

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА УЧАСТКЕ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА АВТОДОРОГЕ ДЖУБГА – СОЧИ

Условия эксплуатации автомобильных дорог напрямую связаны со спецификой регионального геологического строения и климатическими особенностями территорий. На конструкции дорожных одежд и искусственных сооружений, помимо всего комплекса экзогенных процессов (метеорологические условия, температурный и влажностный режимы), оказывают влияние опасные геологические процессы (ОГП).

Проектирование и эксплуатация транспортных сооружений в районе г. Сочи имеют свою специфику: широко распространены оползневые и обвално-осыпные процессы, рельеф района сильно расчленен, к неблагоприятным факторам относится повышенная сейсмичность. Все это, наряду со сложным и неоднородным геологическим строением, делает затруднительным корректный расчет работы сооружений и прогноз развития ОГП в процессе эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры. Для уменьшения неминуемой «погрешности» в расчетах работы сооружений и конструкций проектировщиками используются современные аналитические программные комплексы с возможностью решения нелинейных многофакторных задач и составления долгосрочных прогнозов. Однако исходный материал для составления математических моделей, в первую очередь – результаты инженерных изысканий, зачастую имеет недостаточную степень достоверности для корректных расчетов совместной работы системы сооружение – грунты основания, что обуславливает развитие отклонений в реальной работе конструкций (по сравнению с расчетной моделью).

На данный момент, в связи с приближением Олимпийских игр 2014 г., в районе г. Сочи идет активное хозяйственное освоение территорий: строительство новых автомобильных и железных дорог, реконструкция и расширение существующей дорожной сети, строительство олимпийских объектов. В исследуемом регионе в большинстве случаев транспортные сооружения располагаются

вблизи от потенциально оползневых склонов или непосредственно на них. Эксплуатация участков дорожной сети в подобных условиях связана со значительными материальными и временными затратами внепланового характера. Устройство сетей геотехнического мониторинга на отдельных участках с развитием опасных геологических (в первую очередь оползневых) процессов призвано повысить эксплуатационную надежность сооружений за счет выявления на ранних стадиях отклонений в работе конструкций и снижения – за счет превентивных мер – затрат на эксплуатацию объектов.

К сожалению, вопросы организации геотехнического мониторинга не нашли должного отражения в нормативно-технической базе в области проектирования, строительства, реконструкции и эксплуатации автомобильных дорог и искусственных сооружений. В рамках проводимой МАДИ (ГТУ) научно-исследовательской работы было принято решение об организации постоянного геотехнического мониторинга на одном из объектов транспортной инфраструктуры (ПК 88 – ПК 89 на автомобильной дороге Джубга – Сочи (слева), *рис. 1, 2*).

Участок был выбран таким образом, что инженерно-геологические и геоморфологические условия строительства были характерны для региона «в целом», то есть опасные геологические процессы, в первую очередь оползневые, имели на нем интенсивное развитие.

Рассматриваемый участок относится к площадке строительства автодороги

Джубга – Сочи (Новороссийск – Тбилиси – Баку) на участке обхода г. Сочи ПК88–89. Административно он расположен в Хостинском районе г. Сочи, приблизительно в 800 м южнее съезда в микрорайон «Макаренко» на Вишневу улицу, и расположен в верхней части водораздела ручья Малого (реки Гнилушки) и реки Бзугу, на его западном склоне. Находится на отметках 150–175 м от уровня моря.

Район наблюдений находится в пределах древнего оползневого бассейна, на поверхности которого развиты два оползня течения, шириной 35,0 и 60,0 м и протяженностью 134,0 и 167,0 м соответственно. Современный склон (переменной крутизны от 15° до 35–40°) в верхней части подвергнут техногенной переработке, а именно затронут планировочными работами. В головной части оползень пригужен отвалами грунта. По поверхности отвалов зафиксированы трещины отседания длиной от 2,0 до 4,0 м, раскрытие до 0,2 м. В процессе производства буровых работ на поверхности потенциально оползневого склона было пробурено шесть скважин глубиной до 25 м.

В геологическом строении в пределах территории работ принимают участие отложения сочинской свиты олигоцена (P_3s), перекрытые четвертичными отложениями, которые представлены делювиальными (оползневыми) ($dpQIV$, $dpQIII-IV$), делювиально-оползневыми ($d-dpQIV$) и техногенными ($tQIV$) образованиями песчано-глинистого состава с включениями гальки, дресвы и щебня коренных пород.

Сочинская свита олигоцена (P_3s) представлена серыми аргиллитами с более или менее частыми прослоями алевролитов и редкими маломощными прослоями песчаников. В целом толща пород тонкослоистая, с плитчатой отдельностью. Аргиллиты сочинской свиты олигоцена – это хрупко-пластичные породы,



Рис. 1. Потенциально оползневый участок ПК 88–89 (вид с дороги)



Рис. 2. Противооползневые мероприятия (нижняя подпорная стенка) на участке ПК 88–89

и при тектонических дислокациях они подверглись значительной трещиноватости, дроблению и микроподвижкам блоков по напластованию.

Гидрогеологические условия данной территории характеризуются распространением сезонной верховодки, грунтовых вод делювиально-оползневых отложений и тесно связанных с ними подземных вод трещиноватой зоны кровли коренных пород.

Трещиноватость и наличие зон дробления в коренных породах связаны со структурно-тектоническим положением участка, его приуроченностью к довольно подвижным в структурном плане блокам земной коры. В инженерно-геологическом отношении это проявляется в низких прочностных характеристиках пород в возможной сфере влияния сооружения. Возможность активизации оползневых процессов на участке наблюдений связана с наличием в разрезе тектонически нарушенных аргиллитов, обладающих низкими угла-

ми внутреннего трения и сцеплением по поверхности напластования при их смачивании, при условии обводненности пород.

Трещиноватость коренных пород в совокупности с естественным или искусственным переувлажнением, эрозией, подрезкой склона является наиболее значимым явлением, определяющим возможность оползневых подвижек на данном склоне. Трещиноватость развита как поперек напластования, так и по напластованию, а обводненность этих трещин поддерживает потенциал блоково-пластовых смещений в сезон обильных атмосферных осадков, особенно в условиях возможности проявления землетрясений.

Основываясь на анализе материалов инженерно-геологических изысканий, расчетов устойчивости склона и проектных решений по созданию дополнительных защитных сооружений, были определены следующие основные параметры объекта, подлежащие контролю:

1. Горизонтальные и вертикальные смещения грунтов на участках потенциального развития оползневых процессов (как поверхностные, так и глубинные).
 2. Гидрогеологический режим массива.
 3. Развитие деформаций в конструкции существующего противооползневого сооружения (низовой подпорной стены со свайно-анкерным основанием).
- Для инструментального обеспечения геотехнического мониторинга применяется комплект оборудования Sisgeo, предназначенный для инклинометрических и гидрогеологических измерений, а также для контроля деформаций существующего противооползневого сооружения.

Инклинометрические измерения в скважинах проводятся при помощи одного комплекта измерительного оборудования, состоящего из портативного вертикального инклинометрического зонда, спиралеметрического зонда, измерительного кабеля, регистрирующего устройства ARCHIMEDE Datalogger и макета зонда с кабелем (рис. 3).

Инклинометрический зонд предназначен для измерения отклонения инклинометрической обсадной колонны от вертикали. Зонд оборудован двумя пружинными поворотными опорами с роликами, позволяющими ему свободно перемещаться по канавкам обсадной колонны во время измерений.

Инклинометр имеет две оси чувствительности. Диапазон измерений инклинометра – $\pm 30^\circ$. Измерительная база – 0,5 м. Воспроизводимость результатов – 0,01% от полной шкалы.

Для корректировки погрешностей инклинометрических измерений, связанных с поворотными отклонениями ствола инклинометрической колонны, проводятся дополнительные измерения с использованием спиралеметрического зонда. Спиралеметрический зонд позволяет получить значения истинного азимута инклинометрической колонны в контрольных точках после стабилизации скважины. Измерительная база – 1 м. Диапазон измерений – $\pm 5^\circ$ на интервале 1 м. Точность измерений – $\pm 0,5\%$ полной шкалы.

Регистрация и хранение показаний инклинометрического и спиралеметричес-



Рис. 3. Комплект оборудования для инклинометрических измерений: а) зона спиралеметра; б) пробный инклинометрический зонд; в) измерительный зонд инклинометра; г) регистратор данных; д) кабель пробного зонда; е) измерительный кабель инклинометра



Рис. 4. Комплект измерительного и регистрирующего оборудования для контроля наклона подпорной стенки

кого зондов производится при помощи портативного регистратора ARCHIMEDE Datalogger.

Измерения температуры и уровня грунтовых вод в контрольных скважинах (пьезометрах открытого типа) проводятся с помощью портативного индикатора УГВ. Зонд для измерения уровня воды состоит из следующих компонентов:

- 1) измерительный кабель с отметками глубины через каждый миллиметр;
- 2) кабельный барабан со встроенными индикаторами температуры и УГВ;
- 3) измерительный элемент зонда.

Диапазон измерений уровня воды – 30 м с точностью 1 мм. Диапазон измерений температуры от -55°C до $+80^{\circ}\text{C}$ с точностью $0,5^{\circ}\text{C}$. Контроль изменения угла наклона существующего противооползневое сооружения (подпорной стенки) с помощью портативного датчика наклона поверхности TILLI (переносного наклономера). Наклономер представляет собой одноосный уравновешенный акселерометр с силовой коррекцией и имеет диапазон измерений $\pm 14,5^{\circ}$. Точность измерений – не ниже $\pm 0,04\%$ полной шкалы. Регистрация показаний наклономера производится при помощи считывающего устройства TORRICHELLI Readout. Комплект оборудования представлен на рис. 4.

Инклинометрические наблюдения ведутся в скважинах, оборудованных специальными пластиковыми обсадными колоннами. Трубы обсадных колонн снабжены четырьмя канавками, выполняющими функцию направляющих доро-

жек и расположенными в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Перед выполнением инклинометрических измерений проверяется состояние обсадной колонны при помощи макета зонда, не содержащего дорогостоящей измерительной аппаратуры. После этого проверяется исправность ходовой части зонда и герметичность разъемов, кабель подключается к разъему, зонд помещается в трубу так, чтобы контрольные ролики располагались в канавке направленной на север, и опускается на максимальную глубину – до совпадения метки на кабеле с краем обсадной трубы. После температурной стабилизации зонда производится запись значений наклона в двух плоскостях для соответствующей глубины.

Затем инклинометрический зонд поднимается на 0,5 м вверх до следующей метки, и снимаются показания значений наклона в двух плоскостях для текущей глубины. Эта операция повторяется для каждой новой отметки до тех пор, пока зонд не достигнет верхнего края обсадной трубы. После этого зонд извлекается из скважины, разворачивается на 180° , снова опускается на максимальную глубину, и повторяются все вышеописанные операции.

Для корректировки данных инклинометрических наблюдений проводятся дополнительные измерения при помощи вертикального спиралеметрического зонда. Методика спиралеметрических наблюдений аналогична инклинометрическим.

Регистрация и хранение данных инклинометрических и спиралеметрических измерений производится при помощи устройства ARCHIMEDE Datalogger. Данные записываются на встроенную память регистратора, которая работает как жесткий диск. Считывание данных с регистратора на персональный компьютер производится через специальный кабель-переходник с использованием специального программного обеспечения Smart. Обработка результатов измерений производится при помощи программного обеспечения Incl2, позволяющего производить проверку данных, их обработку и выводить на печать графическое представление данных в различных вариантах. Горизонтальное отклонение обсадной колонны от вертикали рассчитывается для каждой точки измерений по всей глубине скважины. Сумма последовательных отклонений скважины, выраженная как функция глубины, представляет собой «накопленное отклонение».

Изменение величины накопленного отклонения во времени определяет смещение обсадной колонны для каждой точки измерения. Смещение обсадной колонны инклинометра на определенной глубине в конкретный момент времени относительно исходного профиля вычисляется путем вычитания нулевых показаний из рабочих показаний.

В результате обработки инклинометрических данных строятся графики профиля скважины, относительного отклонения и смещения обсадной колонны в декартовых и полярных координатах (рис. 5).

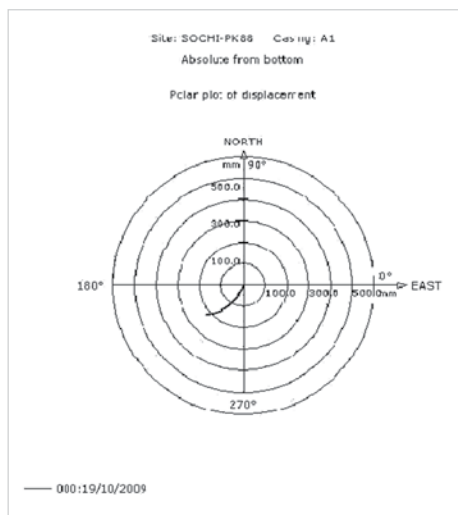
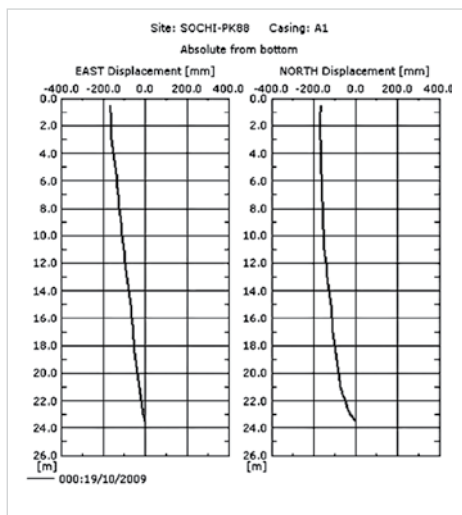


Рис. 5. Кривые дифференциального смещения и полярная диаграмма смещения ствола скважины

Гидрогеологические наблюдения. Для измерения уровня грунтовых вод в контрольных гидрогеологических скважинах монтируются пьезометры «открытого» типа. Пьезометр представляет собой колонну микропористой полихлорвиниловой трубы с внешним фильтром по всей длине колонны, предотвращающим загрязнение ствола пьезометра.

Измерения в пьезометрах «открытого» типа производятся с помощью портативного индикатора УГВ (глубиномера). Контрольный зонд глубиномера вставляется в трубку пьезометра и постепенно опускается до глубины, на которой располагается уровень грунтовых вод, при этом срабатывают световой инди-

катор и зуммер. Затем нужно несколько раз медленно поднять и опустить зонд, контролируя отметки появления и пропадания светового сигнала и звука зуммера, чтобы отметить на маркированном кабеле точное значение уровня воды. После этого зонд опускается еще на несколько сантиметров, и после температурной стабилизации измеряется температура грунтовых вод.

Для контроля наклона существующей стенки на ее поверхности устанавливается серия из контрольных пластин (марок). Измерительные плоскости рамки наклонометра TILLI имеют специальные направляющие цилиндры, обеспечивающие точное позиционирование

датчика на поверхности контрольной пластины. Для снятия показаний датчик прибора устанавливается на поверхности контрольной марки таким образом, чтобы направляющие цилиндры опирались на выступы марки (рис. 6). После стабилизации показаний снимается отсчет. Затем датчик разворачивается на 180°, и снимается сопряженное показание. Сравнив полученные значения с начальными, получаем изменение наклона подпорной стенки.

Таким образом, в рамках проводимой МАДИ научно-исследовательской работы была разработана и реализована программа мониторинга состояния оползневого склона на объекте: «Противооползневые мероприятия на участке автодороги Джубга – Сочи (Новороссийск – Тбилиси – Баку) на участке обхода г. Сочи, ПК 88 – ПК 89 (слева)», разработаны методики и регламент инструментальных измерений на объекте. В настоящее время на участке ведется мониторинг посредством организованных режимных наблюдений за компонентами системы.

С.А. Моисеенко,

научный сотрудник

ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН

В.Н. Быстров,

инженер кафедры дорожно-строительных материалов, МАДИ

В.В. Соколов,

инженер кафедры дорожно-строительных материалов, МАДИ

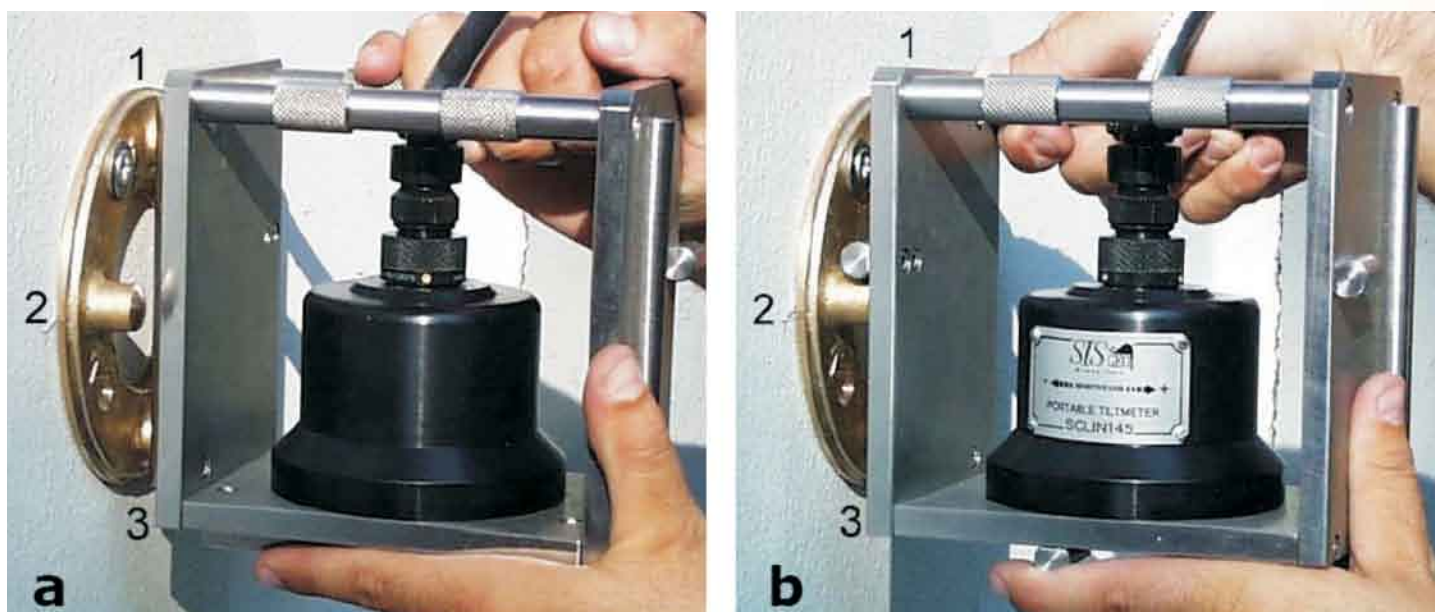


Рис. 6. Позиционирование датчика при проведении измерений (два сопряженных отсчета)