© В.З. Галаветдинов, Б.Ю. Давиденко, В.Я. Еремин, 2015

УДК 622.02:531

В.З. Галаветдинов, Б.Ю. Давиденко, В.Я. Еремин

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Для усиления креплений бортов глубоких котлованов принято использовать распорки, подкосы и грунтовые анкеры. Крепление ограждений котлованов грунтовыми анкерами малого диаметра (0,114–0,150 м) и большой несущей способности (300–1000 кН) является достаточно новым видом строительных конструкций, так как применяется в практике отечественного строительства лишь в последние 25 лет. В таких странах как Франция, Германия, Англия, США, Япония, Польша анкерное крепление нашло широкое распространение уже в 60-е годы XX столетия. В последнее время известные конструкции и технологии устройства анкеров пополнились новыми, соответствие которых предъявляемым требованиям остается мало изученным. Одновременно возникает ряд вопросов по показателям работоспособности и надежности системы «ограждение – анкер – грунт». Это потребовало дополнительных исследований по обеспечению прочности и устойчивости конструкции крепления котлованов и оценке несущей способности анкеров.

Описана разрядно-импульсная технология для устройства геотехнических конструкций (сваи и анкера) с повышенной несущей способностью, проанализированы процессы в обводненных грунтах (пески, суглинки), возникающие в результате воздействия электрического взрыва на грунт, рассмотрен принцип работы генератора импульсных токов, описаны физические процессы электровзрыва.

Ключевые слова: разрядно-импульсная технология, электровзрыв, генератор импульсных токов, анкер, свая, обводненный грунт, несущая способность.

Разрядно-импульсная технология успешно работает в геотехническом строительстве России. На сегодняшний день с использованием разрядно-импульсных технологий (РИТ) изготовлено более 1 млн свай-РИТ и грунтовых анкеров, процементированы тысячи метров ветхих фундаментов старинных зданий, выполнены километры ограждений котлованов из свай-РИТ, уплотнены десятки тысяч кубических метров грунта, в том числе на глубинах до 20 и более метров, реконструировано и построено более 1000 объектов. Среди них известные многим объекты: Старый Гостиный двор, здание Всероссийского театрального общества, комплекс зданий Большого театра, здание усадьбы Дениса Давыдова и т.д. [5].

Технология РИТ основана на эффекте Юткина. В 1950 г. Л.А. Юткин предложил использовать гидродинамические импульсы, возникающие при электрическом разряде в жидкости, в технологических процессах. Так был изобретен «Способ получения высоких и сверхвысоких давлений». Электрический разряд в жидкости есть не что иное, как электрический взрыв. Образующееся при электрическом взрыве высокое давление через жидкость передается в окружающую среду. Предложения Л.А. Юткина по применению «электрогидравлического эффекта», как его назвал автор изобретения, оказались весьма своевременными и были незамедлительно востребованы, в том числе потребностями зарождающейся термоядерной энергетики [6].

Технологическая схема обустройство анкера представляется следующим образом. На первом этапе производится бурение до проектной отметки. На втором этапе производится заполнение скважины цементным молочком. Обычно цементное молочко попадает в скважину через полый шнек, либо через заливочную колонну. На третьем этапе производится разрядно-импульсная обработка скважины. На четвертом этапе производится установка анкерного каркаса. И на завершающем этапе, после затвердевания цементного раствора 3–5 дней, осуществляется натяжение анкеров.

Третий этап является инновационным. Для осуществления электрического разряда в жидкости применяют специальные установки, основным элементом которых является генератор импульсных токов (ГИТ), включающий: трансформатор для повышения напряжения до требуемой величины, выпрямитель переменного тока в постоянный, накопитель энергии, чаще всего, блок конденсаторных батарей, коммутатор (регулируемый разрядник) и блок управления работой всей установки. ГИТ соединяют коаксиальным кабелем с излучателем энергии. Излучатель энергии, представляющий собой некоторое подобие свечи зажигания двигателя внутреннего сгорания увеличенной во много раз, помещают в скважину, заполненную подвижной (литой) бетонной смесью [1].

Процесс реализуется следующим образом: электрическая энергия переменного тока промышленной частоты напряжением 220÷380 В повышается до 4,0 кВ для условий цементации кирпичных стен и до 10,0 кВ – для изготовления свай и уплотнения грунта. Электроэнергия постоянного тока и высокого напряжения накапливается в блоке конденсаторных батарей: до 1 кДж при цементации стен и до 60,0 кДж при изготовлении свай и уплотнении грунта. Далее накопленную энергию направляют к излучателю энергии, погруженному в бетонную смесь. Между электродами излучателя всегда должен находиться жидкий электролит, каким является цементный раствор или бетонная смесь. При подаче электроэнергии на электроды излучателя в межэлектродном промежутке создается высокая плотность энергии $10^{13}\div10^{14}$ Дж×м^3, происходит пробой с образованием плазменного канала разряда. В этом канале примерно за 0,1 микросекунду повышаются температура до $10^4\div4\times10^5$ °С и давление до $10^8\div3\times10^{13}$ Па, что обеспечивает высокую скорость расширения канала разряда (до сотен метров в секунду), образование и распространение в окружающей среде волн сжатия. На этой стадии происходит преобразование запасенной в накопителе электрической энергии в энергию гидродинамических возмущений. К моменту окончания ввода энергии, канал разряда развивается в парогазовую полость, которая, продолжая расширяться, способствует развитию камуфлетного уширения. Когда давление в полости станет меньше гидростатического давления бетонной смеси, начинается процесс «схлопывания» полости, а объем, занимаемый этой полостью, заполняет свежая порция пластичной бетонной смеси.

Разрядно-импульсная технология позволяет работать в очень сложных условиях с точки зрения геологии. К сложным геологическим условиям относят: неустойчивые водонасыщенные грунты, так называемые «плывуны»; неоднородные грунты по физическим свойствам и химическому составу, залегающие наклонно или с выклиниванием; карстовые образования; заболоченная местность; техногенные грунты с повышенной усадкой, Также к сложным условиям относят сейсмическую активность. В данном случае под

сейсмической активностью понимают инженерные сооружения, которые работают в режиме знакопеременной нагрузки, к таким сооружениям относят: авто и ж/д мосты; эстакады; метрополитен и т.д. [2]. В большинстве случаев при очередной разработке котлованов строители сталкиваются с вышеуказанными условиями, которые требуют нестандартных, инновационных инженерных решений. К одному из таких решений относится разрядно-импульсная технология.

К одной из неблагоприятных территорий, как в геологическом отношении, так и плотно застроенной геотехническими сооружениями является Москва [3].

В геологическом строении территории до разведанной глубины 50 м принимают участие четвертичные, коренные, юрские и верхнекаменноугольные отложения. Данные отложения представлены суглинками, супесями, песками (крупно-, средне- и мелкозернистые), глинами (красноцветные, черные и серые), трепелами, доломитами, мергелями и песчаниками.

К одним из тяжелых условиям для строителей являются обводненные пески. При обустройстве сваи в водонасыщенных песках, выбуренная скважина практически сразу заплывает при традиционных методах проходки. В таких случаях бурят с обсадкой, либо с промывкой. Первая и вторая технологии требуют дополнительного оборудования, что увеличивает стоимость работ. Разрядно-импульсная технология позволяет осуществить проходку традиционным шнековым бурением.

Рассмотрим процессы, возникающие при РИТ-обработке скважины. После серии электровзрывов скважина начинает расширяться. Под действием взрыва цементный раствор «вынужденно» смешивается с окружающим грунтом (песком), создавая слой «грунтоцемента». Увеличение объема скважины в зоне действия электровзрыва означает повышение плотности окружающих грунтов, т.е. за грунтоцементным слоем образуется уплотненная зона. Под действием взрыва вода фильтрует вглубь массива, т.е. взрыв «выжимает» воду из песка. В уплотненная зоне понижается пористость и водопроницаемость, т.е. данная зона препятствует попадание

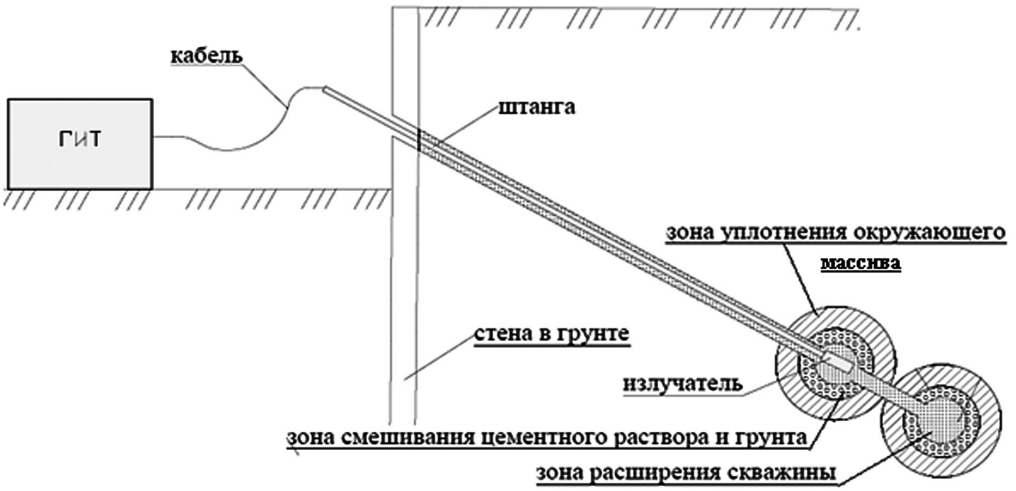

Схема разрядно-импульсной обработки скважины

воды в скважину из водонасыщенного массива. Грунтоцементный слой отвечает за устойчивость скважины. Все это позволяет вести работы в водонасыщенных песках и формировать надежную конструкцию (рисунок).

Разрядно-импульсная технология очень эффективна в песках. Это связано с тем, что характеристики взрыва удовлетворяют физико-механическим свойствам песков. По данному вопросу написано множество научных трудов. Сваи и анкера, изготовленные по данной технологии в песках обладают высокой несущей способностью [4].

Среднезернистый и крупнозернистый песок это пористая среда. Это означает, что при возведении здания в данном слое просадка фундамента неизбежна. Например, двадцати этажное здание может просесть за первый год на 5–7 см, бывают случаи до 20 см. За границей требования гораздо выше, к примеру, в Германии просадки фундаментов жилых зданий не должны превышать 20 миллиметров за первый год. Просадки фундаментов на рит-сваях достигают 5–15 мм. Конечно же, большие просадки 7–20 см могут привести к необратимым последствиям. Поэтому использование разрядно-импульсной технологии актуально в любых песках [4].

Рассмотрим действие электровзрыва в водонасыщенных суглинках. Суглинки это самая распространенная осадочная горная порода. Поэтому знание всех физико-механических свойств и процессов, возникающих в суглинках при нарушении равновесного состояния сплошности системы, очень важно.

Существует очень много разновидностей глин и суглинков, отличающиеся физико-механическими свойствами, по химическому и минералогическому составу, по цвету и т.д. С точки зрения геомеханики нас интересуют физико-механические свойства, а именно несущая способность грунта. Другими словами способность грунта нести в себе геотехническую конструкцию.

Основной проблемой для строителей в суглинках является слабая несущая способность данной породы. Поэтому при обустройстве буронабивных свай в суглинках, бурение производят до песков. Если пески находятся на большой глубине или их совсем нет, то чтобы повысить несущую способность конструкции увеличивают диаметр и длину сваи. Из вышесказанного можно сделать очень простой вывод – обустройство сваи большого диаметра и с глубоким заложением это трудоемкая и дорогая работа! Разрядно-импульсная технология позволяет избежать этих проблем.

Рассмотрим самый неприятный случай, когда мы имеем в основании котлована влажный мягкопластичный суглинок [7].

Процессы, возникающие при РИТ-обработки скважины в суглинках одинаковы. Здесь как и в песках наблюдается также увеличение диаметра скважины, насыщение суглинка цементным раствором т.е. возникновение грунтоцементного слоя, повышенной прочности. Также происходит удаление избыточной воды в уплотненной зоне за счет электровзрыва и поглощение воды цементным раствором в грунтоцементном слое.

У суглинков и глин слабая несущая способность. В геомеханике есть понятие сцепление горных пород, в частности в глинах сцепление характеризуется силами связей между частицами и зависит физического состава и влажности. Сцепление во влажных глинах очень слабое. Было отмечено выше, при разрядно – импульсной обработке между скважиной и массивом формируется грунтоцементный слой, который с одной стороны, «удерживает» сваю а, с дру-

гой «сцепляется» за массив, т.е. «склеивает» сваю с массивом. Здесь получаются две границы, которые крепко связанные между собой: граница между уплотненной зоной грунтов и грунтоцементной зоной, граница между грунтоцементной зоной и сваей. Если посмотреть на традиционную технологию, увидим одну границу между суглинком и сваей. Сцепление в этой границе очень слабое, из-за обводненной среды. При восприятии сваей нагрузки свая будет скользить по этой границе. Вот принципиальное отличие разрядно-импульсной технологии и традиционной.

Тугопластичные глины являются хорошим основанием. В таких условиях бурение под обустройство свай не производится, а возводится железобетонная монолитная плита, на которой будет стоять возводимое сооружение. Иногда приходится бурить и такую глину, например при обустройстве грунтовых анкеров. Бурить шнеком такую глину очень сложно, поэтому бурение осуществляют с промывкой, т.е. с водой. При такой технологии в процессе бурения на стенке скважины образуется тонкий кольматационный слой, толщиной 3–5 мм, действующая как «смазка» между тугопластичным массивом и анкером. Это приводит к понижению несущей способности конструкции. При разрядно-импульсной обработке цементный раствор, в зоне РИТ-обработки, проникает вглубь в тугопластичный суглинок на 2–3 см, тем самым создавая прочую связь между массивом и анкером, что обеспечивает получение надежной конструкции.

Разрядно-импульсная технология позволяет изготавливать геотехнические конструкции, в которые обустраиваются сваи и анкера с повышенной несущей способностью, а также производить глубинное уплотнение грунтов в самых сложных условиях, где традиционные технологии малоэффективны. Необходимо отметить, что данная технология является экономически эффективной. Например, при замене буронабивных свай диаметром 600...1000 мм длиной 45...60 м на сваи-РИТ в основании строящегося цементного завода в пос. Подгоренском воронежской области компания ОАО «Евроцемент-групп» получило снижение затрат на устройстве свайного основания на сумму более 2,2 млрд руб. [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еремин В.Я., Еремин А.В., Буданов А.А.* Атомным электростанциям надежный фундамент / Материалы ярмарки инновационных решений для реализации проектов «АЭС-2006» и «Новая технологическая платформа». – М.: «РОСАТОМ, РОСЭНЕРГОАТОМ», «ВНИИАЭС», «ЦНИИАТОМИНФОРМ», «АТОМ-ИННОВАЦИЯ», 2007. – С. 35–39.
2. *Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г.* Геотехническое сопровождение развития городов. – СПб., 2010.
3. // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 6.
4. *Еремин В.Я., Еремин А.В., Соколов В.А., Обозов В.И., Тихонов М.С.* Опыт усиления фундамента сваями-РИТ // Вестник строительного комплекса Подмосковья. Информационный сборник. – 2010. – № 4. – С. 66–67.
5. *Еремин В.Я., Еремин А.В., Кубецкий В.Л.* Опыт строительства на сваях-РИТ. – Волгоград, 2008.
6. *Тер-Мартиросян З.Г., Еремин В.Я., Буданов А.А.* Исследование напряженно-деформированного состояния маловлажного песчаного грунта вокруг свай-РИТ // Вестник МГСУ. – 2008. – № 2. – С. 24–36.
7. *Мадатян С.А., Еремин В.Я., Еремин А.В., Раянов С.Ф., Сарафанов Н.В., Буданов А.А.* Узел стыкового соединения стержней арматуры в сжатых железобетонных элементах // Бетон и железобетон. – 2008. – № 2(551). – С. 2–5. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Галаветдинов Винер Зинфирович – аспирант, e-mail: vinzin89@mail.ru,
Давиденко Борис Юрьевич – кандидат технических наук, профессор,
e-mail: bdavidenko@mail.ru,
МГИ НИТУ «МИСиС»;
Еремин Валерий Вячеславович – кандидат технических наук,
технический директор фирмы «РИТА» (Разрядно-Импульсные Технологии и Аппараты),
e-mail: info@rita.com.ru.

UDC 622.02:531

EFFECTIVENESS OF DISCHARGE – PULSE TECHNOLOGY IN COMPLEX GEOLOGICAL CONDITIONS

Galavetdinov V.Z.[1], Graduate Student, e-mail: vinzin89@mail.ru,
Davydenko B.Y.[1], Candidate of Technical Sciences, Professor, e-mail: bdavidenko@mail.ru,
Eremin V.V., Candidate of Technical Sciences, Technical Director of Company «RITA»
(Discharge-Pulse Technology and Devices), Moscow, Russia, e-mail: info@rita.com.ru,
[1] Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.

To strengthen the anchorages of deep excavations struts cleats and ground anchors are used. Fixing fences of excavations by ground anchors of small diameter (0,114–0,150 m) and high load carrying capacity (300–1000 kN) is a relatively new kind of building structures, as used in the practice of domestic construction only in the last 25 years. At the same time, in countries such as France, Germany, England, USA, Japan, Poland anchoring found widespread already in the 60 s. Recently, well-known structures and anchoring techniques replenished with new, which adequacy to requirements remains poorly understood. At the same time, a number of questions, concerning performance and reliability of «fencing – anchor – clay» system. This required additional research to ensure the strength and stability of the construction, excavation anchoring and evaluating the bearing capacity of anchors. The processes in flooded soils (sand, loam), resulting from exposure to electric explosion in the ground are analyzed. This paper describes the electric discharge technology for setting geotechnical constructions, allowing the anchors and piles with increased bearing capacity. The principle of operation of the generator of pulse currents is looked at. The physics of electric explosion is described.

Key words: discharge-pulse technology, electric explosion, pulse current generator, anchor, pile, flooded soil, bearing capacity.

REFERENCES

1. Eremin V.Ya., Eremin A.V., Budanov A.A. *Materialy yarmarki innovatsionnykh reshenii dlya realizatsii proektov «AES-2006» i «Novaya tekhnologicheskaya platforma»* (Materials of innovative solutions fair for the realization of «NPP-2006» and «New technological platform»), Moscow, «ROSATOM, ROSENERGOATOM», «VNIIAES», «TSNIIATOMINFORM», «ATOM-INNOVATSIYA», 2007, pp. 35–39.
2. Ulitskii V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. *Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitiya gorodov* (Geotechnical support urban development), Saint-Petersburg, 2010.
3. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2007, no 6.
4. Eremin V.Ya., Eremin A.V., Sokolov V.A., Obozov V.I., Tikhonov M.S. *Vestnik stroitel'nogo kompleksa Podmoskov'ya. Informatsionnyi sbornik*. 2010, no 4, pp. 66–67.
5. Eremin V.Ya., Eremin A.V., Kubetskii V.L. *Opyt stroitel'stva na svayakh-RIT* (Experience in construction on piles-DPT), Volgograd, 2008.
6. Ter-Martirosyan Z.G., Eremin V.Ya., Budanov A.A. *Vestnik MGSU*. 2008, no 2, pp. 24–36.
7. Madatyan S.A., Eremin V.Ya., Eremin A.V., Rayanov S.F., Sarafanov N.V., Budanov A.A. *Beton i zhelezobeton*. 2008, no 2(551), pp. 2–5.