимальной предполагаемой осадке слоя грунта между двумя марками.

Нижний герконовый преобразователь линейных перемещений состоит из восьми герконов, установленных с шагом $l_2 = 3$ мм на расстоянии 21 мм. Расстояние между первым герконом в верхнем герконовом преобразователе и последним герконом в нижнем преобразователе номинально равно 1100 мм и соответствует начальной базе измерения расстояния между двумя смежными марками.

Герконы постоянно замкнуты магнитным полем магнитов.

