



## ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВА СВАЙ И АНКЕРОВ

*С. А. РЫТОВ – НИИОСП им. Н. М. Герсеванова, г. Москва.*

Описывается электроразрядная технология для устройства геотехнических конструкций, позволяющая устраивать сваи и анкера с повышенной несущей способностью. Впервые предложена обработка межсвайного и законтурного пространства для повышения несущей способности свай любого типа. Рассматриваются новые типы стыков арматуры и материалы для геотехнических конструкций, разработанные и внедренные авторами.

Электроразрядная технология устройства геотехнических конструкций (буроинъекционные сваи, грунтовые анкера, нагели) и глубинного уплотнения рыхлых песчаных грунтов построена на эффекте динамического воздействия на окружающие грунты источником электрических разрядов, генерируемых высоковольтной разрядной станцией.

Первые исследования по применению электроразрядной технологии в геотехнике были выполнены в МИСИ под руководством Г. М. Ломизе в 1965 г. [1,2]. Результаты исследований уплотнения рыхлых песков в основании намывных дамб показали перспективность нового метода.

В 1978–1981 гг. в Ленинграде В. М. Улицким, Г. Н. Ясиевичем, Г. Н. Гавриловым были разработаны основы технологии изготовления буронабивных свай с использованием электрогидравлического эффекта [3]. Удалось достичь повышения несущей способности свай на 30 %. При этом были использованы генераторы импульсных токов, способных накапливать энергию до 25 кДж. Кроме того, были разработаны электроды, способные выдерживать до 5000 разрядов. К сожалению, был и негативный опыт применения данной технологии в строительстве, что повлекло за собой спад ее дальнейшего развития [4].

В 1994 г. в НИОСП начались работы по внедрению электроразрядной технологии в строительство [5]. Отрабатывались два основных метода реализации электрического взрыва

в жидкой среде: подводный искровой разряд (пробой жидкости под действием приложенного к электродам высокого напряжения), подводный взрыв тонких проводников. Практика применения этих способов в геотехническом строительстве показала, что предпочтительным является первый метод, а второй применяется, в основном, для разрушения «негабаритов». Кроме того, первый метод позволяет создавать серию импульсов через малый промежуток времени (возможна работа в режиме вибрации), а для второго после каждого разряда требуются установка новой проволоки или введение в межэлектродный зазор порции специальной пасты. Однако второй метод позволил разработать новую технологию – электрохимический взрыв для устройства буронабивных свай, обладающих всеми преимуществами набивных свай с камуфлетным уширением.

Основными параметрами подводного электрического разряда, используемыми в геотехнике, являются ударная волна и гидротоки парогазовой полости [6]. Ударные волны, а затем парогазовая полость оказывают высокое импульсное гидродинамическое давление на стенки скважины. Оборудование, применяемое для электроразрядной обработки, позволяет создавать серию импульсов с интервалом в несколько секунд, тем самым оказывается многократное динамическое воздействие на грунты основания.

Реакция грунтов на такие воздействия очень индивидуальна и зависит от многих

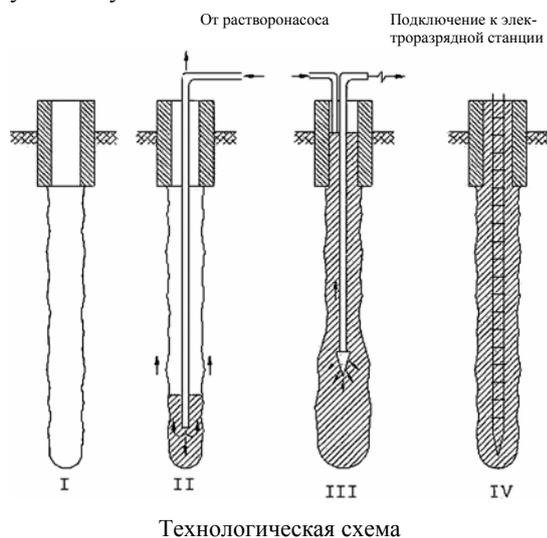
© С. А. Рытов, 2004

Internet: [www.georec.spb.ru](http://www.georec.spb.ru)

характеристик (свойств грунтов, параметров динамического нагружения, существующего напряженно-деформируемого состояния среды и т. п.) [7, 8, 9].

НИИОСП совместно с Курчатовским институтом разработал электроразрядные станции УЭМ-200, УЭГ-30-У2, способные генерировать в рабочей жидкости разряды с энергией до 100 кДж. Кроме того, были разработаны разрядники, способные выдерживать до 10000 импульсов с энергией до 30 кДж.

Была отработана технология устройства буроинъекционных свай и анкеров, включающая (см. рисунок): бурение скважины, заполнение ее твердеющим материалом (бетонная смесь), электроразрядную обработку скважины и установку армокаркаса или тяги в свежесозданную смесь.



Бурение выполняется любым методом, гарантирующим устойчивость стенок скважины в зависимости от конкретных грунтовых условий (бурение под защитой бентонита, бурение шнеками непрерывной обсадки и т. д.).

Обработка скважины по ЭРТГ выполняется, как правило, с шагом 0,5 м по глубине скважины 5...10 разрядами на каждом горизонте. Обработка скважины может осуществляться как снизу вверх, так и сверху вниз в зависимости от грунтовых условий, при этом изменение уровня бетонной смеси постоянно контролируется. Подчеркнем, что электроразрядная обработка может выполняться на том горизонте, где она наиболее необходи-

ма, в отличие от статической «опрессовки» для традиционной схемы устройства буроинъекционных свай.

Устройство буроинъекционных свай под защитой бентонитового раствора является одним из наиболее универсальных методов, так как он пригоден практически для любых грунтовых условий. Однако бентонитовая корка ухудшает контакт сваи с грунтом по боковой поверхности, и только электроразрядная обработка может эту корку ликвидировать.

Установка каркаса может выполняться как после, так и до обработки по электроразрядной геотехнической технологии (ЭРТГ). Контроль сплошности сваи осуществляется беспрепятственным погружением каркаса. В случае пережимов ствола (шеек), препятствующих погружению каркаса до проектной отметки, может быть применено электроразрядное «добуривание». Оно применяется и в «трудных» грунтовых условиях для ЭРТГ, в частности в маловлажных песках (эти пески приводят к быстрому обезвоживанию бетонной смеси, ее быстрому загустеванию и образованию бетонных пробок).

Одним из этапов исследований явилось применение ЭРТГ для обработки межсвайного и законтурного пространства с целью повышения несущей способности любого типа свай.

Были попытки достичь резонанса [13] в режиме электроразрядной обработки с целью разжижения максимально возможного объема грунта. Установлено, что на современном уровне развития разрядных станций получить такой эффект достаточно сложно.

Испытания свай и анкеров, выполненных с применением ЭРТГ, показали, что их несущая способность в 1,5...2,0 раза выше, чем у свай и анкеров, выполненных по традиционной технологии. Обработка по ЭРТГ свай позволяет существенно снизить влияние технологии бурения на несущую способность. В водонасыщенных песках (наиболее трудные условия для буронабивных свай) электроразрядная технология позволяет добиться максимального эффекта по сравнению с другими технологиями.

Была установлена рациональная область применения ЭРТГ для Москвы и Московского региона.

В нашей лаборатории совместно с НИИ-цемента и НИИЖБом ведутся работы по совершенствованию конструкций буроинъекционных свай и подходов к оценке прочности их ствола.

К примеру, отработана технология изготовления каркасов для буроинъекционных свай с применением станка автоматической контактной сварки, что позволило применить в качестве поперечной арматуры проволоку Вр-I. Такой подход значительно повышает качество арматурных каркасов (устраняется пережог арматуры и т. п.) и сокращает время их изготовления. Для каркасов такого типа технологически выгодно перейти от привариваемых к пластмассовым навешиваемым фиксаторам.

В качестве альтернативы сварным соединениям для случая армирования свай и анкеров одиночными стержнями предложены и внедрены два типа стыков – муфтовое соединение из высокопрочной арматуры и соединение гидравлическим обжимом, что позволило существенно упростить конструкцию стыкового соединения и сократить время монтажа. В основном, такие соединения позволяют работать без сварки в подвальных помещениях и т. п.

Кроме того, ведутся работы по повышению коррозионной защиты буроинъекционных свай и анкеров. Регламентируемый СНиП 2.02.03–85 «Свайные фундаменты» для буронабивных свай защитный слой в 10 см приводит к нерациональному армированию буроинъекционных свай. Одним из методов решения данной проблемы является применение специальной защиты в виде гофрированных пластмассовых труб для уменьшения толщины защитного слоя.

Актуальным вопросом оказались свойства укладываемой инъецируемой бетонной смеси при устройстве геотехнических конструкций малого поперечного сечения и большой длины (свай и анкера). Для таких конструкций важно удовлетворить требования по перекачиваемости (удобоукладываемости), расклаиваемости и др. В реальных условиях бетонная смесь приготавливается на строительной площадке и транспортируется к месту укладки под давлением в резиновых шлангах диаметром 45...100 мм. На дно скважины

смесь подается через инъекционную «иглу» (бетонолитная труба диаметром 45...60 мм) на глубину до 30 м. Расстояние перекачки достигает 100 м по горизонтали и 20 м – по вертикали. Имеют место перегибы шлангов, микро- и макротрещины и т. п. Для надежного заполнения скважины и недопущения вывалов грунта из ее стенок, а в некоторых технологиях – для опрессовки контакта «бетон–грунт», инъекцию выполняют без извлечения «иглы» по мере производства процесса бетонирования, очень часто преодолевая противодавление вытесняемого бентонитового или другого промывочного раствора.

В ряде случаев в слоях маловлажных грунтов происходит резкое обезвоживание и загустевание смеси из-за миграции воды в поры грунта. При этом создаются «пробки», препятствующие извлечению бетонолитной трубы и арматурных каркасов. Для повышения подвижности бетонных смесей строители применяют составы с  $V/C > 0,8$ . При этом резко увеличивается расклаиваемость смеси, песок отделяется и выпадает в осадок, образуются препятствия на пути движения раствора в вертлюгах, штуцерах и других переходных участках трубопроводов. Кроме того, повышение  $V/C$  неизбежно приводит к снижению прочности и водонепроницаемости будущего материала сваи или анкера.

Необходимо также отметить, что большинство подрядных организаций, занимающихся изготовлением буроинъекционных свай, сознательно идут на нарушение ГОСТ 18105–86 «Бетоны. Правила контроля прочности» и ГОСТ 27006–86 «Бетоны. Правила подбора состава». Как правило, на строительной площадке имеет место объемное дозирование (вместо дозирования по массе с отклонением не более 1 %). Подрядчики стараются при приготовлении бетона добавлять как можно меньше песка, так как он резко снижает перекачиваемость раствора, при этом соотношение  $C:P$  составляет менее 1:1.

Одним из путей решения данной проблемы является использование в качестве материала геотехнических конструкций (буроинъекционных свай, анкеров, нагелей и т. д.) бетонов с малым содержанием инертных заполнителей. Нами была разработана и внедрена противоосадочная добавка для бетонов «Ди-

лафилм» [12]. Добавка позволяет изготавливать сваи на цементно-песчаном растворе с малым содержанием песка.

Говоря о прочности ствола, необходимо отметить, что многие исследователи [10] подтверждают положительное влияние электроразрядной обработки на прочность бетона и заполнителей. Кроме того, в работе [11] показано, что существует оптимальное время для получения максимальной прочности бетона. К сожалению, все указанные исследования проводились в относительно «чистых» условиях по сравнению с теми, в которых устраиваются буроинъекционные сваи и анкера, где велика вероятность смешивания твердеющего раствора с грунтом и лимитировано время между устройством скважины и установкой каркаса. Наш опыт позволяет утверждать, что с учетом указанных неблагоприятных факторов после электроразрядной обработки бетон свай получается не ниже проектного.

Подводя итоги, отметим основные преимущества ЭРГТ:

1. Схема устройства буроинъекционных свай и анкеров по электроразрядной технологии достаточно проста и надежна.
2. Электроразрядная технология устройства буроинъекционных свай и анкеров позволяет получать конструкции с повышенной несущей способностью. В результате обработки скважины по ЭРГТ несущая способность буроинъекционных свай повышается в среднем: в песках – в 2 раза, в глинах – в 1,5 раза.
3. Осадки свайных групп уменьшаются в несколько раз при глубинном уплотнении их оснований по ЭРГТ.
4. Электроразрядная обработка бетонной смеси благотворно сказывается на ее технологических и прочностных характеристиках.
5. Впервые предложен метод повышения несущей способности любого типа свай за счет электроразрядной обработки межсвайного и контурного пространства.
6. Разработанная конструкция стыков для арматуры позволяет значительно повысить их надежность, сократить сроки монтажа и отказаться от сварки, что особенно удобно при работе в подвальных помещениях.
7. Добавка «Дилафилм» позволяет работать с бетонами с малым содержанием песка при устройстве свай и анкеров.

Необходимо совершенствовать подходы к оценке прочности ствола свай и анкеров с учетом технологии их устройства.

### Список литературы

1. Ломизе Г. М., Гильман Я. Д. Электроискровой метод уплотнения грунтов // Гидротехническое строительство. 1962. № 6.
2. Уплотнение песчаных грунтов электрическими разрядами / Г. М. Ломизе, А. Н. Мещеряков, Я. Д. Гильман, Б. С. Федоров, Л. П. Хлюпина // Геотехническое строительство. 1963. № 7; 1966. №12.
3. Гаврилов Г. Н., Егоров А. Л., Коровин С. К. Электрогидроимпульсная технология в горном деле и строительстве. М.: Недра, 1991.
4. Улицкий В. М., Шашкин А. Г. Геотехническое обоснование сложных технологий реконструкции и нового строительства // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1997. № 3.
5. Бахолдин Б. В., Джантимиров Х. А. Новые электроразрядные технологии в геотехническом строительстве // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1998. № 4–5.
6. Наугольных К. А., Рой Н. А. Электрические разряды в воде. М.: Наука, 1971.
7. Вознесенский Е. А. Динамическая неустойчивость грунтов. М.: Эдиториал УРСС, 1999.
8. Иванов П. Л. Разжижение и уплотнение несвязных грунтов при динамических воздействиях. Л., 1978.
9. Ляхов Г. М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах. М.: Недра, 1974.
10. Нетрадиционные технологии в строительстве: Материалы международ. науч.-техн. семинара: Ч.1. Томск, 1999. 312 с.
11. Новоселова Ю. Н. Электрофизический метод выбора ускорителей твердения цемента: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 1998.
12. Джантимиров Х. А., Рытов С. А., Юдович Б. Э. Новейшие геотехнические технологии, конструкции и материалы // Тр. института НИИОСП. М., 2001.
13. Дидух Б. И. Упругопластическое деформирование грунтов. М.: Изд-во УДН, 1987.