

Технология и организация строительного производства

УДК 624.152.5 + 624.131

ВЗРЫВОФУГАСНОЕ ГРУНТОВЫТЕСНЕНИЕ СКВАЖИН В ОСНОВАНИЯХ НАБИВНЫХ СВАЙ

Л.М. Борозенец

Представлен информационный материал по результатам комплексного экспериментально-теоретического исследования с целью изучения принципиально научного, теоретического и практического содержания геотехники взрывофугасного грунтовытеснения скважин в основаниях набивных свай.

Ключевые слова: энергия, взрыв, взрывофугасное грунтовытеснение, скважинообразователь, установка, процесс, техника, геотехнология, геотехника, скважина, основание, свая.

Материализация проектных решений подземной части зданий и сооружений и выполнение работ нулевого цикла является одним из наиболее трудоемких, материалоемких и капиталозатратных видов строительства. Многие проблемы при строительстве подземной части успешно решаются с применением различных видов свайных фундаментов. Они представляют собой наиболее индустриальный, экономически выгодный, а иногда единственно возможный вид фундаментов; дают возможность возведения объектов в сложных грунтовых условиях и в любых климатических зонах с высокой надежностью и качеством работ.

Наибольшее распространение в свайном фундаментостроении получили сваи в буровых скважинах. Однако при всех своих достоинствах эти сваи имеют существенный недостаток – низкую удельную несущую способность их естественных оснований на один кубометр бетона свай, примерно в 2,2 раза меньшую по сравнению с несущей способностью оснований полностью грунтовытесненных скважин [1]. Следовательно, одним из перспективных направлений повышения несущей способности оснований набивных свай является изготовление их на месте, в грунте, при условии полного вытеснения грунтов из объемов скважин.

Известные способы вытеснения грунтов классифицируются на следующие виды: механические и взрывоэнергетические. Повышение несущей способности основания набивных свай механическим вытеснением грунтов сдерживается отсутствием достаточно мощного грунтовытесняющего оборудования, способного преодолевать высокие сопротивления грунтов при образовании скважин требуемых проектных диаметров под значительные сосредоточенные нагрузки. Взрывоэнергетическое вытеснение грунтов наряду с достоинствами имеет ряд существенных недостатков, по причине которых не находит широкого применения

для повышения несущей способности оснований набивных свай. Достоинством взрывоэнергетических способов является возможность получения объемов камуфлетных удлиненных и сфероидальных полостей достаточных проектных размеров, но произвольных непредсказуемых форм, непригодных для устройства в них свай и формирования энергией продуктов взрыва качественно улучшенных оснований.

Способность энергии взрыва совершать работу исключает необходимость применения в горном деле и в строительстве сложных буровых и грунтовытесняющих машин и оборудования. Высокая концентрация и мощностные характеристики продуктов взрыва определили возможность использования энергии взрыва в области свайного фундаментостроения, где другие виды энергии малоэффективны. Первичными параметрами продуктов взрыва при грунтовытеснении скважин являются: большое количество тепла, мощные ударные волны детонации и импульсные давления газов, которые нашли применение в новой технологии грунтовытеснения скважин набивных свай. Главный эффект достигается благодаря тому, что взрыв совмещает в себе функции снабженной запасом энергии машины-двигателя и производящей заданный технологический процесс машины-орудия. Сочетание тысячеградусных температур и высоких давлений при взрыве позволяет изменять состояние грунтов оснований набивных свай. Носителями энергии взрыва служат промышленные взрывчатые вещества. Они легко дозируются, доставляются любым видом транспорта, обладают компактностью, имеют невысокую стоимость, достаточно эффективны при производстве строительного-взрывных работ и являются экологически безвредными.

Путем совмещения взрывоэнергетического и механического процессов получен новый – взры-

вофугасный, в котором впервые осуществляется управление действием энергии взрыва в грунтах, формирование цилиндрического ствола скважины и образование различных форм строго осесимметричных камуфлетных уширений достаточных проектных размеров формированием высококачественного основания. Взрывофугасное вытеснение грунтов исключает недостатки взрывоэнергетического и механического и реализует их достоинства. В результате этого в процессе вытеснения грунтов с помощью управляемой энергии взрыва получают вместо удлиненных камуфлетных полостей непредсказуемых форм и размеров скважины и уширения требуемых проектных опалубочных форм в основаниях и подходящих размеров, а также конструкции свай с прямолинейными стволами цилиндрической формы и строго осесимметричными камуфлетными уширениями; формируются основания набивных свай максимально повышенной несущей способности. Изучение причин, условий и возможностей повышения качества грунтовытесненных свайных оснований и их несущей способности представляет актуально важный практический, теоретический и научно-технический интерес.

Для решения данной проблемы предложен конструктивно-технологический принцип взрывофугасного вытеснения грунтов, который определяется задачами исключения отрицательных признаков традиционных взрывоэнергетических и механических базовых процессов. К числу таких задач относятся следующие:

1. Осуществить управление действием энергии взрыва в грунте с помощью камеры.
2. Получить с помощью управляемой энергии взрыва прямолинейную скважину цилиндрической формы заданного проектного диаметра и камуфлетное уширение строгой осесимметрии.
3. Изолировать воздействие взрывной ударной волны на грунт и заглушить звуковой эффект путём подрыва заряда в камере.
4. Осуществить образование предварительной камуфлетной полости давлением газов взрыва, истекающих из камеры.
5. Обеспечить формирование скважины рабочим органом заданного размера, заселяемого в предварительно образующуюся камуфлетную полость, избыточным давлением газов взрыва, находящихся в камере.
6. Использовать для локального сотрясения структуры грунта микроударные волны, образующиеся при истечении газов высокого давления из сопла Лавала.
7. Обеспечить совмещённый процесс взаимодействия рабочего органа и истекающих газов взрыва из камеры в грунт.

Таким образом, взрывофугасное вытеснение грунта – процесс разрушения структуры, перемещение с переупаковкой частиц и деформация грунта путём воздействия управляемой энергии

взрыва. Управление энергией взрыва производится с помощью специальной машины-скважинообразователя и заключается в том, что в процессе одного взрыва на грунт оказывают действие сначала продукты взрыва: ослабленная стенками камеры взрывная ударная волна и истекающие из камеры газы взрыва, которые образуют камуфлетную полость; затем одновременно газы взрыва и рабочий орган-фугасник в составе камуфлетника, образующего лидерную цилиндрическую скважину, соразмерную с параметрами камуфлетника; далее газы взрыва, расширяющих лидерную скважину в камуфлетную полость; формователя скважины, преобразующего камуфлетную полость в скважину цилиндрической формы; после остановки фугасника действуют только газы взрыва с образованием камуфлетной полости и, наконец, открытое автором последствие взрыва – это «физический конденсатно-вакуумный взрыв» [2], который производит обратное грунтозаполнение образованной камуфлетной полости до нулевого объёма с обжатием грунта на камуфлетник и оживальную головную часть формователя скважины.

К основным видам техники конструктивно-технологического решения взрывофугасного вытеснения грунтов относятся:

- взрывофугасный метод вытеснения грунтов;
- полевая макетная взрывофугасная грунтовытесняющая установка и скважинообразователь;
- давление в камерах взрывофугасных грунтовытесняющих скважинообразователей и в сопутствующих им камуфлетных полостях;
- прочность стенок камер взрывания;
- механическое взаимодействие системы скважинообразователя и грунта.

На уровне изобретения предложен способ взрывофугасного грунтовытеснения скважин, последовательность которого иллюстрируется на рис. 1.

Взрывофугасный скважинообразователь, см. рис. 2, а, б, относится к машинам прямопоступательного действия с внутрикамерным взрывом-двигателем реактивно-динамической системы пуска и с другим двигателем-силой тяжести корпуса. Рабочими органами машины служат фугасник, камуфлетник и газы взрыва высокого давления. Экономически обоснованная производительность однокамерной взрывофугасной машины за одно взрывание составляет, например, около $5,5 d_c$, где $d_c = 400$ мм – диаметр скважины.

В процессе освоения способа взрывофугасного грунтовытеснения свайных скважин производилась разработка, изготовление и наработка технических средств для его осуществления. Был создан полевой макет экспериментальной взрывофугасной грунтовытесняющей установки УВГ-216/840, см. рис. 2, в.

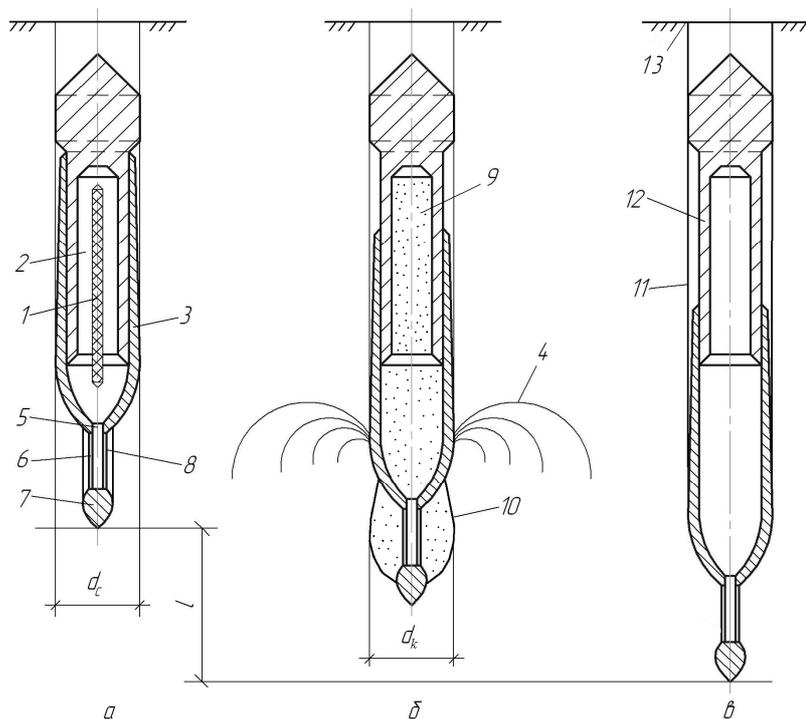
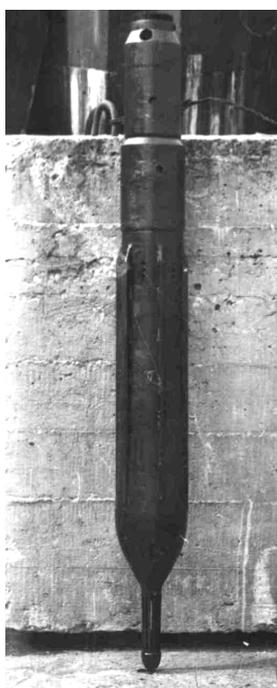
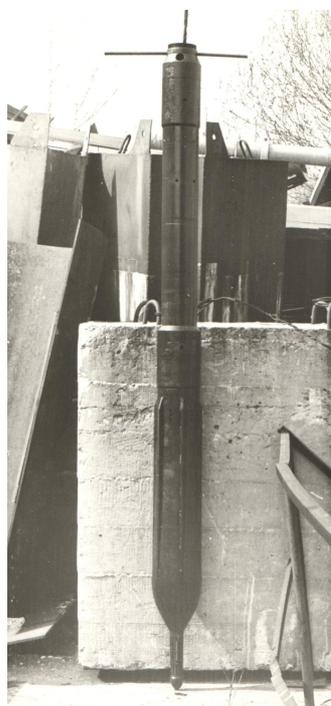


Рис. 1. Последовательность взрывофугасного грунтовытеснения скважин: а – исходное положение скважинообразователя; б – процесс проходки скважины; в – завершение рабочего цикла; 1 – заряд; 2 – камера взрыва; 3 – фугасник; 4 – верхняя часть тороидальной зоны напряжённого грунта; 5 – калиброванное отверстие; 6 – прорези ствола камуфлетника; 7 – камуфлетник; 8 – цилиндрическая полость; 9 – газы взрыва; 10 – камуфлетная полость; 11 – ствол скважины; 12 – корпус; 13 – дневная поверхность; d_k – диаметр камуфлетной полости; d_c – диаметр заряда; l – глубина проходки скважины за одно взрывание заряда



а)



б)



в)

Рис. 2. Взрывофугасный грунтовытесняющий скважинообразователь СВГ-216/840: а) в исходном положении, б) в рабочем состоянии, в) взрывофугасная грунтовытесняющая макетная полевая установка УВГ-216/840

По основным положениям конструктивно-технологического решения взрывофугасного вытеснения получены следующие результаты исследований:

– выявлено, что на грунтовытеснение и изменение физического состояния грунтов околоскважинного пространства в мгновенно сменяющейся последовательности влияют ослабленная стенками взрывной камеры ударная волна, лидер камуфлетника, давление газов взрыва в камуфлетной полости, распор от формователя скважины и, наконец, последствие конденсатно-вакуумного взрыва с объёмным полем фильтрационных сил газовой смеси в грунте.

Впервые разработанный метод взрывофугасного вытеснения грунтов обеспечил:

– получение оптимальной с точки зрения экономики приведённых затрат производительности проходки скважин;

– достижение надёжности в управлении действием энергии взрыва внутрикамерного заряда;

– осуществление простоты принципа действия и конструкции скважинообразователя;

– исключение всех отрицательных признаков взрывоэнергетических способов вытеснения грунтов.

Разработка, изготовление и работа макетной полевой взрывофугасной установки позволили выработать принципы подходов к её проектированию и показать причинно-следственную связь:

– разработан обоснованно достоверный метод расчёта давления продуктов взрыва в камерах скважинообразователей от детонации до конденсатно-вакуумного взрыва в процессе их давления на стенку камер и совершения рабочего хода фугасника [3], что является исходной частью для дальнейшей разработки методов расчёта положений конструктивно-технологического решения взрывофугасного вытеснения грунтов;

– обосновано физическое явление открытого автором конденсатно-вакуумного взрыва в камерах при камуфлетах, давшее возможность объяснить механизм негативных проявлений в грунтах, окружающих камуфлетную полость, определить изменение давления в его процессе и предложить конструктивные мероприятия для предупреждения его отрицательного эффекта в камерах при камуфлетах;

– предложена методика расчёта критерия характера взрывного давления на стенки камер взрывания, который используется для определения принадлежности метода расчёта прочности стенок камер взрывания к статической теории, критерием служит соотношение периода собственных колебаний стенок камеры взрывания к промежутку времени действия давления продуктов взрыва на камеры, которое должно быть меньше или равно четырём единицам;

– впервые введён радиус адекватности для предварительного выбора размеров допустимой охранной зоны от действия продуктов взрыва на

стенки камер в зависимости от их квазистатического давления, что исключает вариантность при проектировании скважинообразователей;

– разработан метод повышенной точности расчёта прочности стенок камер взрывания [4], что позволило сократить традиционную норму относительного расстояния, отношение внутреннего радиуса камеры к радиусу заряда, принятого в практике больше или равным десяти единицам, до четырёх и менее в зависимости от механических свойств материала стенок и раскрыть истинный механизм напряжения и деформации поперечного сечения толстостенного цилиндра при высоком внутреннем давлении, в результате чего получена возможность разработки конструкции скважинообразователей и использования эффективной энергии взрыва для целей управляемого вытеснения грунтов;

– разработан метод расчёта механического взаимодействия скважинообразователя и грунта [5], позволивший установить, что сила тяжести (масса) корпуса при нулевой отдаче должна равняться сумме действующей на корпус силы взрыва, пропорциональной массе фугасника, и силы сопротивления взрывофугасному вытеснению грунта за вычетом силы тяжести фугасника, при допущении определённого значения отдачи корпуса и потери некоторой части работоспособного хода фугасника масса корпуса может быть уменьшена до 30 % по сравнению с расчётной при нулевой отдаче корпуса, с этим связывается уменьшение громоздкости и металлоёмкости установки;

– в работе взрывофугасной грунтовытесняющей установки используется экологически чистый взрыв.

Геотехнологические результаты взрывофугасного грунтовытеснения скважин показаны на рис. 3–6 [6].

На основании результатов развития геотехники проектирования и устройства основания взрывофугасных набивных свай и в соответствии с Координационным планом общеминистерской тематики развития науки и техники на 1984–1990 годы Минстроя и Минсвзапстроя СССР были проведены дальнейшие научно-технические исследования и опытно-конструкторские работы на уровне изобретений [7], по результатам которых была изготовлена полевая макетная экспериментальная установка УВГ-410/3200 (рис. 7), где 410 мм – диаметр рабочего органа, 3200 мм – длина рабочего хода за один взрыв в двухкамерном скважинообразователе, и проведено первичное испытание, в результате которого были выявлены необходимые доработки.

Выводы

Впервые проведены комплексные экспериментально-теоретические исследования геотехники взрывофугасного грунтовытеснения оснований набивных свай, конструктивно-технологического решения взрывофугасного вытеснения грунтов из



Рис. 3. Устье взрывофугасной скважины

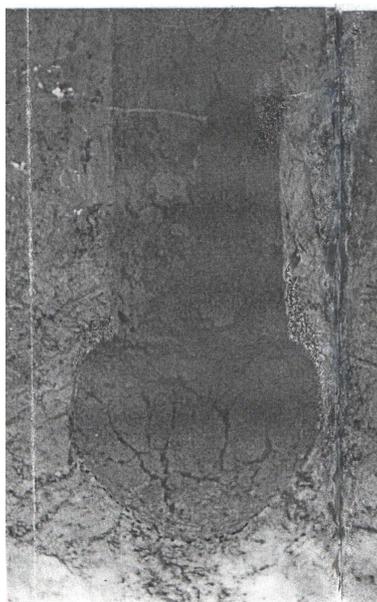
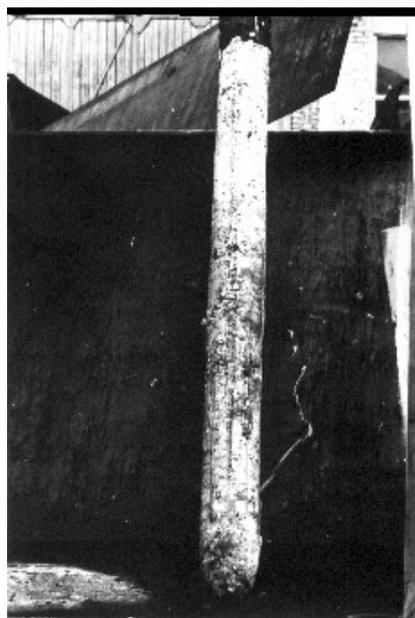


Рис. 4. Взрывофугасная скважина и камуфлетное уширение в разрезе



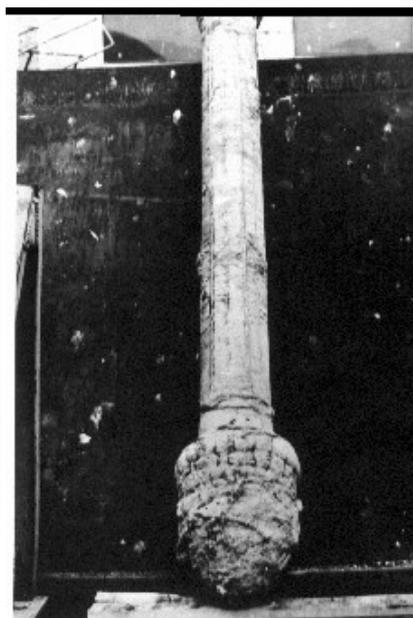
Рис. 5. Взрывофугасная свая в грунте



а)



б)



в)

Рис. 6. Опытные взрывофугасные набивные сваи, извлеченные из грунта:
а) без уширенной пяты, б) и в) с камуфлетными уширениями

объемов скважин и работы оснований набивных свай в буровых и взрывофугасных скважинах на действие осевой вдавливающей нагрузки, в результате которых установлено следующее:

- методика расчёта конструктивно-технологического решения взрывофугасного вытеснения грунтов позволяет определять его оптимальные параметры, исключать вариантное проектирование установок и скважинообразователей;
- конструкция взрывофугасной грунтовытесняющей установки и скважинообразователя обес-

печивает управление действием энергии взрыва в грунте, формированием прямолинейных цилиндрических скважин с осесимметричными камуфлетными уширениями и формированием зон принудительного изменения состояния грунтов около-скважинного пространства.

Взрывофугасное вытеснение грунтов является эффективным технологическим процессом, который имеет ряд положительных характеристик:

- совмещает в одном взрывофугасном процессе принципы традиционного вытеснения грун-

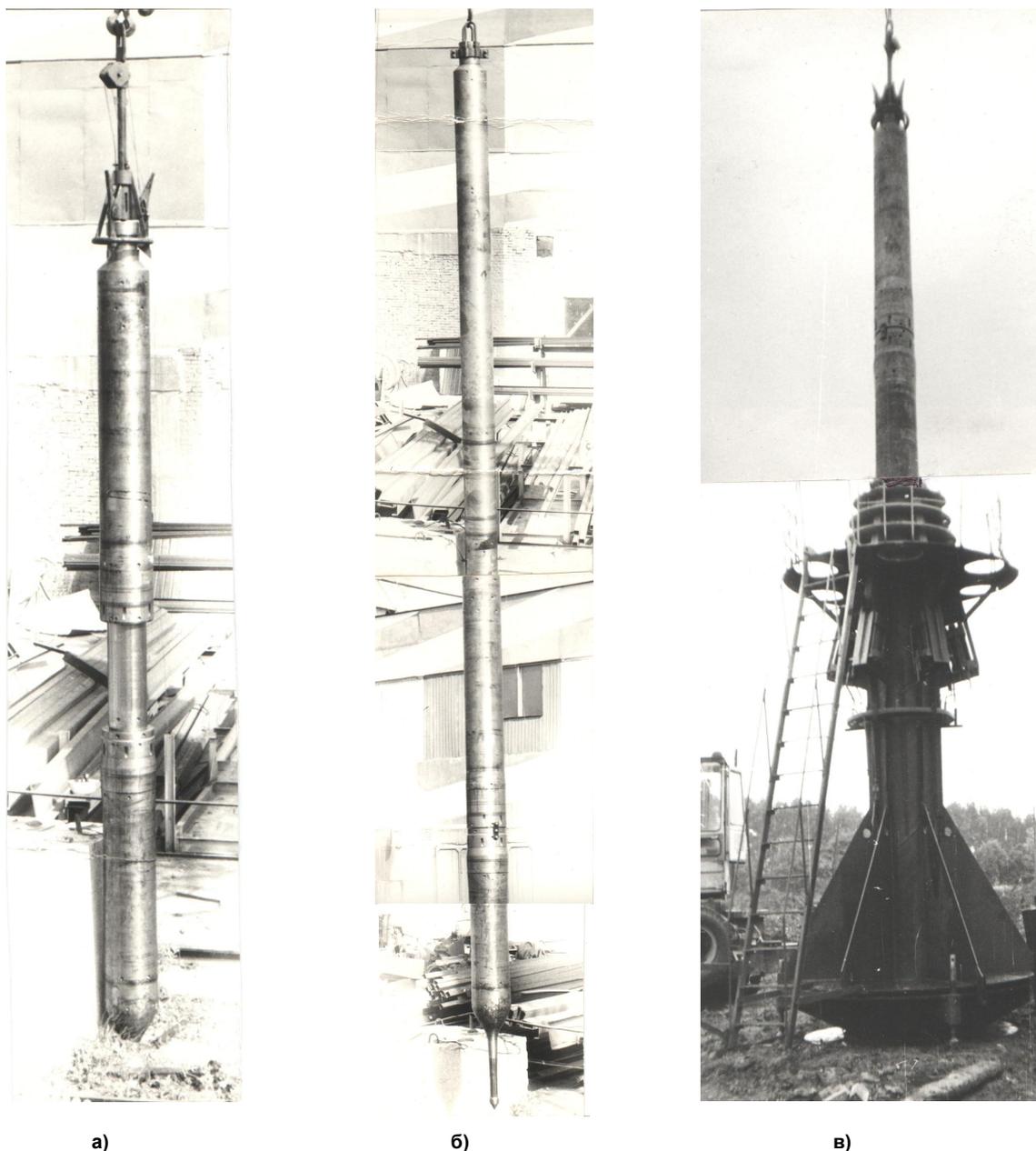


Рис. 7. Взрывофугасный грунтовытесняющий скважинообразователь СВГ-410/3200 в рабочем состоянии (а), взрывофугасная грунтовытесняющая колонна в исходном положении (б), макет полевой экспериментальной переставной взрывофугасной грунтовытесняющей установки УВГ-410/3200 в исходном положении (в)

тов заглублением свай и взрывоэнергетическим способом;

- исключает отрицательные признаки традиционных способов вытеснения грунтов и реализует положительные;

- позволяет использовать при работе управляемый, бесфугасный, сейсмически безопасный, бесшумный, экологически чистый взрыв;

- несущая способность оснований набивных свай во взрывофугасных скважинах повышается в 1,6...1,8 раза по сравнению с несущей способностью оснований равноразмерных набивных свай в буровых скважинах при малоразмерных сваях и до 2,5 раз при крупноразмерных, а принудительное изменение состояния грунтов околоскважинного

пространства распространяется в пределах до 10...14 радиусов скважин и уширений;

- рациональной областью применения взрывофугасного вытеснения грунтов могут служить глинистые грунты от твёрдой до мягкопластичной консистенции; при устройстве набивных свай в указанных грунтовых условиях себестоимость работ снижается в 2,3...2,5 раза по сравнению с устройством буровых свай.

Литература

1. Борозенец, Л.М. Повышение несущей способности оснований набивных свай взрывофугасным вытеснением грунтов: автореф. дис. ... канд. техн. наук/ Л.М. Борозенец. – Пермь: ПГТУ, 1994. – 25 с.

2. Борозенец, Л.М. Явление физического взрыва при камуфлетах / Л.М. Борозенец // Инф. листок ЦНТИ. – Владимир, 1991. – НТД № 91-53. – 4 с.

3. Борозенец, Л.М. Способ определения давления в камерах взрывания / Л.М. Борозенец // Инф. листок ЦНТИ. – Владимир, 1987. – НТД № 87-19. – 4 с.

4. Борозенец, Л.М. Способ расчёта толсто-стенных цилиндров / Л.М. Борозенец // Инф. листок ЦНТИ. – Владимир, 1987. – НТД № 87-20. – 4 с.

5. Борозенец, Л.М. Основы расчёта силовой системы импульсной проходки скважин в грунтах / Л.М. Борозенец // Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений: материалы 5 Всесоюзной

конференции. Т. 1. – Ташкент; М.: ВНИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 1981. – С. 177–179.

6. Борозенец, Л.М. Устройство взрывонабивных свай в связных грунтах / Л.М. Борозенец // Инженерная геология, механика грунтов и фундаментостроение: сб. статей Межреспубликанской конференции Белорусской, Литовской, Латвийской и Эстонской ССР «Геотехника – V». – Минск, 1982. – С. 212–217.

7. Устройство для проходки скважин в грунте: а. с. № 1708029 СССР, МК 5 E21C 37/00, E21B 7/14 / Л.М. Борозенец; Специал. констр. бюро «Строймеханизация». – № 4782965/03; заявл. 16.01.90. – ДСП.

Борозенец Леонид Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Архитектурно-строительного института, Тольяттинский государственный университет, tsp@tltsu.ru

Поступила в редакцию 28 января 2014 г.

**Bulletin of the South Ural State University
Series “Construction Engineering and Architecture”
2014, vol. 14, no. 3, pp. 24–30**

HIGH-EXPLOSIVE DISPLACED SOIL OF HOLES IN THE FOUNDATION OF CAST-IN-PLACE PILES

L.M. Borozenets, Architecture and Construction Institute, Togliatti State University, Togliatti, tsp@tltsu.ru

This article presents the information material on the results of complex experimental and theoretical investigations aimed at the study of principal scientific, theoretical and practical content of geotechnical engineering of high-explosive displaced soil of holes in the basement of cast-in-place piles.

Keywords: energy, explosion, high-explosive displayed soil, hole-formation, set-up, geotechnics, hole, basement, pile.

References

1. Borozenets L.M. *Povyshenie nesushchey sposobnosti osnovaniy nabivnykh svay vzryvoofugasnym vytesneniem gruntov*. Avtoref. kand. diss. [Increasing the carrying capacity of grounds of piles vzryvoopasnym displacement of soils. Abstract of cand. diss.]. Perm, Perm St. Tech. univ. Publ., 1994. 25 p.

2. Borozenets L.M. *Yavlenie fizicheskogo vzryva pri kamufletakh* [The physical phenomenon of explosion when camouflet]. Vladimir, Inf. listok TsNTI Publ., 1991, NTD no. 91–53. 4 p.

3. Borozenets L.M. *Sposob opredeleniya davleniya v kamerakh vzryvaniya* [The method of determining the pressure in the chambers blasting]. Vladimir, Inf. listok TsNTI Publ., 1987, NTD no. 87–19. 4 p.

4. Borozenets L.M. *Sposob rascheta tolstostennykh tsilindrov* [The calculation method of thick-walled cylinders]. Vladimir, Inf. listok TsNTI Publ., 1987, NTD no. 87–20. 4 p.

5. Borozenets L.M. [The basis of the calculation of the power system pulse borehole in the ground] *Dinamika osnovaniy, fundamentov i podzemnykh sooruzheniy : mat. 5 Vsesoyuznoy konferentsii* [Dynamics of bases and foundations and underground structures: Mat. the 5th all-Union conference]. Moscow, VNIOSP im. N.M. Gersevanova Publ., 1981, vol.1, pp. 177–179 (in Russ).

6. Borozenets L.M. [The device vzryvomagnitnykh piles in cohesive soils]. *Inzhenernaya geologiya, mekhanika gruntov i fundamentostroenie. Sb. statey Mezhrеспубликанской konferentsii Belorusskoy, Litovskoy, Latviyskoy i Estonskoy SSR «Geotekhnika – V»* [Engineering Geology, soil mechanics and Foundation engineering: Proc. of Mezhrеспубликанский conference Belarussian, Lithuanian, Latvian and Estonian SSR "Geotechnics - V"]. Minsk, 1982, pp. 212–217 (in Russ).

7. Borozenets L.M. *Ustroystvo dlya prokhodki skvazhin v grunte* [Device for making holes in the ground]. Patent USSR, no. 1708029, 1990.

Received 28 January 2014