

Системы мониторинга для оценки устойчивости склонов грунта. Состояние вопроса

Г.Г.Болдырев

(Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

Болдырева Е.Г., Идрисов И.Х.

(ООО «Геотек»)

В последние годы используются, преимущественно, две технологии для измерения величины смещения естественных массивов грунта – склонов или технических земляных сооружений в виде насыпей и котлованов. К первой относятся измерительные системы, позволяющие определить как начало движения грунта, так и вектор перемещения по трем возможным направлениям. Во втором случае используются измерительные системы способные зафиксировать начало движения грунта и относительную величину перемещения без оценки направления движения.

В первом случае для оценки, например, движения склонов грунта, используются различные типы датчиков, включая многоточечные тензометры, датчики наклона (инклинометры), датчики перемещения (LVDT) и датчики влажности. Эти датчики устанавливаются в предварительно пробуренные скважины (рис. 1, 2) глубиной 20-30 м при этом только стоимость их монтажа (включая проходку скважин) составляет более 50 \$ на погонный метр. Стоимость самих датчиков в значительной степени зависит от их типа и предприятия изготовителя /1,2/.

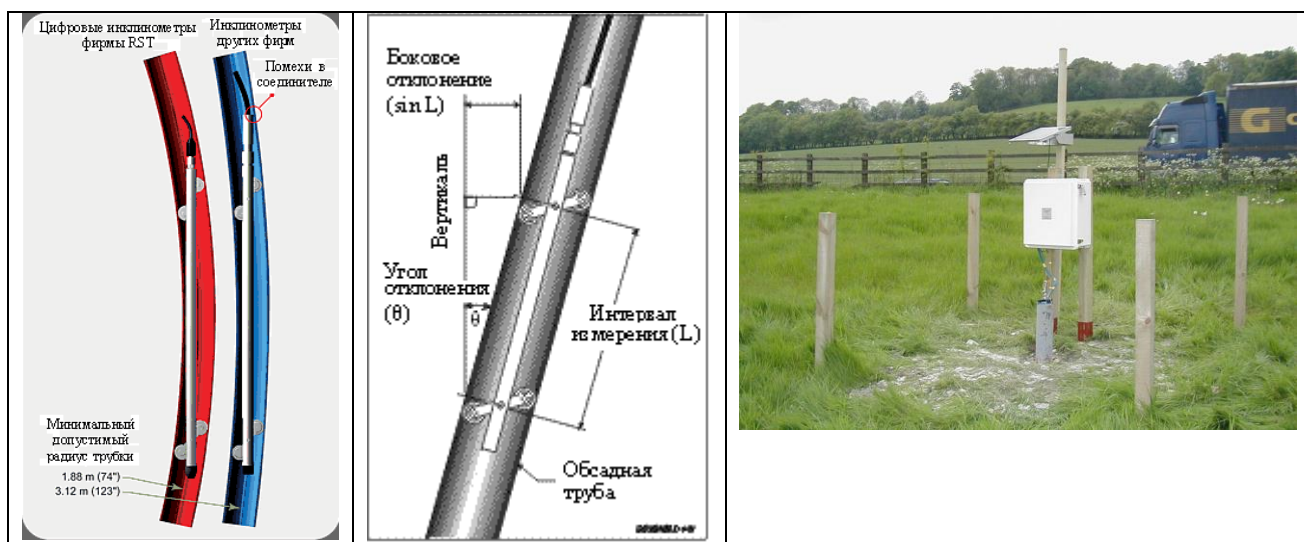


Рис. 1. Инклинометры различных фирм: а – RST Instrument LTD /1/; б – Slope Indicator.com /2/; в – пример оснащения скважины инклинометрами и солнечной батареей (с сайта www.geo-observations.com)



Рис. 2. Схема расположения акселерометров MEMS и внешний вид нескольких звеньев инклинометра (Zeghal, /3/)

На рис. 2 показано применение MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) датчиков, устанавливаемые в гибкой водонепроницаемой трубке с целью измерения трехмерной деформации грунта с интервалом от 0,5 до 1,0 м до глубины 30 м /3/. Эти датчики (ADXL) способны также измерять боковое ускорение в грунте. Датчики серии ADXL разработаны фирмой Analog Devices и имеют в настоящее время размер 10x10x4 мм. Тенденция их развития такова, что их размер и стоимость с каждым годом уменьшаются. Стоимость датчика сегодня составляет от 4 до 18 \$ США. Авторы /3/ отмечают, что их устройство позволяет измерять угол наклона $\pm 45^\circ$ от вертикали и одновременно ускорение колебаний $\pm 2g$. Следует иметь в виду то, что устройство, в котором находится датчик, например, MEMS и которое погружается в скважину значительно дороже самого датчика. Обычно, это устройство называется инклинометром (см. рис. 1 а,б). На рис. 2 показана гирлянда инклинометров длиной 500 мм, соединенных между собой в единую цепь с выводом сигналов на поверхность грунта. Далее сигналы передаются по проводной или беспроводной связи на компьютер.

Вторая система значительно проще и поэтому дешевле /5,6/. Для обнаружения глубины раздела смещаемого массива грунта от неподвижного (положения поверхности скольжения) применяется коаксиальный кабель, который погружается в грунт задавливанием полой штангой или устанавливается в предварительно пробуренную скважину с ее последующим тампонированием раствором воды, портландцемента и бентонитовой глины (рис. 3).

Сущность метода заключается в том, что при генерировании в кабеле электрического импульса он отражается в местах его деформации и регистрируется приемным устройством. Это позволяет определить местоположение зоны сдвига в массиве грунта.

В иностранной литературе этот метод имеет сокращенное обозначение как TDR – time domain reflectometry.

TDR имеет следующие преимущества по сравнению с инклинометрами:

- низкая стоимость установки
- нет ограничений на глубину скважины
- непосредственное определение начала движения

В то же время этим методом невозможно определить направление движения массива грунта.

На рис. 4 показан пример использования коаксиального кабеля расположен-

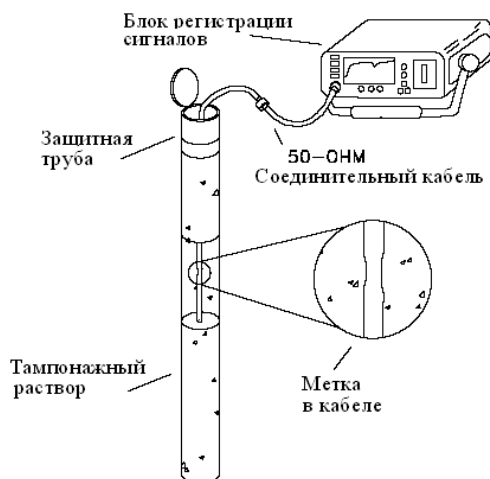


Рис. 3. Схема установки кабеля и устройство регистрации данных (Dowding, 2000)

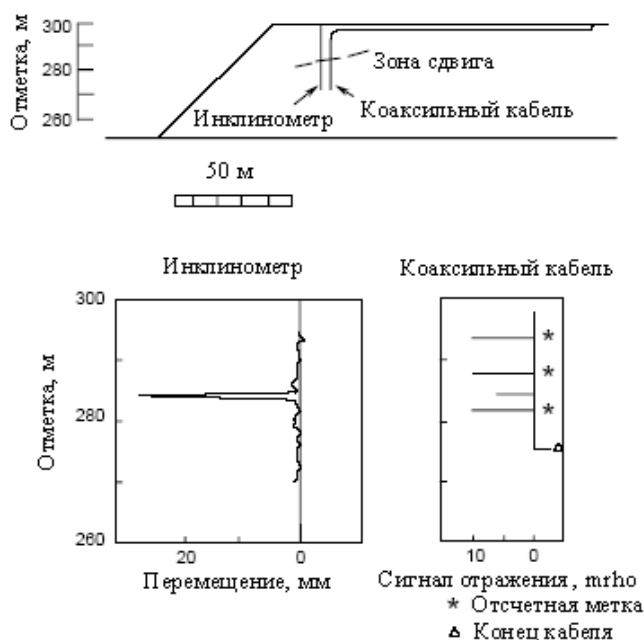


Рис. 4. Установка инклинометра и коаксиального кабеля: а – расположение; б – приращение перемещения инклинометра и формы волны за одно считывание (Dowding, 2000)

ного в 10 м от скважины с инклинометром /5/. Отражение сигнала получено на глубине 18 м. Это совпадает с положением зоны сдвига и результатами измерения приращения перемещения посредством инклинометра (рис. 4 б).

В связи с тем, что одной скважиной невозможно оценить направление и глубину смещаемого массива грунта склона, то приходится устраивать сеть скважин с различным размещением их в плане и по глубине. Информация с каждой скважины передается по проводной или беспроводной связи на центральный процессор, где обрабатывается по специальным алгоритмам.



Рис. 5. Общий вид сенсорного узла различных фирм: а – Microstrain /8/; б – Crosbow /9/; в – ООО «Геотек» /10/

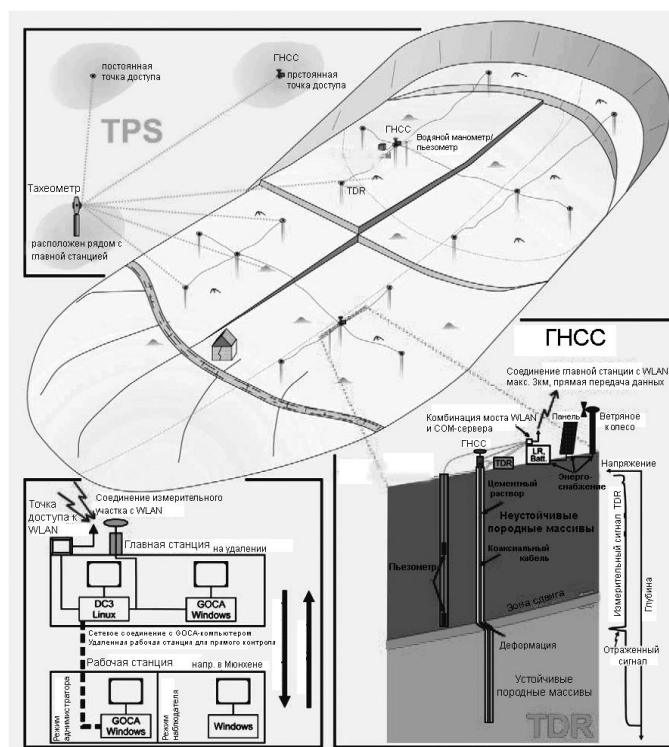


Рис. 6. Функциональная схема сенсорной сети для оценки устойчивости склонов (Singer et al., 2006)

В последнее время для передачи информации используется беспроводная радиосвязь на частотах от 400 Гц до 2,5 ГГц. В качестве датчиков используются отмеченные ранее датчики. Датчики, подключенные к устройству, которое выполняет усиление сигналов, их преобразование в цифровой код и передачу по радиочастоте. Это устройство называется сенсорным узлом (рис. 5). Так как скважин может быть достаточно много, то сенсорные узлы в совокупности образуют сеть. При мониторинге склонов размер сенсорной сети зависит от количества скважин и числа датчиков, размещаемые в каждой скважине. Примеры функциональной схемы сенсорной сети и сенсорного узла показаны на рис. 6, 7.

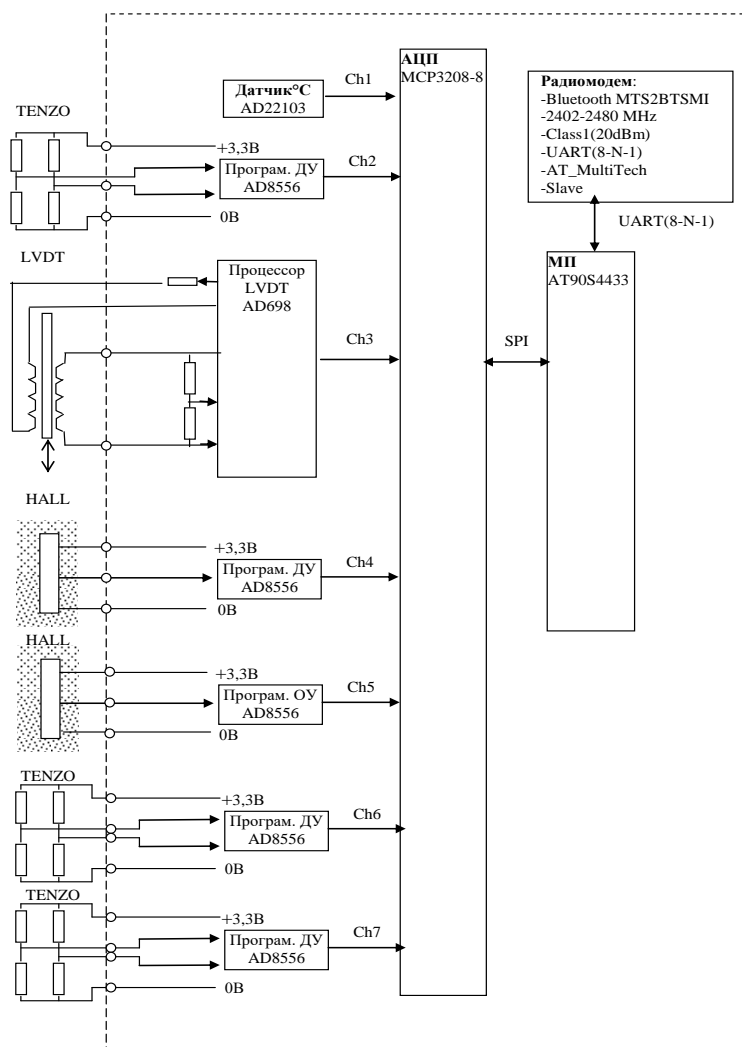


Рис. 7. Функциональная схема сенсорного узла ООО «Геотек»

К каждому сенсорному узлу подключается определенное количество датчиков, не более восьми. Один из них датчик температуры. На скважине устанавливается, как правило, один сенсорный узел. Количество датчиков определено мощностью автономного источника питания (батарея, аккумулятор) сенсорного узла. При использовании солнечных батарей (рис. 1

в) или внешнего источника питания количество датчиков на одну скважину не ограничено и определяется проектом.

При сборе информации с датчиков используются в основном две процедуры. В первой, информация с датчиков (сигналы в дискретной форме) передаются периодически с заданным интервалом времени на удаленный компьютер с целью их последующей обработки. Вторая процедура отличается тем, что сигналы с датчиков передаются на компьютер, только после наступления определенного события, например изменения угла наклона датчика на определенную величину. Это позволяет сократить потребление энергии и увеличивает тем самым жизненный цикл сенсорного узла без замены источника питания.

В некоторых случаях используются обе процедуры одновременно (Sheth, 2005 /4/). В этой работе авторы описывают использование сенсорных узлов (Mica2 /8/) с подключенными к ним датчиками деформации для мониторинга скальных пород. Особенностью проекта является применение процедуры локального сглаживания сенсорных данных и создание специальных обобщений перед передачей информации с определяемым периодом через Интернет на компьютер. Скорость передачи данных выбирается переменной от 3 до 30 минут. Наименьшее значение рекомендуется при малых деформациях. В течение периода возрастания деформации, которую обнаруживают датчики, скорость передачи данных увеличивается до 3 минут. На каждом сенсорном узле перед передачей данных применяется их экспоненциальное весовое осреднение.

В заключение достаточного краткого обзора состояния вопроса можно сделать следующие основные выводы.

1. В настоящее время технически возможно решить задачу мониторинга склонов с использованием беспроводной системы передачи информации и различных типов датчиков.
2. Выбор системы мониторинга определяется конкретной задачей. Наиболее перспективным направлением является использование систем мониторинга с датчиками, которые позволяют определять как ускорение колебаний грунта, так и углы наклона по трем взаимно перпендикулярным осям.

Литература

1. RST Instrument LTD.
2. Slope Indicator.com.
3. Zeghal M., Abdoun T., Oskay C. A Novel-Shaped-Acceleration Array and Local Identification of Geotechnical Systems. International Workshop for Site Selection, Installation, and Operation of Geotechnical Strong-Motion Arrays.

4. Sheth A. et al. Poster Abstract: SenSlide – A Sensor Network Based Landslide Prediction System. SenSys`05, November 2-4, 2005, San Diego, California, USA.
5. Dowding H.C., O'Connor M.K. Comparison of TDR and Inclometers for Slope Monitoring. GeoDenver, 2000.
6. Dennis N.D., Ooi C.W., Wong V.H. Monitoring Shallow Slope Failures in Residual Soils Using Time Domain Reflectometry. TRB 2006 Annual Meeting CD-ROM.
7. Singer J., Thuro K., Sambeth U. Development of a Continuous 3-D Monitoring Systems for Unstable Slopes Using TDR. FELSBAU 24, 2006.
8. MicroStrain Microminiature Sensors. V-link analog input datalogging transceiver. <http://www.microstrain.com>.
9. Crossbow. Mica2– wireless measurement system. <http://www.xbow.com/Products>.
10. ООО «Геотек». Беспроводная система сбора данных. 2007. (<http://www.geoteck.ru>)