

N2, 2000

## Оценка причин оседания трубопроводов электрокабеля на набережной Обводного канала на участке между Предтеченским и Ново-Каменным мостами

**В.Н.Парамонов**

Работы по реконструкции участка набережной Обводного канала между Предтеченским и Ново-Каменным мостами проводились с 1998 г. По всей трассе набережной были погружены временные опоры (для рельсов копра) в виде полых металлических труб  $\text{Æ} 530$  мм и длиной 16 м. трубы погружались ударным способом, открытыми снизу, видимо, без соблюдения проектного отказа. Очевидно, это обстоятельство способствовало последующему отклонению труб от вертикали. Вибрационным способом на расстоянии 5 м от силового кабеля было погружено два ряда шпунта типа "Ларсен-IV" (расстояние между рядами 2 м) длиной 12-13 м вместо предусмотренной длины 16 м. Определение фактической длины шпунта было выполнено НПФ "Геореконструкция" по методике Integrity Test System [1]. На расстоянии 15 м от кабеля на забивных железобетонных сваях сечением  $35 \times 35$  см длиной 16 м была возведена часть подпорной стенки. В процессе производства работ произошло отклонение шпунта в сторону акватории, достигшее к концу марта 1999 г. 18 см. Контрольное шурфование по длине трубопровода с кабелем, проведенное в марте-апреле 1999 г., выявило его общее оседание с наибольшей ординатой 1 м.

По всей длине трассы проходит глубокий канализационный коллектор большого диаметра.

Визуальное освидетельствование реконструируемого участка набережной, проведенное в марте и июле 1999 г., не дает оснований для утверждения о наличии какого-либо заметного оседания поверхности грунта или трещин отрыва. Возможно их фиксации препятствовали проводимые здесь земляные работ.

Исходя из геотехнических условий рассматриваемого участка (Сведения об инженерно-геологических условиях территории приведены в статье Р.Э.Дашко и О.Ю.Александровой и в данной статье опущены), были проанализированы следующие возможные причины оседания кабеля.

1. *Уплотнение грунтов основания в результате суффозионных процессов, вызванных действующими градиентами напора и связанных с разностью уровня грунтовых вод и уровня воды в Обводном канале.*

Абсолютная отметка грунтовых вод составляет около 4,6 м, абсолютная отметка воды в Обводном канале - 0,23...0,3 м. Таким образом, разность напоров составляет около 4,3 м. Расстояние от кабеля до естественной береговой линии достигает 15-20 м. Таким образом, максимальный действующий градиент напора составит 0,22...0,29. Эта величина близка к расчетному критическому градиенту напора для пылеватых песков, однако при таком градиенте напора не следует ожидать интенсивного выноса пылеватых частиц из грунта. Очевидно, что такой градиент напора действовал в течение столетий и к моменту прокладки кабеля суффозионные процессы в откосе должны были преимущественно закончиться.

2. *Уплотнение грунтов основания в результате суффозионных процессов, вызванных протечками воды в канализационный коллектор.*

Канализационный коллектор расположен практически под трубопроводом электрокабеля. Коллектор выполнен щитовой проходкой, имеет тубинговую обделку с внутренней

гидроизоляцией из листовой стали. Абсолютная отметка заложения верха коллектора составляет около -5,0 м БС. Таким образом, коллектор располагается в слое моренных суглинков, местами захватывая подошву озерно-ледниковых ленточных тиксотропных суглинков текучей консистенции. В таких низкопроницаемых грунтах суффозионные процессы с выносом мелких фракций грунта маловероятны. Просадка трубопроводов электрокабеля возможна в случае нарушения герметичности коллектора и прямого выноса грунта в коллектор. Не исключено, что аварийные деформации дома №46, расположенного на набережной вдали от места производства работ, являются подтверждением развития этого процесса.

### *3. Оседание массива грунта в результате потери устойчивости природного откоса и откоса за шпунтовым ограждением.*

Для оценки возможности оседания трубопроводов электрокабеля вследствие потери устойчивости массива грунта были проведены расчетно-аналитические исследования. Существующие методы расчета откосов заключаются в нахождении коэффициента запаса, определяемого как отношение удерживающих сил к сдвигающим. При этом задаются некоторой формой поверхности скольжения, принимаемой в большинстве практических случаев в виде кругового цилиндра, и отыскивают такую поверхность, при которой коэффициент запаса является минимальным. Однако такие методы включают в себя только прочностные свойства грунта и не оперируют деформационными характеристиками, что не дает возможности прогнозировать перемещения массива грунта. В то же время, например, опыт устройства котлованов показывает, что даже при обеспечении устойчивости стенки котлована (с помощью конструкций шпунтовой стенки) не исключены подвижки в откосе.

Расчеты выполнялись методом конечных элементов в упруго-пластической постановке с использованием программного комплекса "Геомеханика". Как показали расчеты, природный откос находится в предельном состоянии, поэтому оползневые явления не исключены. Конечная форма откоса приведена на рис. 1.

Расчетное горизонтальное смещение верха шпунта составило 27 см, а низа - 16 см (рис. 3). При этом горизонтальное смещение трубопровода электрокабеля составило 20 см, а его осадка 2 см. Таким образом, расчетное оседание трубопровода на порядок (!) ниже его горизонтального смещения. Также можно отметить, что в окрестности шпунтового ограждения движение массива грунта имеет преимущественно горизонтальное направление (рис. 3). Следовательно, исходя из рассмотрения статических условий работы массива грунта, ни горизонтальные подвижки шпунта, ни потеря устойчивости массива грунта в откосе не могут являться непосредственной причиной оседания трубопровода электрокабеля на 1 м.

### *4. Уплотнение рыхлых водонасыщенных песков основания в результате динамических воздействий.*

Как известно, рыхлые водонасыщенные пески обладают способностью уплотняться при приложении динамических воздействий. Согласно результатам статического зондирования, возможная мощность рыхлых грунтов под кабелем составляет около 1,5 м. Учитывая, что оседание кабеля составило около 1 м, первоначальная мощность этого слоя должна была составлять около 2,5 м. Таким образом, относительная вертикальная деформация рыхлого слоя при уплотнении должна была составить  $e_z = 1/2,5 = 0,4$ , что невозможно даже для рыхлых песков.

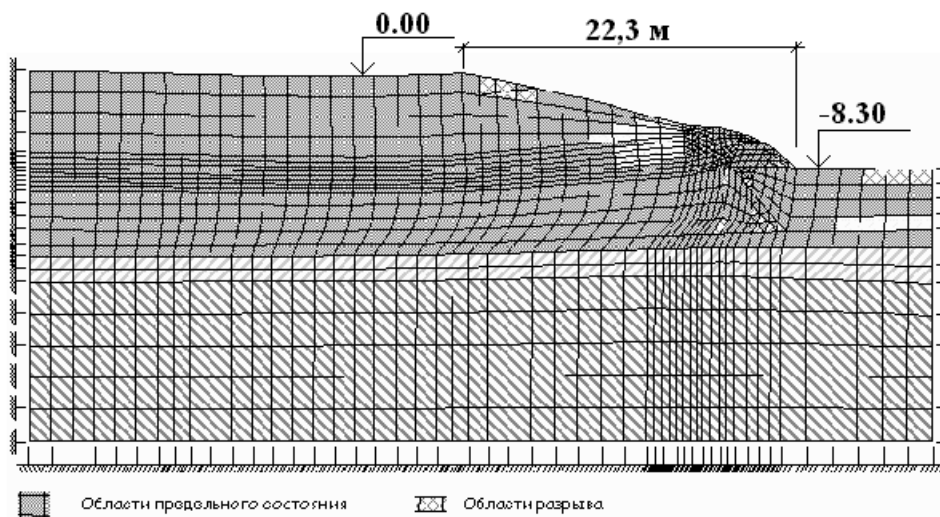


Рис. 1. Характер деформирования природного откоса (масштаб деформаций увеличен в 5 раз)

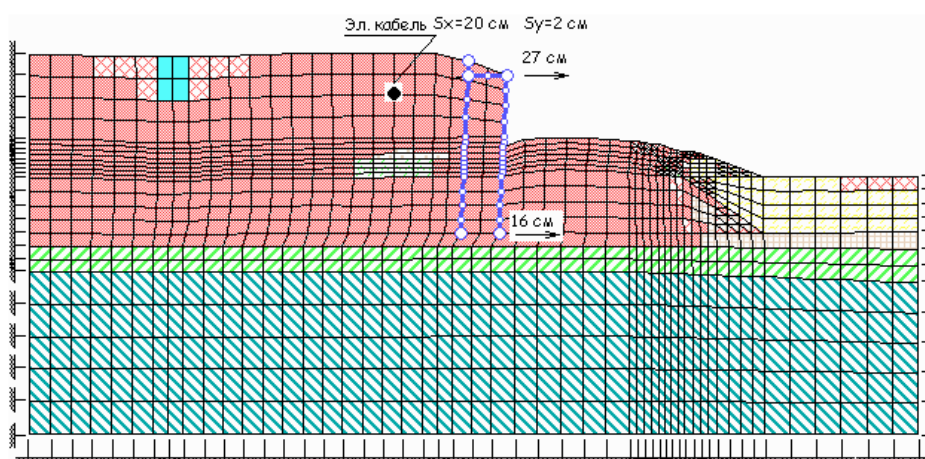


Рис. 2. Деформированная схема и области предельного состояния при откопке грунта до отметки +1,0 БС (Масштаб деформаций увеличен в 5 раз)

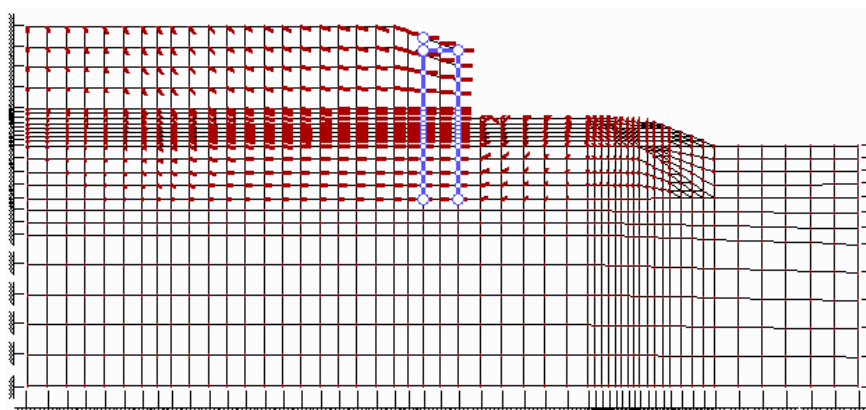


Рис. 3. Векторное поле движения частиц грунта при откопке грунта до отметки +1,0 м БС

5. Погружение трубопровода относительно массива грунта в результате разжижения грунтов, вызванного динамическими воздействиями.

Рыхлые грунты, в особенности водонасыщенные, обладают способностью разжижаться при приложении динамических воздействий, приобретая свойства вязкой жидкости. Плотность рыхлого грунта составляет около  $1,4...1,6 \text{ т/м}^3$ , а средняя плотность трубопровода вместе с

кабелями и заполняющей масляной жидкостью - около  $2,4 \text{ т/м}^3$ . Тела, имеющие плотность, большую чем плотность жидкости, погружаются в жидкость со скоростью, пропорциональной коэффициенту вязкости этой жидкости. Учитывая, что общего оседания территории на 1 м не наблюдалось, с высокой степенью вероятности можно предположить, что произошла не осадка кабеля вместе с массивом грунта, а его оседание относительно массива.

Расчетная оценка влияния динамических воздействий на подземные коммуникации при вибропогружении шпунта вибропогружателем В-402 и забивке свай, выполненная в соответствии с ВСН 490-87, показала, что уровень динамических воздействий на грунты в основании трубопровода при вибропогружении шпунта мог превысить нормативное значение в 1,2...3 раза, а при забивке металлических труб - в 2,2...4 раза.

На основании выполненного анализа можно сделать следующие выводы.

1. Предельное состояние, в котором находится естественный откос и даже подвижки шпунтового ограждения на 20...30 см, обусловленные расструктурированием грунта при погружении шпунта, не могут рассматриваться в качестве причины оседания трубопровода с кабелем. Осадки последнего, обусловленные этими факторами, на порядок ниже горизонтальных смещений. Возведение набережной по первоначальному проекту полностью обеспечивает устойчивость откоса и применения каких-либо дополнительных мероприятий не требуется.
2. Наиболее вероятной причиной осадок силового кабеля на 1 м является влияние динамических воздействий при производстве работ, приведших к разжижению рыхлых песков и погружению в них кабеля, а также, возможно, к расструктуриванию подстилающих глинистых отложений и прямому выносу грунта в негерметичный канализационный коллектор.
3. Для обеспечения сохранности маслonaполненной трубы с кабелем достаточно вывесить ее на поверхностных опорах ("шпалах") либо подвести под кабель локальные опоры в виде закрепленного грунта на участке распространения рыхлых песков (например, с применением струйной технологии). При реконструкции набережной необходимо осуществлять строгий мониторинг за параметрами колебаний массива грунта.