

УДК 624. 151

## ОПЫТ УСТРАНЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА СОВРЕМЕННЫМИ ГЕОТЕХНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Канд. техн. наук НИКИТЕНКО М. И., инженеры БАННИКОВ С. Н., ПОВКОЛАС К. Э.

*Белорусская государственная политехническая академия*

С учетом требований рационального землепользования нередко трассы воздушных линий электропередачи (ВЛ) и площадки для подстанций оказываются на территориях с неблагоприятными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями. В Республике Беларусь встречается много обводненных и заторфованных грунтов у поверхности, поэтому при проектировании и строительстве энергетических объектов возникает ряд геотехнических проблем. Их решение связано с разработкой технологически прогрессивных фундаментов, отвечающих требованиям надежности, экономичности, транспортабельности, простоты и универсальности конструкций при максимальной механизации работ нулевого цикла и сохранении природного сложения грунтов основания.

Для обеспечения устойчивости стоечных опор на слабых и заторфованных грунтах традиционные решения предусматривают расчаливание стоек оттяжками, которые крепятся к анкерным плитам или сваям. Для плит требуется выполнение обратной засыпки грунта с послойным его уплотнением, что весьма трудоемко и наносит вред окружающей среде. Погружение свай забивкой усложняет производство работ в пределах трассы, а применение набивных свай связано с мокрыми процессами.

Новые технические решения [1, 2] предусматривают перезаглубление стоек или установку дополнительных отрезков стоек возле основных, с которыми они соединяются выше поверхности грунта металлическими балками или пространственными фермами. Кроме того, получил широкое распространение в практике фундаментостроения принцип армирования грунтов. При отсыпке грунтовых банкетов вокруг опор армирующими элементами могут служить шпальные клетки, сетки из стеклопластиковых или полимерных материалов, а также ячеистые конструкции из свариваемых полимерных полос. Их производство уже налажено в Полоцке.

Армирование оснований для увеличения прочности и устойчивости, а также уменьшения их осадок может быть горизонтальным и вертикальным. В ряде случаев оно выполняет и дренирующие функции (геотекстили, геодрены, песчаные сваи и др.). Подобные основания в силу своей слоистости в первом приближении можно рассматривать как однородные и трансверсально-изотропные. Их напряженно-деформи-

рованное состояние можно рассчитать по методике, предложенной в [3]. В ней учитываются роль и влияние коэффициентов Пуассона  $\nu$ ,  $\nu_3$  и модулей деформации  $E$ ,  $E_3$  на распределение напряжений по глубине основания. В частности, при преобладании модуля деформации в горизонтальном направлении происходит изменение напряжений в верхней части основания пропорционально величине коэффициента механической анизотропии  $k = E/E_3$ . Таким образом, устанавливая армирующие элементы по высоте основания на соответствующих расстояниях и подбирая их с определенными механическими свойствами, можно активную зону сжатия сосредоточить в зоне армирования и тем самым уменьшить деформации основания.

Перспективным техническим решением крепления опор высоковольтных ЛЭП является также использование преднапрягаемых буринъекционных анкеров. Их применение отвечает экологическим требованиям и обеспечивает минимальное вмешательство в геологическую среду без раскопки грунта под стойки ЛЭП. Проведенные исследования работы анкеров [4] в условиях совместного действия статических и динамических нагрузок и разработанные на их основе новые конструкции позволяют говорить об эффективности их использования также и в указанном случае. Выявленные закономерности работы натуральных анкеров подтверждаются лабораторными исследованиями на специально разработанных приборах, моделирующих работу анкера по боковой поверхности и опорной частью. Разработанные способы расчета несущей способности анкеров учитывают влияние радиальных деформаций корня, пиковую и остаточные прочностные свойства при сдвиге, а также влияние импульсных ветровых воздействий, передаваемых на анкер от стоек ЛЭП.

Обратимся к примерам из практики энергетического строительства. При выполнении земляных работ по раскрытию котлована циркуляционной насосной станции Минской ТЭЦ-5 11 декабря 1997 г. произошла авария: откос котлована потерял устойчивость, вызвав опрокидывание двух, чрезмерный наклон восьми и деформирование угловых секций торцевой подпорной стены.

Ограждающие подпорные стены по наружному контуру насосной станции первоначально предусматривалось выполнить методом «стена в грунте» с устройством временных преднапрягаемых буринъекционных анкеров для обеспечения устойчивости стен в строительный период. Однако в принятом к производству проекте вместо буринъекционных анкеров предложены плитные (по якорному типу). Их устройство предусматривалось в открытом за стеной котловане при последующей засыпке местным грунтом с его послойным уплотнением. Количество ярусов анкеров уменьшено, а анкерование обращенной к откосной части территории торцевой стены и нормально примыкающих к ней стен вообще не предусмотрено.

Изменение конструктивных решений повлияло на последовательность производства работ с раскопкой грунта по обеим сторонам ограждающих траншейных стен и выполнением водопонижения снаружи станции при помощи иглофильтровых установок. Осушение дна котлована внутри станции выполнено открытым водоотливом с устройством фильтрующей гравийной пригрузки откосов. Водопонижение внутри станции предназначалось лишь для обеспечения удобства работ по разработке осушенного грунта.

Возникновению аварии на объекте предшествовали малоэффективная работа системы водопонижения снаружи насосной станции и резкое отключение насоса. В процессе отрывки траншеи для угловой секции

произошло обрушение грунта со стенок на дно траншеи в связи с подъемом воды при перерыве в ее откачке. Предусмотренное проектом устройство сверху откоса двух водопонижительных скважин не было осуществлено. При неэффективной работе иглофильтров снаружи стены, отсутствии со стороны откоса откачки воды из глубоких скважин и более интенсивном открытом водоотливе внутри котлована фильтрационный поток был направлен к стене. Это благоприятствовало суффозионному размыву грунта за счет гидродинамического давления не только на откосе, но и в зоне заделки стены ниже дна котлована. Выключение из работы насоса и интенсивное повышение уровня воды привело к взвешиванию песчаного грунта и его мгновенному разжижению над водоупором.

Сочетание гидростатического давления оплывшего по откосу разжиженного грунта с гидродинамическим при наличии значительного градиента напора воды привело к потере устойчивости стены, которую не смогли удержать даже временные тяги, приваренные к расположенным сверху откоса трубам циркуляционных водоводов.

Данные дополнительных изысканий с использованием геофизических методов разведки выявили наличие наклонного пласта водоупора в виде моренной супеси по направлению от откоса к подвергшимся обрушению и повороту секциям траншейной стены. Над этим водоупором зафиксирована толща водонасыщенного песка, перекрытая линзой маловлажного и насыпной песчаной толщей. Такой характер грунтовых напластований не обеспечивал условия защемления стены в водоупор. Откачка воды внутри котлована способствовала повышению градиента напора и воздействию гидродинамического давления (фильтрационных сил) на стену.

Анализ проектных решений заанкеренных ограждающих траншейных стен с водопонижением в период строительства и производством земляных работ при устройстве анкерных креплений свидетельствует о небезупречности принятого к реализации варианта. Нерациональна конструкция анкеров якорного типа, вызвавшая необходимость раскопки грунта и их обратной засыпки под защитой водопонижения. Неудачным оказалось сочетание закрытого снаружи и открытого внутри станции способов откачки воды.

Сказались также недостатки использованных предпосылок при расчетах устойчивости стен в строительный и эксплуатационный периоды. В частности, это связано с несовершенством предписаний существующих нормативных документов и принятых методов расчетов, согласно которым учитывается давление грунта на подпорные стены в активном состоянии, т. е. минимальное, возникающее при наличии смещения стены в сторону котлована. В действительности, при отсутствии такого смещения действует более высокое давление в состоянии покоя, а при передаче на стену усилий преднапряжения — даже его повышенное значение. Принимаемый в расчетах коэффициент перегрузки для активного давления грунта не компенсирует неучтенного фактически повышенного напора. Помимо этого, несовершенство предусматриваемых нормативными документами расчетов устойчивости подпорных стен связано с отсутствием аналитических зависимостей по учету переменного во времени гидродинамического давления в связи с изменением гидравлических градиентов напора воды.

Для ликвидации последствий аварии и обеспечения безопасной эксплуатации циркуляционной насосной станции Минской ТЭЦ-5 кафедрой «Геотехника и экология в строительстве» рекомендовано:

выполнить крепление при помощи буроинъекционных свай с прижимными ростверками двух фундаментов под стойки эстакады у бровки откоса;

производить крепление откоса за счет пригрузки его основания, армирования отсыпаемого грунта при помощи укладки бракованных железобетонных плит, а также нагелирования склона с устройством защитного бетонного покрытия и укладкой в бетон арматурных сеток;

выполнить дополнительную защиту от коррозии анкерных тяг путем обсыпки их песчано-цементной смесью;

для уменьшения бокового давления грунта на подпорные траншейные стены при сохранении предусмотренного проектом количества анкеров осуществить с тыльной стороны стен обратную засыпку стабилизированной смесью из песка и цемента.

Таким образом, авария на циркуляционной насосной станции Минской ТЭЦ-5 была обусловлена комплексом факторов, основными из которых являются:

мощное воздействие гидродинамического давления (фильтрационного напора) на стены за счет большого градиента при резком отключении водопонизительной системы и вызванное этим мгновенное фильтрационное разуплотнение (переход в текучее состояние) от взвешивания и при резком подъеме воды;

отличие геологических и гидрогеологических условий на участке аварии от полученных в результате исходных изысканий при ограниченном их объеме;

несовершенство существующих нормативных документов, в которых отсутствуют рекомендации по учету гидродинамических сил в расчетных зависимостях.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Н и к и т е н к о М. И., Ш а ш к о С. Д. Передовой опыт сооружения фундаментов опор линий электропередачи // Обзорная информация / Серия: Сооружение линий электропередачи. — Вып. 4. — М.: Информэнерго, 1985. — 28 с.

2. Н и к и т е н к о М. И., Ш а ш к о С. Д. Сборные цилиндрические анкеры мачтовых опор // Zbornik prednasok z celostatnej konferencie Zakladanie stavieb 84 / Prefabrikacia v zakladanie stavieb. — Tatranska Lomnica, maj 1984. — S. 19–28.

3. Б а н н и к о в Н. Д., Б а н н и к о в С. Н. Распределение напряжений и перемещений в трансверсально-изотропном слое грунта, лежащем на сжимаемом изотропном основании и нагруженного равномерно-распределенной полосовой нагрузкой // Расчет и проектирование оснований и фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях: Межвузовский сб. науч. тр. — Воронеж, 1999. — С. 41 — 45.

4. П о в к о л а с К. Э. Влияние динамических воздействий на несущую способность, деформативность и усилие преднапряжения буроинъекционных анкеров // Рациональные конструктивно-технологические решения фундаментов из монолитного бетона: Материалы науч.-практ. семинара, 28 янв. 1999 г. / НИПТИС. — Мн., 1999. — С. 40–43.

Представлена кафедрой  
геотехники и экологии  
в строительстве

Поступила 28.12.2000