

О повышении несущей способности свай, изготавливаемых по разрядно-импульсной технологии

З.Г. Тер-Мартirosян, д.т.н., профессор;

А.А. Буданов, аспирант МГСУ (МИСИ);

В.Я. Еремин, к.т.н., технический директор «РИТА» (Разрядно-Импульсные Технологии и Аппараты)

На основе полевых испытаний статической нагрузкой свай-РИТ, приводится статистика превышения их несущей способности по сравнению с расчетными данными. Обосновывается необходимость усовершенствования расчетного метода с учетом напряженно-деформированного состояния грунта вокруг свай.

В конце XX века в строительстве стали широко применяться новые типы геотехнических конструкций, изготавливаемые с использованием эффектов, возникающих при электрических разрядах в жидкости, т.е. с использованием разрядно-импульсных технологий (РИТ) [1].

К середине 2003 года более 300 зданий и сооружений, украшающих современную Москву, в своем основании имели сваи-РИТ. В списке таких объектов известные многим сооружения: Старый Гостиный двор (более 10 тысяч свай-РИТ), Здание Всероссийского театрального общества (ВТО), комплекс вспомогательных зданий Государственного Большого Академического театра, здание гимназии № 1529 во 2-ом Обыденском переулке ставшее Абсолютным победителем Московского конкурса на лучший реализованный проект в сфере строительства, большое количество жилых и офисных зданий, школ, спортивных сооружений, мостовых переходов и т.д.

Если в первые годы освоения технологии свай-РИТ применяли в основном для усиления фундаментов реконструируемых зданий, то в последующие годы сваи-РИТ стали широко применять и в новом строительстве. Особо стоит отметить высокую эффективность использования свай-РИТ в основании высотных зданий, где по параметру цена – несущая способность, сваи-РИТ оказались вне конкуренции.

По мере накопления опыта, нагрузки, допускаемые на сваи-РИТ, возрастали и в 2000 году перешагнули стотонный рубеж. В 2002г. успешно испытали висячую сваю-РИТ нагрузкой 270 т (Митино, микрорайон 8Б). При такой нагрузке свая-РИТ приближается к своему пределу несущей способности по материалу.

Контрольные испытания свай-РИТ, выполняемые сотрудниками НИИОСП им. Н.М. Герсевича в соответствии с требованиями [2] ГОСТ 5686-94, подтвердили их высокую несущую способность (см. таблицу 1). Так, висячие сваи-РИТ диаметром 250 мм при испытательной нагрузке 120...130т давали осадку в пределах 8...15 мм. В одном из экспертных заключений НИИОСП им. Н.М. Герсевича в 2000 г. зафиксировано: «Испытания подтвердили очень высокую жесткость и несущую способность свай-РИТ (при нагрузке 102 т осадка 4...6 мм). Одна свая была испытана нагрузкой 130 т и получила осадку около 8 мм, что также далеко от потери несущей способности. Дальнейшее нагружение было остановлено из-за прогиба опорной балки испытательного стенда».

Действительно, висячие сваи-РИТ по своим характеристикам и в частности, жесткости, практически соответствуют сваям стойкам. Если посмотреть на графики зависимости осадки от нагрузки у обычной буро-инъекционной висячей сваи, то обнаружим характерный резкий перелом – свидетельствующий о срыве сваи по боковой поверхности (рис. 1). На графиках испытаний свай-РИТ такой перелом отсутствует. График имеет более пологую кривую, даже при испытательных нагрузках достигающих расчетного сопротивления сваи по материалу (рис. 2). На графиках изменения осадки свай-РИТ во времени по ступеням нагружения видно, как наступает стабилизация деформаций (рис. 3). После снятия нагрузки, сваи-РИТ возвращаются практически в

исходное положение, остаточные деформации у них измеряются первыми миллиметрами. Это свидетельствует о том, что система сваи-РИТ-грунт работает в стадии упругих деформаций.

Таблица 1

№ п/п	Объект	Характеристика свай	Дата испытаний	Грунтовые условия	Расчетная несущая способность, т	Нагрузка на сваи-РИТ при испытаниях, т	Осадка сваи-РИТ под нагрузкой, мм	Осадка сваи-РИТ после разгрузки, мм	
1	Арбат, д.1, вестибюль второго выхода станции м. "Арбатская"	d=250мм, L=8м	26,02,02	Суглинки плотные оторфованные, глина	75	90	8,39	3,21	
			02,03,02		75		7,79	2,5	
2	Митино, мкр. 8Б, к.2, сек.2, фундамент жилого дома	d=300мм, L=10м, L=11м	01,07,02	Пески мелкие, средней крупности, плотные, в забое водонасыщенные	80	100	4,14	0,9	
			02,07,02		80		4,39	0,88	
3	Митино, мкр. 8Б, к.2, сек.1, опытная площадка для испытаний свай-РИТ	d=300мм, L=19м	07,06,02	До глубины 12м насыпь, торф, далее пески ср. крупности, водонасыщенные	70	240	17,3	6,42	
			09,06,02		80		270	32,04	12,64
4	147 АБ ГШ ВС РФ Е 00, жилой дом серии III М, свайное основание	d=250мм, L=5м	20,02,02	Пески мелкие	47	60	5,15	2,94	
5	Б. Знаменский пер., д.23, свайный фундамент 10-ти этажного корпуса, 1-го дома МО РФ	d=250мм, L=15.2м	25,05,01	Пески мелкие, средней плотности с прослойками суглинков	92	120	6,4	1	
			20,05,01		92		8,3	1,8	
			22,05,01		92		120	8,4	1,7
6	ул. Гришина, д.23, стр.7, свайное основание над сооружением ГО	d=250мм, L=15м	20,11,00	Суглинки тугопластичные, пески пылеватые водонасыщенные	85	102	5,2	2,8	
			23,11,00		85		130,5	8,3	1,6
			26,11,00		85		102	7,3	1,3
					85		102	7,3	1,3
7	Врачебный проезд, вл.8, свайное основание 25-этажного жилого дома	d=250мм, L=11.2м	05,08,02	Суглинки тугопластичные, пески ср. кр. водонасыщенные	60	72	3,32	0,52	
			07,08,02		60		115	10,9	2,8
8	Соймоновский пер., вл.7, стр.2, свайное основание гаража	d=250мм, L=7м	20,02,02	Песок рыхлый, ср. кр., песок ср. кр. ср. плотности	50	60	3,05	1,48	
			05,03,02		50		60	4,98	2,99
9	Пр-т Вернадского, д.37, свайное основание 19-этажного корпуса	d=300мм, L=18м	12,03,03	Техногенные грунты, суглинки, песок ср. кр., водонасыщенный	150	180*	15,11	5,73	
			01,04,03		150		180	8,93	1,88
			17,05,03		150		234**	18,46	5,47

* испытания вдавливающей нагрузкой 180 т проводились через 15 дней после бетонирования свай, твердение бетона в грунте, температура + 8°C;

** при контрольной нагрузке 180 т свая-РИТ дала осадку 10,71 мм.

Несмотря на достигнутые успехи в применении свай-РИТ, остается еще много нерешенных проблем. Реальная несущая способность свай-РИТ по грунту, определяемая по результатам контрольных испытаний, значительно превосходит несущую способность, определяемую предварительными расчетами.

Нет сомнений, что самый надежный способ определения несущей способности свай по грунту – полевые испытания грунтов натурными сваями, проводимые при инженерных изысканиях для строительства, в конкретных геологических условиях данной строительной площадки. Однако организационные проблемы не позволяют выполнить испытаний грунтов натурными буронабивными сваями на стадии проведения геологических изысканий. Учитывая это, необходима методика для предварительного определения несущей способности свай-РИТ.

Рекомендуемый в [3] метод предварительного определения несущей способности буронабивных свай по грунту отличается от методики расчета, изложенной в СНиП [4], введением повышающих коэффициентов, учитывающих условия работы грунта под нижним концом свай γ_{cf} и на ее боковой поверхности γ_{cf} .

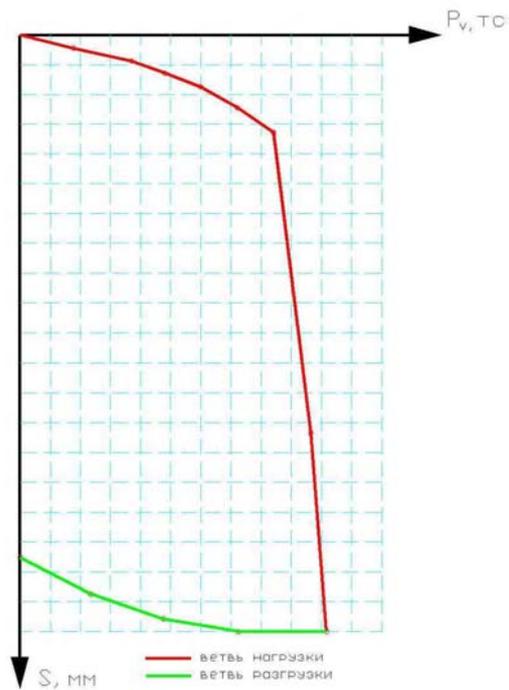


Рис. 1. График зависимости осадки от нагрузки у обычной буринъекционной висячей сваи

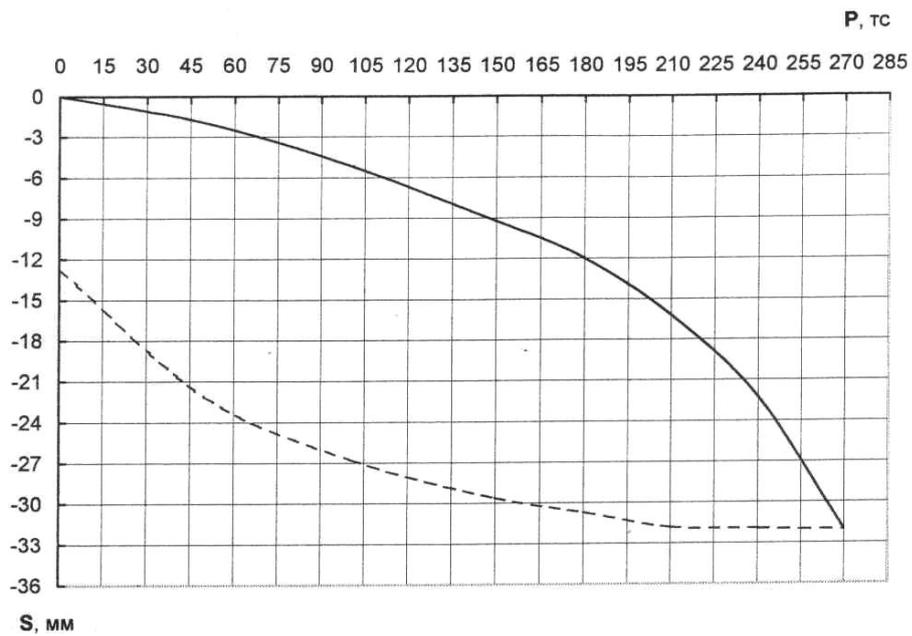


Рис. 2. Зависимость осадки сваи-РИТ с усиленной системой анкерования от нагружения

При нагружении ступени 290т начали разрушаться сварные швы в анкерной системе. После разгрузки сваи остаточная деформация составила 12,64мм. Свая работает в упругой стадии деформаций.

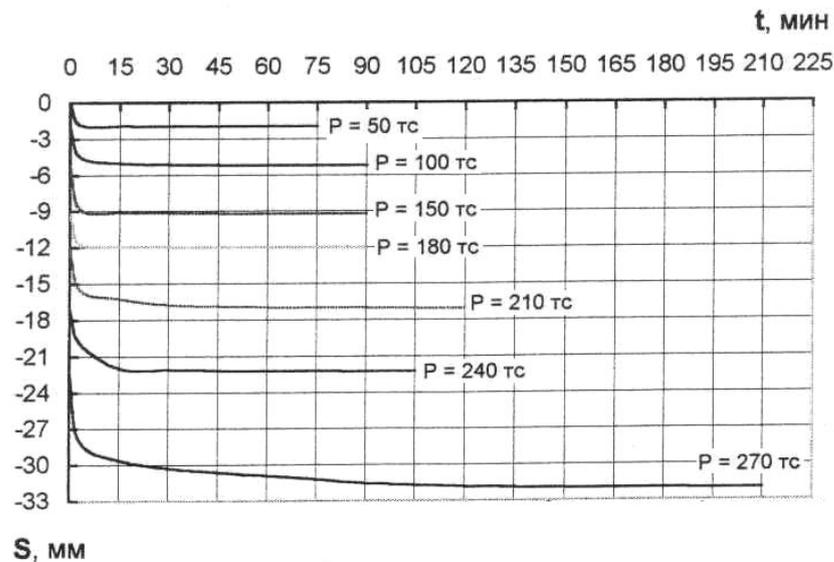


Рис. 3. Зависимость осадки во времени по ступеням нагружения свай-РИТ с усиленной системой анкеровки

Коэффициент условий работы грунта под нижним концом буровой сваи с камуфлетным уширением, согласно [4], следует принимать $\gamma_{cr} = 1,3$. Значение этого коэффициента было узаконено в СНиП 2.02.03-85 п. 4.6 после проведения обширных экспериментальных исследований и продолжительной дискуссии в специальных журналах. Вес заряда взрывчатого вещества (ВВ) для получения камуфлетных уширений, при проектировании свай, определяется по [5]. Он может достигать нескольких килограмм. Взрыв мощного заряда ВВ обеспечивает условия работы грунта под нижним концом сваи, соответствующие принятому в [4] коэффициенту $\gamma_{cr} = 1,3$.

В [3] для свай ЭРСТ (электроразрядная свайная технология) рекомендовано принимать коэффициенты условий работы связных грунтов под нижним концом сваи $\gamma_{cr} = 1,8$, песков и супесей $\gamma_{cr} = 2,4$. Для свай Л-38, камуфлетное уширение которых устраивается с помощью электрохимического взрыва недетонирующей водонаполненной экзотермической смеси, рекомендовано принимать коэффициенты условий работы связных грунтов под нижним концом сваи $\gamma_{cr} = 2,5 \dots 3,0$, песков и супесей $\gamma_{cr} = 5,0$!!!

Трудно согласиться с тем, что взрывом экзотической смеси, не проверенной массовым производством свай, можно создать условия работы грунта под нижним концом сваи ($\gamma_{cr} = 2,5 \dots 5,0$), лучшие, чем в результате взрыва мощного заряда традиционного ВВ ($\gamma_{cr} = 1,3$). Тем более не возможно поверить, что после, указанных в типовом технологическом регламенте [3], 10 электрических разрядов по 15...20 кДж, выделяющих энергию эквивалентную взрыву 1,5...2 грамм тротила, можно добиться лучших условий работы грунта под нижним концом сваи ($\gamma_{cr} = 1,8 \dots 2,4$), чем в результате взрыва многокилограммового заряда ВВ ($\gamma_{cr} = 1,3$).

Введенные в [3] ни чем не обоснованные, не подтвержденные и, самое главное, не контролируемые в процессе устройства сваи, повышенные значения коэффициентов условий работы грунта под нижним концом и на боковой поверхности сваи γ_{cr} и γ_{cf} , вызывают сомнение в их достоверности.

При определении несущей способности сваи, полагаем целесообразным ограничить максимальные значения коэффициентов условий работы грунта под нижним концом и на боковой поверхности сваи γ_{cr} и γ_{cf} величиной 1,3, проверенной многолетней практикой предварительных расчетов и последующими контрольными испытаниями свай статическими вдавливающими нагрузками. Площадь опирания сваи, при этом, принимать

равной площади поперечного сечения камуфлетного уширения в месте наибольшего его диаметра, как рекомендуется в СНиП [4].

Упомянутые в [3] сваи РИТ (пишется отдельно), должны изготавливаться по патенту 2087617. Настоящие сваи-РИТ (пишется через дефис) изготавливаются с использованием разрядно-импульсной технологии (РИТ), а не по указанному патенту, поэтому они имеют высокую несущую способность при незначительных деформациях (см. таблицу 1). В дальнейшем, мы будем иметь в виду настоящие сваи-РИТ и будем писать их название через дефис, просим не путать их со сваями РИТ, название которых написано отдельно.

В результате исследований, проведенных лабораторией свайных фундаментов НИИ оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова с участием специалистов фирмы РИТА, в 2001 году была разработана Методика [6] определения несущей способности висячих свай-РИТ по грунту, одобренная Главгосэкспертизой Госстроя России и рекомендованная всем экспертным организациям субъектов Федерации для практического использования. Согласно этой Методике, разрядно-импульсную обработку осуществляют до получения «отказа», т.е., до полного уплотнения грунта вокруг скважины, о степени уплотнения судят по величине оседания бетонной смеси в устье скважины после каждого разряда или серии из 5 разрядов. Однако Методика [6] не учитывает изменений напряженно-деформированного состояния грунта, подвергнутого комплексному воздействию полей, возникающих в процессе разрядно-импульсной обработки изготавливаемой сваи-РИТ.

Как правило, верхние слои грунта находятся выше уровня грунтовых вод, поэтому часть ствола сваи, а иногда вся свая может оказаться в песках природной влажности средней плотности, а часто и в рыхлых песках. В таких грунтовых условиях сваи-РИТ имеют высокую несущую способность, подтвержденную многочисленными контрольными испытаниями свай вдавливающими нагрузками, при чем, деформации (осадки) свай-РИТ не превышали 10...15 мм, что свидетельствует о недоиспользовании несущей способности свай-РИТ по грунту в песках природной влажности ($\omega = 5...8\%$). Исследований изменения напряженно-деформированного состояния «сухих» песков, подвергнутых разрядно-импульсной обработке, не проводилось.

Для выяснения главных причин значительного прироста несущей способности в сухих песках было проведено исследование прилегающего к свае-РИТ грунта [7].

В качестве «полигона» было решено использовать строительную площадку в границах котлована строящегося в Москве жилого комплекса на пересечении улицы Остоженка, Коробейникова и Хилкова переулков.

К сожалению, в процессе исследований грунтов вокруг свай-РИТ удалось взять пробы грунта только вдоль верхних участков стволов свай, которые подвергались незначительной разрядно-импульсной обработке, всего по 5 разрядов с шагом 300...350 мм по высоте.

Диаметр бурения свай составлял 250 мм. Диаметр сваи-РИТ после разрядно-импульсной обработки доходил в отдельных местах до 450 мм. Результаты определения несущей способности свай-РИТ по грунту, установленные статическими испытаниями вдавливающей нагрузкой [8] приведены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика свай	Дата испытаний	Расчетная несущая способность, тс	Нагрузка на сваю при испытании, тс	Осадка сваи под нагрузкой, мм	Осадка сваи После снятия нагрузки, мм
Свая-РИТ D = 250 мм, L = 11,5 м	20.10.01	90	110*	6,8	2,1
	25.10.01	90	120	7,2	3,1

* испытания прерваны из-за деформации испытательного стэнда.

Геологический разрез строительной площадки представлен насыпными грунтами (1...3 м), аллювиальными песками малой и средней крупности, маловлажными с редким гравием (мощность более 8 м), с незначительным содержанием глинисто-пелитового вещества, основная часть которого сосредоточена в тонких глинисто-песчаных слоях, с глубины 7,5...8,0 м пески водонасыщенные. Аллювиальные отложения р. Москвы подстилаются морскими отложениями верхней юры и среднего, верхнего карбона.

Внешний осмотр грунтовых стенок, при разработке грунта у свай-РИТ, показал, что грунт находится в сухом и маловлажном состоянии, относительно устойчив и даже не требует крепления. Стенки котлована вдалеке от свай-РИТ (на участках, не обработанных по разрядно-импульсной технологии) были не устойчивы, требовали устройства крепления из досок и при малейшем промедлении с креплением, осыпались.

Для определения литологических особенностей отложений массива и для исследования физико-механических свойств песков после их мелиорации методом разрядно-импульсного воздействия, были изучены пробы грунта, взятые в около свайном пространстве. В целом, было отобрано три группы проб, представляющих однотипные отложения, в которых гранулометрические различия были связаны с содержанием мелких и крупных частиц.

Основными задачами исследования являлись:

- Изучение минерало-петрографического состава песчаных грунтов естественного состояния и после проведения разрядно-импульсного воздействия.

- Получение количественных оценок физико-механических свойств песков в естественном залегании и после разрядно-импульсной обработки.

Монолиты песков отбирались методом забивки тонкостенного стального стакана диаметром 120 мм. Грунт обрезали по высоте стакана, торцы закрывались пластинами гидроизола и приваривались газовой горелкой.

Пробы изучались методами гранулометрического, рентгенофазового, микроскопического и химического анализов. По данным проведенного анализа был сделан вывод, что, прочностные свойства грунтов зависит от многих факторов, для рассматриваемого случая, очевидно, важнейшими из них являются три: гранулярный состав песков; особенности материала - заполнителя порового пространства песков; причины техногенного характера.

При сравнении массива вне зоны влияния РИТ и грунтового массива в зоне влияния РИТ выяснилось, что после проведения опытов, несмотря на незначительное разрядно-импульсное воздействие, всего по 5 разрядов с шагом 300...350 мм по высоте, пески уплотнились от рыхлых до средней плотности. Грунты стали более однородны по плотности и пористости (рис. 7 и 8). Сопоставление физико-механических свойств песков, находящихся в естественных условиях, и модифицированных, в результате разрядно-импульсной обработкой, при изготовлении свай-РИТ показало:

1. коэффициент пористости песков уменьшился в 1,04 раза (с 0,726 до 0,701);
2. влажность уменьшилась в 1,17 раза;
3. плотность возросла в 1,02 раза;
4. сцепление увеличилось в 3,5 раза;

Исследованные выборки оказались однородны по среднему квадратичному отклонению и коэффициенту вариации.

Возможное участие цемента входящего в состав бетонной смеси, в изменении структурных особенностей песков, довольно проблематично. Как показали минерально-петрографические исследования, присутствие карбонатов цемента фиксируется в песках только на расстоянии не более 5 см от свай.

Влияние техногенных факторов на инженерно-строительные свойства песков теоретически могут отражаться в гранулярных, минеральных и других особенностях этих отложений. Вместе с тем, как показали исследования песков, четких изменений их параметров не выявлено. По данным анализа была выявлена слабая тенденция увеличения

плотности и прочности по мере приближения к источнику уплотнения. Несущая способность и прочность песков после производства опытных работ в целом возросла, хотя и незначительно.

К сожалению, в условиях действующей строительной площадки не удалось определить исходное напряженно-деформированное состояние массива, его изменение в процессе разрядно-импульсной обработки при изготовлении свай-РИТ, а так же исследовать грунт в зоне интенсивного воздействия, т.е. в зоне основания сваи.

Как гипотезу положительного эффекта увеличения несущей способности песков, являющихся основанием свай-РИТ, можно предположить наличие в грунте остаточного напряженно-деформируемого состояния (НДС), которое сохраняется после проведения импульсных воздействий на грунт: удар-разгрузка, действующих преимущественно в горизонтальных плоскостях. Остаточное НДС характеризуется большими горизонтальными напряжениями в массиве грунта, которые значительно больше вертикальных, вследствие чего грунт приобретает устойчивость.

Положительное действие разрядно-импульсной технологии на массив грунта, окружающий сваю-РИТ, не вызывает сомнений. Но для полной и ясной картины изменения состояния грунта, необходимо более полное рассмотрение вопроса.

Целесообразно выполнить натурные опыты по определению прочностных и деформационных свойств песков в естественном залегании, на различном расстоянии от источника возмущения методом статического и динамического зондирования грунтов, до разработки грунта вокруг свай. Для получения зависимости изменения физико-механических свойств песков и напряженно-деформированного состояния от величины разряда и выбора оптимального технологического режима необходимо продолжить натурные и лабораторные эксперименты с различными исходными параметрами, особенно с большими энергиями разряда и их большим количеством, что позволит в конечном итоге разработать более точную методику определения несущей способности свай-РИТ.

Список литературы:

1. Еремин В.Я. Применение электрогидравлического эффекта в строительстве. Комплексное воздействие полей при электровзрыве на грунты в геотехническом строительстве. // Действие электрических полей (электрического тока) и магнитных полей на объекты и материалы. // Всероссийский научный семинар и выставка инновационных проектов 28-30 октября 2002 г. Доклады и тезисы докладов. М.: ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, 2002. С.56-66.
2. ГОСТ 5686-94. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. М.: ИПК Изд. Стандартов, 1996. –51 с.
3. Рекомендации по применению буринъекционных свай. М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. 2001. –115 с.
4. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты / Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 2000. - 57с.
5. РСН 130-64. Указания по проектированию, устройству и приемке свай с камуфлетной пятой.
6. Методика определения несущей способности висячих свай по грунту. НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. № 1-1297 от 18.09.01. –5 с.
7. Исследование физико-механических свойств песков после их мелиорации методом разрядно-импульсного воздействия. Отчет. М.: МПК СтройМаркет, 2002. – 133 с. (архив «МПО РИТА»).
8. Научно-технический отчет по теме «Испытания буринъекционных свай на площадке строительства 5-7 этажного жилого комплекса по ул. Остоженка, вл. 35 в г. Москве» / Бахолдин Б.В., Дзагов А.М. –М.: НИИОСП им. Н.М.Герсеванова, 2001. – 15 с.