

УДК 624.15

ЗОНА УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ВОКРУГ КАМУФЛЕТНОГО УШИРЕНИЯ СВАИ, ПОЛУЧЕННОГО СЕРИЕЙ ЭЛЕКТРОВЗРЫВОВ (К РАСЧЕТУ СВАЙ-РИТ)

*к.т.н. В.Я. Еремин, А.В. Еремин, фирма РИТА,
А.А. Буданов, аспирант МГСУ, Москва, Россия*

Площадки с приемлемыми для строительства грунтовыми условиями в Москве практически застроены. Под высотные здания отдают территории, ранее считавшиеся непригодными для строительства и "островки" вплотную окруженные существующей застройкой, что предъявляет особые требования к свайным основаниям.

С 1990 года в геотехническом строительстве применяют новый вид свай высокой несущей способностью (НС) по грунту – сваи-РИТ. Их отличительная особенность состоит в использовании разрядно-импульсной технологии (РИТ) для динамического уплотнения около свайного грунта путем осуществления электрических разрядов энергией до 60 кДж. Для чего, на электроды, погруженные в скважину, заполненную бетонной смесью подвижностью П-4...П-5, периодически подают импульсы тока высокого напряжения. При достижении в межэлектродном промежутке плотности энергии $10^9 \dots 10^{13}$ Дж/м³ электрическая прочность бетонной смеси не выдерживает и происходит ее пробой, то есть электрический разряд – электровзрыв (ЭВ). Скорость нарастания тока в момент разряда конденсаторных батарей достигает 10^{12} А/с. В момент пробоя возникает ударная волна, а запасенная в накопителях электрическая энергия взрывообразно преобразуется в другие ее виды. На месте разряда образуется быстро расширяющаяся парогазовая полость, обеспечивающая механическое перемещение бетонной смеси, которая передает импульс давления в грунт и за счет его деформации смещает стенки скважины, формируя камуфлетное уширение (КУ).

Движение грунта при камуфлетном взрыве заряда ВВ, в отличие от движения воды, преимущественно состоит из одного полупериода пульсации – фазы расширения. В [1] изложена концепция Пенни, охарактеризовавшего движение грунта в зоне формирования камуфлетной полости (КП) как безколебательное. Рентгенографические исследования развития КП в песчаном грунте во времени [2] позволили выделить три качественно различных стадии. Первая стадия, продолжительностью ~ 80 мкс – симметричное расширение КП до 2,2 радиусов заряда (до 10

объемов), завершается образованием упрочненного приграничного слоя. Вторая стадия заканчивается через 150...170 мкс, характеризуется разрушением упрочненного слоя песка с развитием радиальных трещин, при мало меняющемся радиусе КП. Третья стадия – ускоренное расширение КП после разрушения упрочненной корки за счет сжатия песка, расположенного за коркой и сохранившего способность к уменьшению объема под действием малых давлений. Несмотря на образование трещин, какое-то время обрушения полости не происходило, что доказывает справедливость концепции безколебательного движения грунта.

Следует отметить, что выделение третьей стадии развития КП, на наш взгляд сделано авторами [2] ошибочно, т.к., в проводимых экспериментах использовали заряды из сплава Т/Г 5/5 плотностью 1,65...1,67 г/см³, диаметром 50 мм (вес 108 г) и 31,2 мм (вес 25 г), которые взрывались в песке, засыпанном в фанерные ящики размером 250х250х250 мм³. Несложно просчитать, что на резкое увеличение скорости в третьей стадии развития КП должно было оказать влияние волн, отраженных от свободной поверхности, дающее увеличение массовой скорости до двух раз.

Опыт изготовления свай с КУ, формируемыми взрывом заряда ВВ, показал, что повторить взрыв ВВ в скважине, заполненной бетонной смесью весьма сложно, поэтому при устройстве таких свай [3] используют заряды массой более 1 кг. Однако при использовании столь мощных зарядов помимо проблем транспортирования, хранения, применения ВВ и ликвидации возможных отказов, возникает проблема сейсмического воздействия. По этим же причинам не целесообразно использование электрической энергии более 60 кДж, тротиловый эквивалент ЭВ-ного преобразования которой составляет 7,2 г (вычислено по данным [4] при ЭВ в замкнутой камере). Поэтому при создании свай-РИТ получают КУ за счет серии ЭВ.

Основываясь на общей аналогии ЭВ и взрыва ВВ, подробно проанализированных в [5], остановимся далее на применении ЭВ.

Безколебательное перемещение грунта при создании КП позволяет повторять ЭВ нужное число раз, так как образующаяся в песке КП какое-то время не схлопывается и под действием сил гравитации пластичная бетонная смесь успевает ее заполнить. Таким образом, ЭВ можно многократно повторять в одном и том же месте.

При изготовлении опытных свай-РИТ НС более 300 т, на объекте по адресу ул. Давыдовская, вл. 19, выполняли по 500 щадящих ЭВ на сваю. Эффект создания КУ за счет многократного повторения ЭВ убедительно подтверждают результаты испытаний свай-РИТ

вдавливающей нагрузкой по [6]. При этом, их НС в 2-4 раза превышает НС, рассчитанную по [7], в 2...2,5 раза определенную по [8], а вычисленная по [9], введенном в 2003 г., более чем в 2 раза ниже реальной. Для реализации приоритетного национального проекта "Доступное жилье – гражданам России" двух кратное недоиспользование НС свай-РИТ, недопустимо.

Возможность использования законов геометрического подобия и принципов, предложенных Пенни и Тейлором [1] для расчета размеров зоны уплотнения грунта в результате одного ЭВ обоснованы в [5]. Таким образом, независимо от масштаба взрыва, зная объем бетона израсходованного на заполнение одной КП, по известным формулам определяем ее радиус, а затем, по законам геометрического подобия находим радиус зоны уплотнения.

Для определения размеров зоны уплотнения грунта вокруг КУ, формируемого в результате осуществления серии ЭВ, проанализируем теоретическую возможность и условия суммирования объемов отдельных КП, образующихся при каждом ЭВ.

1. В процессе разрядно-импульсной обработки (РИО) электродная система должна оставаться в бетонной смеси на одном уровне по глубине скважины, до тех пор, пока не будет закончено формирование КУ объемом, установленным проектом или достигнут отказ.

2. Бетонную смесь считаем идеальной несжимаемой жидкостью.

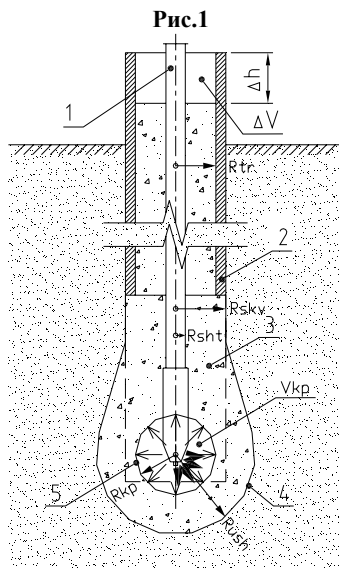
3. Принимаем, что деформации грунта отвечают условиям сферической симметрии.

4. Полагаем возможным, суммирование объемов отдельных КП от единичных ЭВ не зависимо от их объемов, то есть, не зависимо от энергии ЭВ, условий ее преобразования и параметров грунта.

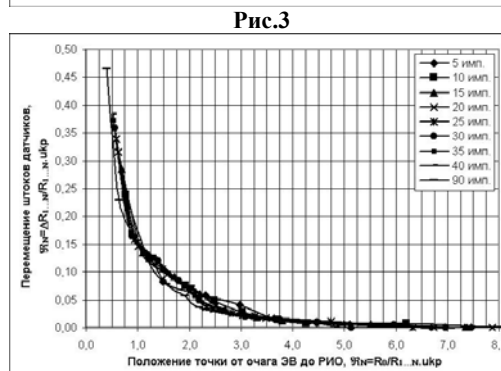
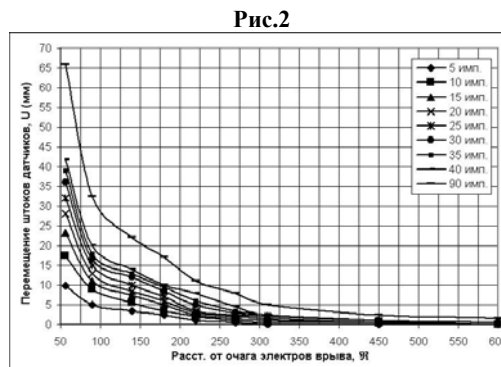
Суммируя объемы единичных КП находим объем условной камуфлетной полости (УКП), которая могла быть получена в результате одного мощного взрыва.

Для проверки высказанной гипотезы, при соблюдении названных выше условий, были выполнены экспериментальные исследования в лотке диаметром 2 м с энергиями в накопителях от 3,6 до 21,7 кДж, а также при изготовлении натуральных свай-РИТ. При этом за счет роста КУ было зафиксировано увеличение зоны уплотнения с ростом числа ЭВ.

На рис.1 приведена схема образования КП и КУ свай-РИТ; на рис.2 - графики увеличения радиуса КУ и накопления радиальных пластических деформаций песка в абсолютных величинах от числа ЭВ в зависимости от их положения до очага ЭВ; на рис.3 – то же, выраженное в переменных радиусах УКП. Сравнивая графики рис.2 и 3, становится понятен смысл использования переменных радиусов УКП для иллюстрации перемещений грунта. Рассеянное семейство кривых (рис.2) на рис.3 сливается!



Условные обозначения:
1 - штанга с электродами; 2 –
извлекаемая обсадная труба; 3 –
мелкозернистая бетонная смесь В25,
подвижностью П-5; 4 – граница
уширения сваи; 5 – граница
камуфлетной полости.



Каждый последующий ЭВ происходит в свежей бетонной смеси неизменного состава, возникающие ударная волна и волны давления, воздействуют на грунт через буферный слой бетонной смеси, толщина которого с каждым ЭВ увеличивается за счет уплотнения грунта. В связи с этим, снижается эффективность воздействия на грунт ЭВ с неизменными параметрами разряда, вплоть до условного отказа. Если при втором ЭВ объем УКП, от первого ЭВ, почти удваивается, то после 80-85 ЭВ объем УКП, продолжая увеличиваться от единичного ЭВ на ту же условно постоянную абсолютную величину, по отношению к уже достигнутому объему УКП получает приращение $\sim 1\%$.

Было установлено увеличение плотности грунта вплоть до стенок экспериментального лотка, однако явно выраженная зона уплотнения незначительно превышала 3,5 диаметра УКП. С увеличением расстояния от границы КУ начальные плотности рыхлого песка и песка средней плотности на расстоянии соизмеримом с диаметром КУ сваи резко возрастали, а затем плавно снижались. У плотных песков после РИО

плотность на границе с КУ сваи оказалась на 2...3 % ниже исходной, а дальше превышала исходную плотность. Несмотря на значительные размеры лотка возможно сказывалось влияние волн, отраженных от его стенок, чем можно объяснить превышение зоны уплотнения вокруг КП сформированных взрывом ВВ и составляющей 3,0...3,5 диаметра КП [10].

Выводы.

Экспериментально подтверждено предположение, что при производстве серии ЭВ вокруг КУ создается зона уплотнения, пропорциональная УКП, объем которой определяется суммой объемов КП, образующихся при каждом ЭВ, другими словами, объемом бетонной смеси заполнившей УКП. Радиус зоны уплотнения песка вокруг КУ достигает 3,5 радиусов УКП. Зная размеры зоны уплотнения грунта вокруг КУ от серии ЭВ на каждом уровне РИО ствола сваи, можно в конечном итоге перейти к расчету несущей способности сваи-РИТ.

Использованная литература:

1. Чедвик П., Кокс А., Гопкинс Г. Механика глубоких подземных взрывов. – М.: Мир. 1966. – 127 с.
2. Альтшулер Л.В., Балабанов А.В., Баталов В.А., Родионов В.А., Тарасов Д.М. Рентгенографическое исследование начальной стадии развития камуфлетной полости в песчаном грунте. Физика горения и взрыва. 6, № 3, 1970, с. 363-373.
3. Пивоваров В.К. Исследование уплотнения глинистых грунтов взрывом и его влияние на несущую способность набивных взрывных свай. Дис. К.т.н., -Киев: Киевский строительный институт, 1966, - 142 с.
4. Ясиевич Г.Н. Исследование способа изготовления буронабивных свай с помощью электрогидравлического эффекта и их работы под вертикальной нагрузкой. Дис. К.т.н., -Л.: ЛИСИ. 1977. - 223 с.
5. Еремин В.Я., Еремин А.В., Буданов А.А. К расчету висячих свай, устраиваемых с использованием разрядно-импульсной технологии (расчет свай-РИТ)./ Настоящий сборник докладов. Уфа. 2006.
6. ГОСТ 5686-94. Грунты. Испытание сваями.
7. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты.
8. Рекомендации по применению буроинъекционных свай. НИИОСП. М.: изд. НИИОСП, 1997, - 37с.
9. СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов. – М.: Госстрой России, 2004. – 82 с.
10. Смирнов В.И., Голицинский Д.М., Мельников Л.Л. Строительство подземных сооружений с использованием камуфлетных взрывов. М.: Недра. 1981. - 215 с.