



Методика проведения натуральных экспериментальных исследований на оползневых склонах и дорожных конструкциях на них с использованием виброизмерительного комплекса

А.С. Конорев, А.А. Вершняк, Р.В. Дискант, А.М. Хомяков

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассмотрена методика проведения натуральных экспериментальных исследований на оползневых склонах и дорожных конструкциях на них с использованием виброизмерительного комплекса.

Ключевые слова: Оползневый склон, эксперимент, микросейсмические колебания, мониторинг, динамическое деформирование, виброизмерение, модель.

Оползнем называют отделившуюся массу рыхлых горных пород, постепенно или скачками оползающих по наклонной плоскости отрыва, при этом часто сохраняя свою связанность и монолитность, не опрокидывая при этом свой грунт.

Оползневые процессы представляют собой последовательные изменения состава, состояния и свойств оползня с момента его зарождения и перемещения на другой уровень вплоть до полного затухания, проявляющиеся в деформациях слагающих оползень горных пород.

Наиболее часто оползни возникают на склонах, сложенных чередующимися водоупорными и водоносными породами. Смещение крупных масс земли или породы по склону или клифу вызывается в большинстве случаев смачиванием дождевой водой грунта так, что масса грунта становится тяжелой и более подвижной. Может вызываться также землетрясениями или разрушающей деятельностью моря. Силы трения, обеспечивающие сцепление грунтов или горных пород на склонах, оказываются меньше силы тяжести, и вся масса горной породы приходит в движение.

Оползневые процессы являются повсеместными элементами рельефа Северо-Кавказского региона. Они активно проявляются и представляют



реальную угрозу на территории многих населенных пунктов региона, включая целый ряд много заселённых городов. Их подвижки относятся к разряду катастрофических природных явлений и наносят большой ущерб. Участки автомобильных дорог значительные по протяженности, особенно в предгорных и горных районах, подвержены их периодическому неблагоприятному воздействию. В связи с этим вопросы устойчивости оползневых склонов и методики их определения, а также сооружений расположенных на них чрезвычайно актуальны и привлекают внимание многочисленных исследователей [1-4].

Строительство различных инженерных сооружений, в том числе автодорог, как правило, приводит к повышению вероятности подвижек оползневых склонов. Причина этому, дополнительное нагружение неравновесной системы с изменением уровня и распределения потоков грунтовых вод. В современных условиях преобладающее количество оползневых явлений на обжитой и обсеваемой территории происходит в результате антропогенной деятельности. Движущийся по дорожной конструкции транспорт также оказывает достаточно интенсивное динамическое воздействие со сложным частотным спектром как на саму дорожную конструкцию, так и на грунтовый массив, прилегающий к ней [5]. Этот фактор также может оказывать существенное влияние на устойчивость оползневых склонов и может инициировать их подвижки.

Методика проведения практических мероприятий мониторинга динамических характеристик автомобильных дорог на участках оползневых склонов включает ряд отдельных этапов, с проведением большого числа измерений для получения объективной информации об оптимальных способах реализации измерений с получением достоверной информации об основных характеристиках динамического деформирования элементов системы. Мониторинг характеристик динамического деформирования



элементов систем «дорожная конструкция – оползневой склон» основан на использовании экспериментальных средств и методов.

При экспериментальных исследованиях по регистрации динамических характеристик системы на участках оползневых склонов используется мобильный 12 – канальный виброизмерительный комплекс. В состав комплекса входят пьезокерамические виброакселерометры, аналого-цифровой преобразователь и мобильный компьютер типа «Notebook», в котором отображаются и записываются оцифрованные результаты эксперимента. Необходимой составляющей мониторинга является использование специализированных программных средств обработки, систематизации и хранения экспериментальных данных на ПК.

В общем случае, проведение натурных экспериментальных исследований определяется планированием и практической реализацией работ по получению достоверной информации об основных характеристиках динамического деформирования элементов системы «дорожная конструкция – оползневой склон».

Методика исследований опирается в основном на экспериментальные методы и достаточно простые расчетные модели, в различной степени использующие эмпирические соотношения.

Изучение основных характеристик динамического деформирования оползневых и устойчивых участков склонов, а также дорожных конструкций, возведенных на них, позволит получить объективную информацию, необходимую для выявления потенциально опасных возможных подвижек участков склонов, оценки их протяженности и оценить эффективность предлагаемых технических решений по укреплению склонов и конструкций.

Обработка, систематизация и хранение данных натурального эксперимента должна проводиться по разработанным специализированным



прикладным программам, реализующим возможности гармонического и корреляционного анализа, статистических методов обработки сигналов.

Методика проведения натуральных экспериментальных исследований на оползневых склонах и дорожных конструкциях с использованием виброизмерительного комплекса включает:

- выбор мест установки датчиков и их ориентации в конкретной ситуации;
- требования по оптимальному согласованию датчиков с поверхностью склона или элементом дорожной конструкции;
- выбор способа и мест тарированного воздействия на дорожную конструкцию и склон.

Выбор мест установки датчиков на склоне и их ориентации определен двумя факторами:

- первый из них связан с рельефом (крутизной) склона выше и ниже дорожной конструкции – определяется визуально;
- второй определен частотным диапазоном колебаний, наиболее опасных с точки зрения подвижки (до 40 Гц). Длина волны в рамках этого частотного диапазона от 10 м до 200 м. Таким образом, максимальное расстояние между датчиками (порядка 1/4 от минимальной длины волны, т.е. не более 2,5 м) – непосредственно определяется по результатам пробных замеров амплитудно - временных характеристик и получения по ним частотных спектров.

Необходимость получения информации об амплитудных характеристиках колебаний склона и дорожной конструкции, ориентированных по касательной и нормали к поверхности, определяет требования к ориентации плоскости установки двухкомпонентных датчиков по линии падения воды. В то же время, для возможности сопоставления результатов замеров на различных участках склона переменной крутизны естественно ориентировать датчики единообразно (вертикаль – горизонталь)



с последующим пересчетом всех характеристик на основе замера угла наклона склона в месте установки датчика.

Размещение двухкомпонентных датчиков на дорожной конструкции необходимо проводить вдоль крайних полос наката покрытия и на обочине (на оползневом участке склоне и вне его), причем минимум 2-3 датчика необходимо устанавливать на устойчивом участке склона.

Расстояние между датчиками не более 10 м. Ориентация компонент – по вертикали и в поперечном направлении (горизонталь). Каждая точка установки датчика на конструкции сопровождается установкой 1 – 2-х двухкомпонентных датчиков по линии падения склона на расстоянии до 20 м от нее. При этом оси датчиков ориентируются по линии падения склона вертикально и горизонтально, с фиксацией угла наклона склона к горизонту (для возможности пересчета величин сдвиговой и нормальной составляющей вектора).

Оптимальное согласование датчика со склоном определяет равенство компонент вектора ускорения поверхности склона в месте установки датчика с ускорением самого датчика.

Для достижения этой цели используем согласующие устройства, на которых размещаются датчики, и учитываем следующие факты:

- размер площадки контакта датчика с поверхностью грунта должен обеспечивать устойчивую ориентацию датчика и быть существенно меньше длины волны на максимальной частоте колебаний;
- масса датчика с согласующим устройством - минимальна и определяется максимальной частотой колебаний. Например, на низких частотах (до 10 Гц.) суммарная масса датчика и согласующего устройства может достигать 25-30 кг, а на высоких (до 500 Гц) не должна превышать 1 кг.

В низкочастотном диапазоне в качестве согласующего устройства можно использовать цементобетонные постаменты (заглубленные в



приповерхностный слой склона бетонные заливки размером 25x25x20 см) с узлами крепления датчиков. Подобные постаменты используются при геофизических исследованиях и позволяют обеспечить необходимые условия согласования датчиков с грунтом в диапазоне частот до 300 Гц. Как правило, такие постаменты используются на стационарных точках наблюдения, т.к. не дают возможности оперативно изменять места установки датчиков. По этой причине постаменты устанавливаются на ограниченном количестве точек склона, где проводятся постоянные измерения.

В остальных точках наблюдения измерения проводятся с использованием других типов согласующих устройств – металлических пластин размером 15x15x1 см с узлами крепления однокомпонентных акселерометров, ориентированными по трем взаимно ортогональным направлениям. Основным моментом при использовании таких устройств является их правильная установка на подготовленный участок поверхности склона.

Подготовка поверхности склона включает в себя:

- выравнивание горизонтальной площадки с удалением с нее травы, щепок, щебня и других неоднородностей;
- смачивание поверхности площадки;
- «притирание» к ней нижней грани согласующего устройства до достижения полного контакта пластины со склоном, требующего усилия для отрыва пластины от поверхности.

При выполнении этих условий результаты измерений на постаментах и мобильных согласующих элементах практически тождественны во всем частотном диапазоне до 400-500 Гц.

Особо следует выделить вопрос выбора тарированных средств динамического воздействия на дорожную конструкцию или участок оползающего склона. Это связано с необходимостью проведения



сопоставительного анализа для различных участков экспериментальных исследований.

При проведении натурных исследований по регистрации характеристик колебаний склона и дорожной конструкции и сопоставительного анализа результатов мониторинга динамических характеристик различных участков автомобильной дороги требуется обеспечить стабильные характеристики динамического воздействия на систему.

Для достижения этой цели естественно использовать тарированный источник колебаний типа «падающий груз» [9], обеспечивающий частотный спектр воздействия, близкий к постоянному во всем диапазоне чувствительности датчиков (от 1 до 500 Гц.). Этот источник колебаний целесообразно прикладывать к поверхности дорожной конструкции.

Уточнения данных следует проводить воздействием источником типа «падающий груз» непосредственно на наиболее слабый участок склона вне конструкции, подготовив для этого специальную горизонтальную площадку.

Учитывая относительно малую энергию подобного тестового воздействия, а также тот факт, что он не отражает спектра реального воздействия движущихся транспортных средств, а также характеристик ровности покрытия, целесообразно включить в схему замеров в качестве источника колебаний «тарированное» транспортное средство, характер воздействия которого на конструкцию достаточно хорошо известен (например, за счет установки датчиков на ось транспортного средства).

Существенным моментом при проведении экспериментальных исследований является необходимость мониторинга динамических характеристик отклика склонов и элементов дорожных конструкций в различные периоды года. Наиболее информативными являются измерения, проведенные в период максимального ослабления грунта при высокой влажности.



Полученные результаты, таким образом, сопоставляются между собой и с расчетными данными, полученными по механико-математической модели системы «дорожная конструкция – оползневой склон», для выявления опасных (с точки зрения подвижек склона) тенденций его динамического поведения.

Основные результаты исследований:

1. Разработана методика проведения натуральных экспериментальных исследований на оползневых склонах и дорожных конструкциях на них с использованием виброизмерительного комплекса;
2. Определён выбор мест установки датчиков и их ориентации в конкретной ситуации;
3. Найдена технология согласования датчика со склоном, определяющаяся равенством компонента вектора ускорения поверхности склона в месте установки датчика с ускорением самого датчика;
4. Определена технология обеспечения стабильных характеристик динамического воздействия на оползневые участки.

Литература

1. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. 2-е изд. М: Транспорт, 1987. – 275 с.
2. Львович Ю.М., Мотылев Ю.Л. Укрепление откосов земляного полотна автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1979. – 158 с.
3. Николенко М.А. Бессчетнов Б.В. Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетона дорожных покрытий // Инженерный вестник Дона URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/856
4. Браславский В.Д. Совершенствование методов проектирования дренажных конструкций земплотна // IV Всесоюзное совещание дорожников: Сб. докладов. М.: Тр. Союздорнии, 1981. С. 15-16.



5. Львович Ю.М. Противооползневые конструкции и мероприятия на автомобильных дорогах. Экспресс – информация по отечественному и зарубежному опыту/ ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. – М., 1982. – 35 с.
6. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. - М.: Недра, 1972г. – 3 с.
7. Е.В. Углова, А.Н. Тиратурян, В.В. Акулов. Учет вероятностной составляющей при назначении проектных модулей упругости слоев асфальтобетона // Инженерный вестник дона URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_92_Uglova.pdf_ce8e352898.pdf
8. Браславский В.Д. Определение устойчивости оползневых склонов. // Автомобильные дороги. М.: 1975. С. 34-36.
9. Николенко М.А. Выбор стратегии ремонта участков автомобильных дорог на основе оценки состояния дорожных конструкций методом спектрального анализа вол новых полей // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» №4 2012, Москва, 2012. URL: naukovedenie.ru/PDF/42trgsu412.pdf 8.
10. Clarice Romer, Maria Ferentinou Shallow landslide susceptibility assessment in a semiarid environment — A Quaternary catchment of KwaZulu-Natal, South Africa // Engineering Geology. 2016. №201. pp. 29-44.
11. Yun Liao, Sadek M. Derrega, Craig A. Hall A case history study on causation of the landslide in Santa Clara, California, USA // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2015. №7. pp 185-192.

References

1. Babkov V.F., Andreev O.V. Proektirovanie avtomobil'nyh dorog. 2.e izd, [Design of highways. Part № 2]. M: Transport, 1987. p 275.
2. L'vovich Ju.M., Motylev Ju.L. Ukreplenie otkosov zemljanogo polotna avtomobil'nyh dorog , [Strengthening the slopes of the roadbed of motor roads]. M.: Transport, 1979. p 158.



3. Nikolenko M.A. Besschetnov B.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). URL: [ivdon.ru/ru/magazine.archive.n2y2012.856](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012.856)
4. Braslavskij V.D. Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya drenaznykh konstrukcij zemplotna. IV Vsesojuznoe soveshanie dorozhnikov: Sb. dokladov. M.: Tr. Sojuzdornii, 1981. pp. 15.16.
5. L'vovich Ju.M. CBNTI Minavtodora RSFSR. M., 1982. .p 35.
6. Emel'janova E.P. Osnovnye zakonomernosti opolznevykh processov [The main regularities of landslide processes]. M.: Nedra, 1972g. p 3.
7. E.V. Uglova, A.N. Tiraturjan, V.V. Akulov. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). URL: [ivdon.ru/uploads.article.pdf.IVD_92_Uglova.pdf_ce8e352898.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article.pdf.IVD_92_Uglova.pdf_ce8e352898.pdf)
8. Braslavskij V.D. Avtomobil'nye dorogi. M.: 1975. pp. 34.36.
9. Nikolenko M.A. Internet.zhurnal «NAUKOVEDENIE» №4 2012, Moskva, 2012. URL: naukovedenie.ru/PDF.42trgsu412.pdf 8.
10. Clarice Romer, Maria Ferentinou Shallow landslide susceptibility assessment in a semiarid environment. A Quaternary catchment of KwaZulu.Natal, South Africa. Engineering Geology. 2016. №201. pp. 29.44.
11. Yun Liao, Sadek M. Derrega, Craig A. Hall A case history study on causation of the landslide in Santa Clara, California, USA . Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2015. №7. pp. 185.192.