

УДК 624.15

К РАСЧЕТУ ВИСЯЧИХ СВАЙ, УСТРАИВАЕМЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*к.т.н. В.Я. Еремин, А.В. Еремин, аспирант МГСУ А.А. Буданов
фирма «РИТА» (Разрядно-Импульсные Технологии и Аппараты), г.Москва.*

С 1990 года в геотехническом строительстве применяют сваи-РИТ, изготавливаемые с использованием разрядно-импульсной технологии (РИТ). Принципиальное отличие этих свай от традиционных буровых состоит в динамическом уплотнении грунта вокруг скважины заполненной бетонной смесью, путем осуществления в ней разрядов импульсного тока.

С помощью разрядно-импульсной обработки (РИО):

- формируют камуфлетное уширение (КУ) в забое буровой скважины за счет уплотнения грунта и шлама;
- создают КУ по стволу свай.

За период с 1992 года в Москве изготовлено более шестидесяти тысяч свай-РИТ в различных инженерно-геологических условиях. Около 500 свай было подвергнуто испытаниям по ГОСТ 5686-94 [1]. Несущая способность (НС) свай-РИТ, установленная при испытаниях вдавливающей нагрузкой, в 2-4 раза превышает НС, рассчитанную по [2], в 2...2,5 раза определенную по [3]. НС свай-РИТ, вычисленная по [4], изданном в 2003 г., так же имеет более чем двух кратный запас.

Для реализации приоритетного национального проекта "Доступное жилье – гражданам России" более чем двух кратное недоиспользование НС свай - недопустимо.

Напомним, сущность РИТ заключается в том, что, на электроды, погруженные в скважину, заполненную подвижной бетонной смесью, периодически подается импульсный ток высокого напряжения. Создаются условия, когда электрическая прочность бетонной смеси не выдерживает высокой напряженности поля в межэлектродном промежутке и происходит его пробой - электрический разряд в бетонной смеси, который порождает ударные волны (УВ), излучения, механическое перемещение среды, создающей импульс давления и т.д., т.е. явления характерные для взрыва.

Давление, экспериментально измеренное сотрудниками фирмы РИТА и ТРИНИТИ, составляло 18...22 МПа на расстоянии 200 мм при электрическом пробое 40 мм воды энергией 20 кДж, запасенной в накопителях. Давление [5] на расстоянии 1 метра от центра разряда составляло 3,5 МПа, а на расстоянии 1,2 метра уже 1,3 МПа.

В тоже время нельзя в полной мере согласиться с тем [6], что причиной образования УВ является ускоренное движение стенки газового пузыря, которому сообщается энергия электрического взрыва (ЭВ).

УВ формируется раньше в момент пробоя межэлектродного промежутка и распространяется с начальной скоростью более 1500 м/с, "отрываясь" от канала разряда, расширяющегося с меньшей скоростью. На месте пробоя образуется парогазовая полость, которая, расширяясь, смещает бетонную смесь от центра взрыва. Начальная скорость движения бетонной смеси 100...120 м/с, что на порядок ниже скорости УВ.

Размеры формируемых КУ зависят от многих факторов: физико-механических характеристик грунта, параметров разрядов, состава и свойств бетонной смеси, в которой происходит ЭВ, конструкции электродной системы, находящейся в скважине, и многих других факторов.

Зная все параметры и их взаимное влияние, можно было бы установить соответствующие закономерности и вычислить зону уплотнения грунта, а затем НС сваи-РИТ. Однако попытки установить зависимость между запасенной энергией и размерами полости, создаваемой в грунте единичным разрядом, оказались безуспешными. При электрическом пробое чистой воды не удается получить два абсолютно одинаковых результата. При электрическом пробое бетонной смеси отличий еще больше.

Для расчета несущей способности свай, изготовленных с помощью ЭВ, пытались [7] в расчетах перейти от электрического разряда к взрыву химических взрывчатых веществ (ВВ), чтобы использовать накопленный опыт определения размеров камуфлетных полостей (КП).

При определении размеров КП и зоны уплотнения грунта при взрыве ВВ используют начальные параметры заряда (радиус заряда, масса ВВ, плотность заряжения, энергия, теплота взрыва, работоспособность, объем продуктов детонации, бризантность и т.п.). У ЭВ нет многих названных параметров: масса и радиус заряда отсутствуют, продуктов взрыва практически нет и т.д.

Экспериментально обнаружены [8] существенные отличия ЭВ и взрыва ВВ, поэтому прямой переход к использованию накопленного опыта применения ВВ недопустим.

В институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта в 1963 году создали мощную искровую установку [9], для исследования параметров ЭВ в слабосвязанном грунте. Измеряли массовую скорость грунта во времени на различных расстояниях от центра ЭВ. Результаты сопоставлялись с данными аналогичных опытов с химическим ВВ путем использования приведенных расстояния $R_o = R \cdot C^{-1/3}$, и времени $t_o = t \cdot C^{-1/3}$,

где R – расстояние от центра взрыва, t – время от момента взрыва, C – вес

заряда в пересчете на тринитротолуол (ТНТ), в случаях ЭВ вес заряда ТНТ вычислялся по эквивалентному ему количеству выделяющейся энергии. Установлено [10], что движение грунта обладает рядом общих черт, но по механическому действию ВВ является более сильным источником по сравнению с ЭВ той же энергии. Фронт взрывной волны вблизи от ЭВ близок к ударному, по мере удаления от центра ЭВ приобретает более плавный характер. Распределение скорости за фронтом ЭВ было предложено описывать в эйлеровых координатах степенной зависимостью вида $U = A(t)R^{n(t)}$, где $n \approx 1,5 \dots 1,8$ в рассматриваемом диапазоне.

При этом, несмотря на сходство общего характера волновых картин, установить количественное соотношение между взрывом ВВ и ЭВ не удалось [10]. Невозможность введения тротилового эквивалента для ЭВ объясняется еще тем, что картина движения грунта определяется не только его свойствами и величиной энергии взрыва, но самим характером источника взрыва. При взрывах ВВ приходится иметь дело со сформированными УВ, которые являются результатом перехода в грунт или жидкость волны детонации. Как отмечалось выше, отличительной особенностью ЭВ от взрыва ВВ является практическое отсутствие собственных продуктов взрыва, т.е. в некотором приближении ЭВ можно считать "безмассовым". Энергетическое подобие между ЭВ в песчаном грунте и взрывами ВВ установлено лишь узком, конкретном диапазоне [11].

Следует отметить, что при увеличении влажности в зоне искрового пробоя эффективность действия ЭВ в песчаном грунте существенно возросла, т.к., вода, превращенная в пар, значительно дольше поддерживает в образованной полости избыточное давление, поэтому грунт смещается на большее расстояние. Эффективность ЭВ в жидкости, в том числе в бетонной смеси, в два раза выше, чем в песчаном грунте.

Возмущение, возникающее при взрыве ВВ и приводящее к образованию КП, является результатом обмена энергией между продуктами взрыва и окружающим грунтом. Пенни и Тейлор установили [12] ряд принципов формирования КП в разных грунтах, на основе законов геометрического подобия, разработали теорию их создания. Радиус КП для каждого вида грунта всегда составляет n радиусов заряда ВВ, а радиус зоны уплотнения грунта вокруг КП всегда составляет m радиусов заряда.

Учитывая, что у ЭВ невозможно определить массу и радиус заряда для вычисления радиуса КП и зоны уплотненного взрывом грунта по формулам, выведенным для взрывов химических ВВ, воспользуемся второй частью зависимости, установленной Пенни и Тейлором. Зная объем КП, образованной серией ЭВ, по известным формулам определяем ее

радиус, а затем, пользуясь законами геометрического подобия, найдем радиус зоны уплотнения.

В.К.Пивоваров установил [13], что зона уплотнения глинистых грунтов вокруг КП составляет 3,0-3,5 ее диаметра и имеет форму полуэллипса, вытянутого по горизонтали (камуфлетные взрывы выполнялись на глубине 2,5 м, поэтому на форме КП сказывалось влияние свободной поверхности). Было установлено [14], что зона уплотнения грунта вокруг центра взрыва не зависит от его масштаба, а показатель простреливаемости не зависит от глубины и веса заряда, а является функцией физико-механических свойств конкретных грунтов [15].

Выводы.

Учитывая, что у ЭВ нет радиуса заряда, размер зоны уплотнения грунта вокруг КП можно определять на основе закона геометрического подобия, используя известные соотношения с радиусом КП. Определив размеры зоны уплотнения грунта вокруг сваи, ее НС можно рассчитать по известным зависимостям.

Использованная литература:

1. ГОСТ 5686-94. Грунты. Испытание сваями.
2. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты.
3. Рекомендации по применению буронабивных свай. НИИОСП. М.: изд. НИИОСП, 1997, - 37с.
4. СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов.
5. Семушкина А.А. Экспериментальное обоснование основных параметров технологического процесса импульсного уплотнения водонасыщенных грунтов при строительстве. Дис. к.т.н., М., МИСИ. 1968, - 180 с.
6. Солоухин Р.И. Ударные волны, образующиеся при электрическом разряде в воде./ Физическая газодинамика. –М.: АН СССР, 1959. с. 143-145.
7. 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.
8. Шамко В.В. О тротиловом эквиваленте мощного подводного искрового разряда./ Электронная обработка материалов. 1972, № 5(47). с. 16-19.
9. Педанов В.В. Разработка и исследование мощной искровой установки для моделирования явлений взрыва. Дис. К.т.н., -М.: Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта, 1965, - 165 с.
10. Зельманов И.Л., Колков О.С., Тихомиров А.М., Шацкевич А.Ф. Влияние газообразующих веществ в очаге электровзрыва на движение слабосвязного грунта./ ДАН СССР, 1968, № 1, с. 90-93.

11. Зельманов И.Л., Колков О.С., Тихомиров А.М., Шацкевич А.Ф. Об электровзрыве в песчаном грунте./ ФГВ, 1968, № 3, с. 408-413.
12. Чедвик П., Кокс А., Гопкинс Г. Механика глубинных подземных взрывов. –М.: Мир. 1966. – 127 с.
13. 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.
14. Смирнов В.И., Голицинский Д.М., Мельников Л.Л. Строительство подземных сооружений с использованием камуфлетных взрывов. М.: Недра. 1981. - 215 с.
15. Глоба В.М. Буровзрывные работы при строительстве магистральных трубопроводов и подземных хранилищ. М.: Недра. 1984.- 239 с.