

ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВ БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ И ОЦЕНКА ЕГО ПОГРЕШНОСТИ

Марченко Михаил Васильевич, Кущак Стефан Иосифович

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

В работе классифицированы систематические и случайные факторы, влияющие на точность измерений послойных перемещений грунта бесконтактным методом. Приведены обобщенные результаты инженерной оценки суммарной погрешности принятой методики и основных составляющих средств измерений.

Измерение послойных перемещений в основаниях фундаментов имеет особое значение для изучения процессов деформирования грунтов. Точность и достоверность при исследовании сжимаемости грунтов предъявляют жесткие требования ко всему комплексу средств измерений. «Естественный отбор», сопровождающий выполнение полевых экспериментальных исследований на протяжении последних двух десятков лет в ОГАСА, показал надежность и перспективность измерения деформаций грунта бесконтактным методом [1]. За эти годы разработаны и защищены авторскими свидетельствами конструкции глубинных марок, устройства для их установки в грунт, способы фиксации их перемещений и др. [2, 3, 4].

Погрешности измерений. Измерения проводят, чтобы получить численные значения нужной физической величины. В прямых измерениях эти значения получают непосредственно. От-

клонения результатов измерений от истинного значения (которые обычно неизвестны) называют погрешностью измерений. Погрешности измерений подразделяются на две группы: систематические и случайные. Погрешности третьего типа – грубые, как правило, легко выявить и исключить.

Систематические погрешности обусловлены многими причинами, самыми типичными из которых являются: несовершенство измерительной аппаратуры (ошибки линейности, дрейф нулевой точки, градуировочные ошибки) и ее замена; влияние окружающей среды и непостоянство условий опыта; постоянные ошибки экспериментатора; неучтенные влияния других факторов.

Обнаружить и исключить систематические погрешности достаточно трудно и общего рецепта не существует, но оценить их величину можно в соответствии ГОСТ 20522-75 с учетом специальных методик [5, 6, 7].

Случайные погрешности также имеют определенные причины, причем их экстремальное сочетание может привести к такому разбросу измеряемых значений, который зависит от случая и предсказать его в принципе невозможно. Оценить величину погрешностей данного вида можно повторяя измерения до определенного разумного предела (и меняя условия опыта), а полученные результаты обработать с помощью статистических методов [8].

Перемещение глубинных марок в скважине определяется как изменение их высотного положения (нулевого и на i -тый момент времени) в результате какого-либо воздействия на основание. Поэтому оценку погрешности следует четко позиционировать для разностей двойных равноточных измерений.

Расчетная оценка погрешности. Согласно аппроксимации ГОСТ 8.011-72, предельная величина расчетной погрешности средств измерений с доверительной вероятностью 0,95 определяется по формуле

$$\delta_i = \frac{1}{2} \alpha N \Delta_i, \quad (1)$$

где Δ_i – математическое ожидание систематической составляющей погрешности от действия i -го фактора; δ_i – предельное зна-

чение случайной составляющей погрешности от действия i -го фактора.

В качестве граничных условий примем, что максимальное перемещение (осадка) глубиной марки не превысит 0,2 м, а временной промежуток между измерениями изменяется от 15 минут до нескольких суток. Погрешность средств измерений может возникнуть от действия таких факторов:

1. Δ_p – систематическая погрешность от растяжения стальной мерной ленты: при компарировании мерная лента натягивается стандартным усилием и если измерения выполняются с другим грузом, то предельная величина данной погрешности определяется по формуле

$$\Delta_p = \varepsilon \times h = \frac{\Delta P}{E \times F} \times h, \quad (2)$$

где $\Delta P \approx 10$ кН – разность между натяжением компарирования и весом используемого груза; $E = 2,11 \times 10^8$ кН/м² – модуль упругости стали; $F = 2,5 \times 10^{-6}$ м² – площадь поперечного сечения мерной ленты; $h = 0,2$ м – максимальная величина перемещения марки.

Подставляя эти значения получим $\Delta_p = 0,04$ мм.

2. Δ_t – систематическая составляющая погрешности из-за отличия стандартной температуры компарирования и среднегодовой в месте измерения определяется по формуле

$$\Delta_t = \alpha \times h \times (20^\circ - t_{cp.}), \quad (3)$$

где $\alpha = 1,1 \times 10^{-5}$ 1/град – коэффициент линейного расширения стали; 20°C – температура компарирования; $t_{cp.} = 10^\circ \text{C}$ – среднегодовая температура г. Одессы.

Подставляя эти значения получим $\Delta_t = 0,02$ мм.

3. δ_t – случайная составляющая погрешности изменения температуры по глубине скважины и окружающей среды, предельная величина которой определяется по формуле

$$\delta_t = \frac{1}{2} \alpha H \Delta t, \quad (4)$$

где $H = 3$ м – глубина затухания суточных колебаний температур; $\Delta t = 10^\circ \text{C}$ – амплитуда суточных колебаний температур (величины характерные для г. Одессы).

Подставляя эти значения получим $\delta_t = 0,06$ мм.

4. δ_2 – случайная погрешность градуировки 20-сантиметрового участка стальной мерной ленты; по ГОСТ 7502-69 принимаем $\delta_2 = 0,05$ мм.

5. δ_H – случайная погрешность при отклонении линии взгляда от перпендикуляра к нониусу прибора; принимаем равной цене деления нониуса $\delta_H = 0,05$ мм.

Раскрывая исходное выражение получим расчетную оценку предельной погрешности измерения перемещений (осадок) глубинных марок

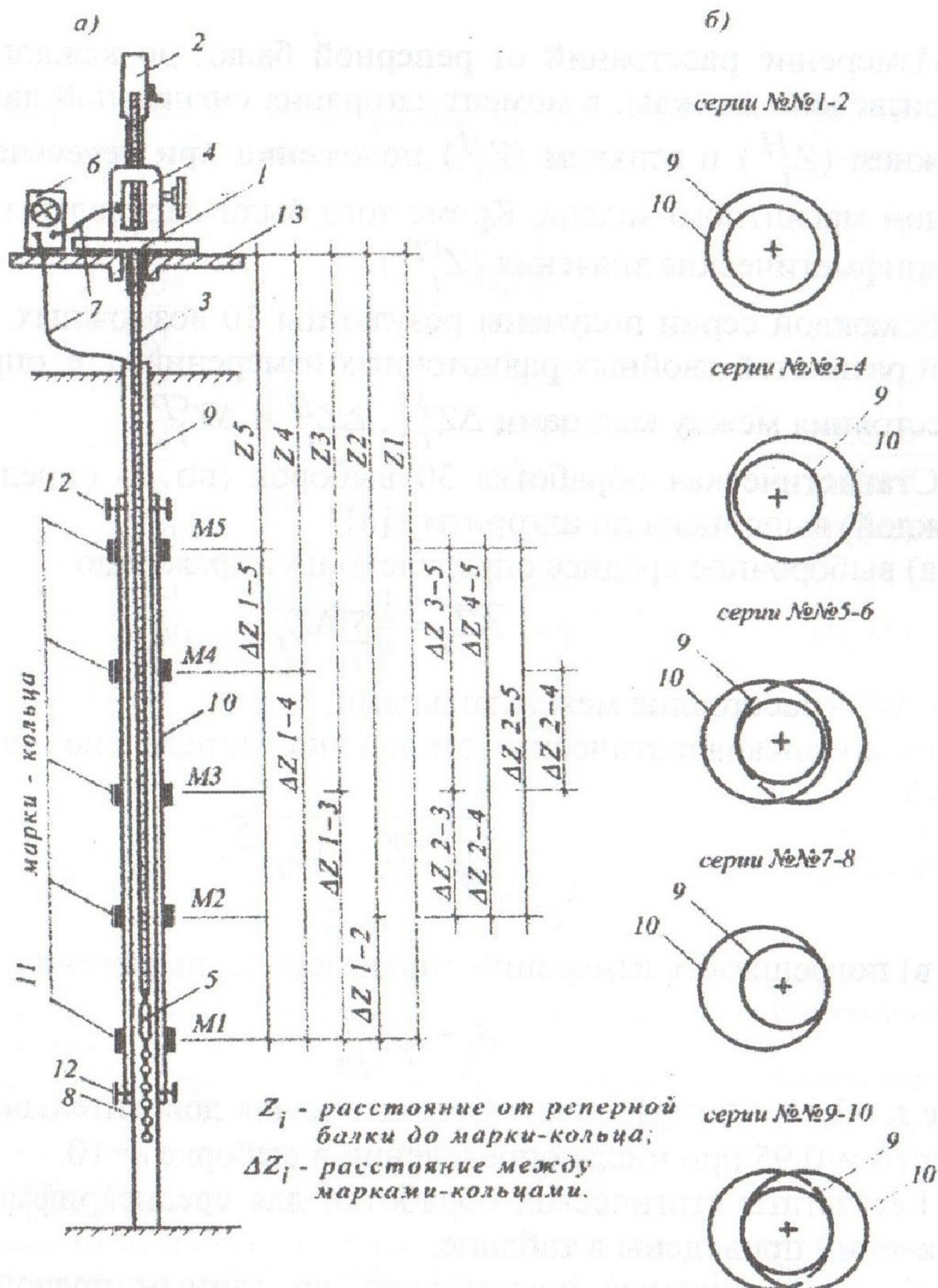
$$\Delta_S = \Delta_P + \Delta_t + 1,2 \sqrt{\delta_t^2 + \delta_2^2 + \delta_H^2}, \quad (5)$$

С учетом вычисленных значений имеем $\Delta_S = 0,17$ мм.

Статистическая оценка погрешности. Выполненная статистическая оценка правомочна для разностей двойных равноточных измерений, а ее величина обусловлена только принятой методикой и параметрами средств измерений.

В первом приближении примем, что при измерениях возможно воздействие таких случайных погрешностей: наклон (перекос) глубинной марки при ее установке в скважине; неравномерность торроидальных магнитных полей колец из намагниченной резины; продольный изгиб направляющей трубки в скважине; изменение зазора между датчиком (герконом) и магнитными кольцами глубинных марок; ошибки отсчетов по нониусу, связанные с параллаксом и определением момента зажигания сигнальной лампочки; температурных перепадов окружающей среды и скважины. Моделирование воздействия рассмотренных выше погрешностей выполнено с помощью специальной установки (рис. 1).

Всего проведено 10 серий измерений. Первые 7 выполнены при комнатной температуре 17 °С, вторые 3 – через 30 минут после открытия наружных дверей и снижения температуры до 4 °С (наружная температура воздуха составляла –3 °С). В каждой серии измерений положение трубы с кольцами относительно направляющей изменялось и фиксировалось с помощью винтов согласно схем (рис. 1, б). Среднее удаление от реперной балки при измерениях было переменным: 0,5 м (серии 1...3), 1,5 м (серии 4...7) и 2,5 м (серии 8...10).



Методика и схема установки для оценки

погрешности измерений бесконтактным методом.

а) схема установки; б) варианты положения подвижной трубы с марками-кольцами относительно направляющей трубки.

1 — измерительный блок; 2 — рулетка; 3 — мерная лента; 4 — нониус; 5 — датчик (геркон); 6 — сигнальный элемент с источником тока (эл. фонарик); 7 — эл. проводники; 8 — груз; 9 — направляющая трубка; 10 — подвижная труба; 11 — марками — кольца; 12 — винты для фиксации; 13 — реперная балка.

Измерение расстояний от реперной балки до каждого кольца произведено дважды: в момент загорания сигнальной лампочки в нижнем (Z_i^H) и верхнем (Z_i^B) положении при пересечении герконом магнитного кольца. Кроме того были определены их среднеарифметические значения (Z_i^{CP}).

В каждой серии получены результаты 10 возможных комбинаций разностей двойных равноточных измерений, т. е. определены расстояния между кольцами ΔZ_i^H , ΔZ_i^B и ΔZ_i^{CP} .

Статистическая обработка 30 выборок (по 10 определений в каждой) выполнена по алгоритму [8]:

а) выборочное среднее определено по выражению

$$\bar{\Delta Z}_i = \frac{1}{n} \sum_i \Delta Z_i, \quad (6)$$

где ΔZ_i — расстояние между кольцами;

б) среднеквадратическое отклонение определено по выражению

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_i (\bar{\Delta Z}_i - \Delta Z_i)^2}{n-1}}, \quad (7)$$

в) погрешность измерений определена по выражению

$$\delta_i = t_\gamma \frac{S_i}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

где $t_\gamma = 2,26$ — коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ при числе определений в выборке $n = 10$.

Результаты статической обработки для среднеарифметических значений приведены в таблице.

Средневзвешенная погрешность по данным правой колонки таблицы составила $\delta = 0,04$ мм, а относительная погрешность не превысила величины $\varepsilon = 0,0002$.

Безусловно, в полевых условиях при длительных во времени экспериментальных исследованиях погрешность измерений может несколько возрасти, но соблюдая простые приемы и правила это увеличение можно свести к нулю.

№ КОЛЕС	Выборочное среднее расстояние, $\overline{\Delta Z}_i$, мм	Среднеквадратичное отклонение, S_i , мм	Погрешность, δ_i мм
1-2	100,06	0,059	$\pm 0,042$
1-3	219,04	0,081	$\pm 0,058$
1-4	298,67	0,075	$\pm 0,054$
1-5	419,92	0,068	$\pm 0,049$
2-3	118,99	0,053	$\pm 0,038$
2-4	198,61	0,014	$\pm 0,010$
2-5	319,89	0,066	$\pm 0,047$
3-4	79,63	0,049	$\pm 0,035$
3-5	200,90	0,058	$\pm 0,041$
4-5	121,27	0,032	$\pm 0,023$

Вывод: разработанная методика и средства измерений достаточно просты, надежны и удобны в работе, а точность при измерениях послойных перемещений грунта может быть принята 0,1 мм.

Список литературы

1. Burland J.V., Moore J.F.A., Smith P.D.K. A simple and precise borehole extensometer. – Geotechnique. 1972, v. 22, №1, pp. 174-177.
2. Тугаенко Ю.Ф., Стоянова Т.И., Марченко М.В., Ткалич А.П. Глубинная марка. А.С. №1065531 (СССР) – Оpubл. в Б. И., 1984, №1.
3. Тугаенко Ю.Ф., Марченко М.В., Грицаенко Б.А., Крыжановский Г.Г. Устройство для измерения послойных деформаций грунта. А.С. №1219724 (СССР) – Оpubл. в Б. И., 1986, №11.
4. Тугаенко Ю.Ф., Демчук С.Е., Куцак С.И., Марченко М.В. Устройство для установки марок в грунт. А.С. №1390298 (СССР) – Оpubл. в Б. И., 1988, №15.
5. Собенин А.А., Габдрахманов Ф.Г., Николов А.Н., Зиновьева И.Д. Методика бесконтактного измерения вертикальных перемещений грунта в основаниях сооружений. – В кн.: Межвузовский тематический сборник трудов "Механика грунтов, основания и фундаменты". – Ленинград, 1980. – С. 78-86.
6. Дубинчук В.Т., Шустов В.М. Измерения при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. – М.: Недра, 1984. – 191 с.
7. Большаков В.Д., Маркузе Ю.И. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений. – М.: Недра, 1984. – 352 с.
8. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятности и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1979. – 400 с.