

4. СП 13-102-2003. Правила по обследованию несущих конструкций зданий и сооружений. М., 2003.

5. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения / Изд. стандартов. М., 2009.

6. ГОСТ 27751-88\*. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету / Изд. стандартов. М., 2009.

7. Справочное пособие нормативных требований к качеству строительно-монтажных работ. Инженерная академия РФ; Департамент строительства мэрии г. Санкт-Петербурга, 1996.

УДК 624.154.1; 624.154.8

## **ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА БУРОНАБИВНЫХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С УШИРЕНИЯМИ**

***Н. В. Купчикова, А. О. Максимов, Д. В. Зинченко***

*Астраханский государственный  
архитектурно-строительный университет*

В статье представлены этапы развития технологии устройства буронабивных свай с уширениями как в отечественном, так и зарубежном опыте возведения зданий и сооружений. Рассмотрена эффективность технологий устройства буронабивных свай с уширениями, образованными механическим разбуриванием и микросвай с уширением из втрамбованного щебня.

***Ключевые слова:*** буронабивные сваи, технологии устройства, уширения.

The article presents the stages of evolution of the technology of grout-injected piles device both native and foreign experience of construction. Efficiency of technologies of the device of grout-injected piles with broadening is considered.

***Keywords:*** grout-injected piles, device technology, broadening.

Эволюция использования свай и применения свайного фундаментостроения оставила позади множество этапов совершенствования технологий. Одним из наиболее эффективных технологий возведения свайных фундаментов на практике строительного производства при возведении высотных, большепролетных и уникальных зданий, сооружений является устройство буронабивных свайных фундаментов, применение которых насчитывает уже 120-летнюю историю.

Знания инженера об особенностях и свойствах грунтов, соединённые со строительной практикой А. Э. Страусса (талантливый инженер, СССР, г. Киев, 1899), привели его первым к мысли о буронабивных сваях. По его предложению была введена в практику строительства фундаментов новая технология, когда под сваи пробуривались скважины и в них погружали бетон или железобетон, щебень, песок и другие материалы. В результате получалась свайная колонна, которую можно было формировать по своему усмотрению в зависимости от условий грунта и требований к предпола-

емым нагрузкам на сваи, что позволяло оперативно, на строительной площадке, менять длину и диаметр буронабивных свай, реагируя на неожиданные ситуации. Новаторская технология А. Э. Страусса, впервые применённая при строительстве зданий российского железнодорожного ведомства, успешно использовалась в дальнейшем в России и за границей. Буронабивные сваи применялись при строительстве домов, портов, путепроводов, туннелей, мостов и вполне заслуженно, горный инженер Страусс в 1909 году получил за своё изобретение патент США [1].

Преимущества буронабивных свай уже столетие тому назад оценили архитекторы и строители. Особенно эти преимущества ярко проявлялись при сооружении свайных фундаментов в плотной городской застройке, где невозможно было без ущерба стоящим поблизости зданиям и подземным коммуникациям забивать сваи, создавая в округе опасную вибрацию. Во многих европейских странах для изготовления буронабивных свай сегодня созданы высокопроизводительные установки, с помощью которых делаются набивные сваи длиной до 100 метров и диаметром от 20 сантиметров до 9 метров. У Страусса же бурили ручную скважины ограниченным диаметром 20–40 см под защитой обсадных труб. В зависимости от свойств грунта режущими элементами служили буровые ложки (змеевики) или долота (желонки), т.е. скважины бурили с применением простейших механизмов, что ограничивало длину свай до 10–12 м. На рис. 1 представлены типы буронабивных свай по способу их работы в грунтовом основании [1]. Методы их устройства в основном разделяют на три категории: сухой, с применением обсадной трубы и жидкий (мокрый) метод.

Сухой метод применяется в грунтах выше УГВ без возможных просадок при бурении скважины на заданную отметку. Грунты представляют собой однородную, жесткую структуру. На первой стадии важно установить оборудование в требуемое положение и подобрать инструменты бурения. Далее осуществляется бурение скважины до проектной отметки.

Обсадной метод применим в грунтовых условиях с возможным обрушением или значительной деформацией грунта в процессе устройства скважины, такое возможно при бурении в сухих и скальных грунтах, стабильных в процессе бурения, но обрушающихся в дальнейшем (рис. 2).

Жидкий (мокрый) метод используется в зонах подверженных обрушению грунта, и может быть единственным возможным вариантом в водонесных грунтах, в случаях, когда обсадной метод невозможен. В данном методе необходим достаточный напор раствора, обеспечивающий достаточное внутреннее давление, исходя из условий УГВ и возможных обрушений грунта. Требования метода к грунтовым условиям соответствуют условиям обсадного метода.

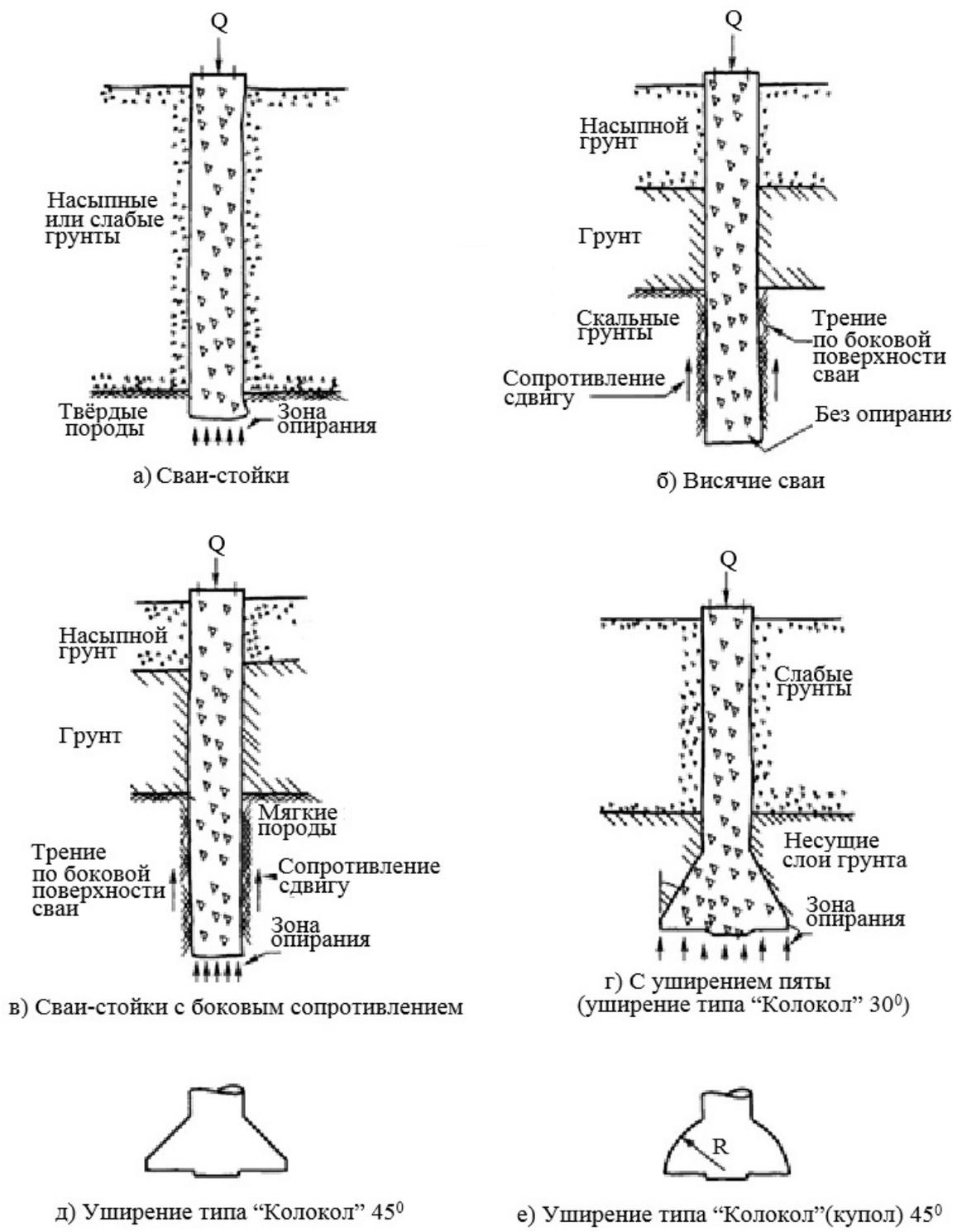


Рис. 1. Типы буронабивных свай по способу опирания в грунтовом основании

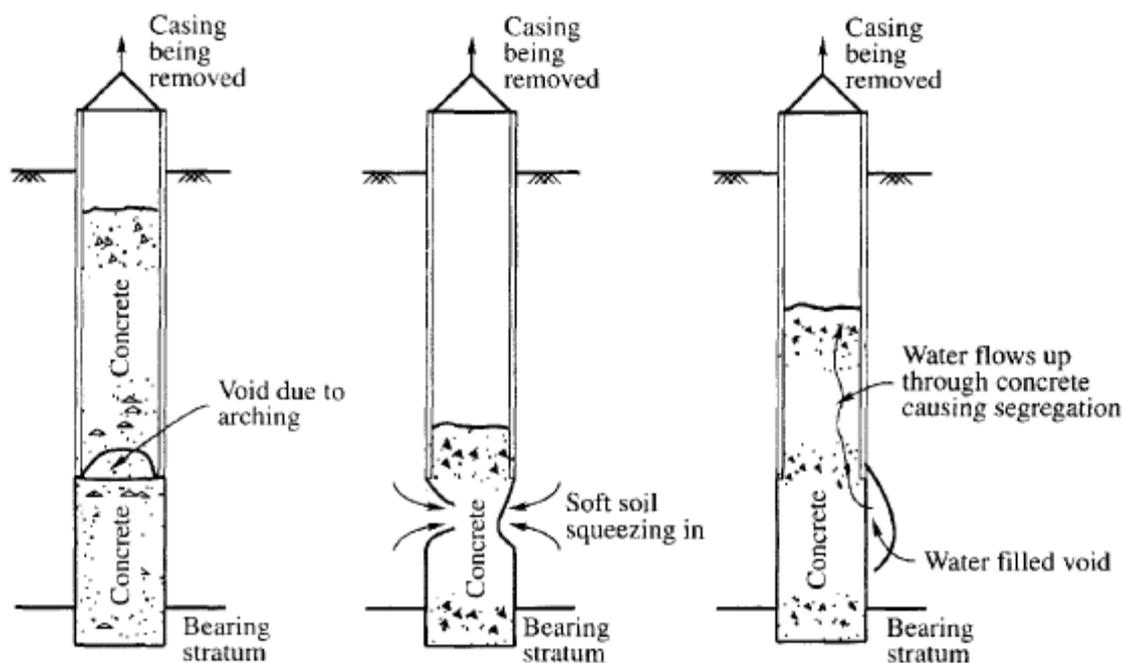


Рис. 2. Возможные последствия при нарушении технологии извлечения обсадной трубы [2]

После окончания Второй мировой войны США значительно продвинулись в развитии мощного бурового оборудования. Улучшения были направлены на удовлетворение современных потребностей. Характеристики буровых установок определялись исходя из максимального диаметра бурения, глубины и максимального крутящего момента на оборотах в минуту (рис. 3).

В настоящее время зачастую буронабивные сваи с целью увеличения несущей способности устраиваются с уширениями, образованным различными способами: механическими, инъекционными, взрывными и комбинированными.

Ранние методы возведения буронабивных свай с уширениями в США по V.N.S. Murthy [2] представлены в технологиях устройства в скважине уширения путем пробуривания с помощью специальной насадки по типу «Колокол» с уклоном режущих лезвий  $30^\circ$  (рис. 4) и комбинацией телескопического (ступенчатого) тела сваи, расширяющегося к верху с концевым уширением, образованным механическим способом (рис. 5, 6).

Одним из эффективных конструктивно-технологических методов увеличения несущей способности буронабивных свайных фундамента является их устройство с образованием у сваи концевое уширения за счет втрамбовывания щебня [3–7].



Рис. 3. Самоходная буровая установка. США, 1988 г. [1]

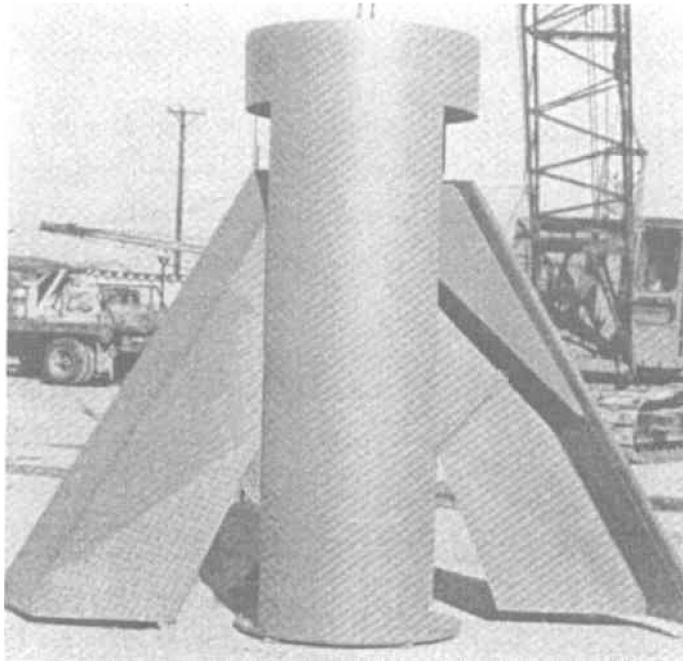


Рис. 4. Концевая насадка на шнек с углом лезвия  $30^\circ$  для резки грунтов и устройства концевое уширения

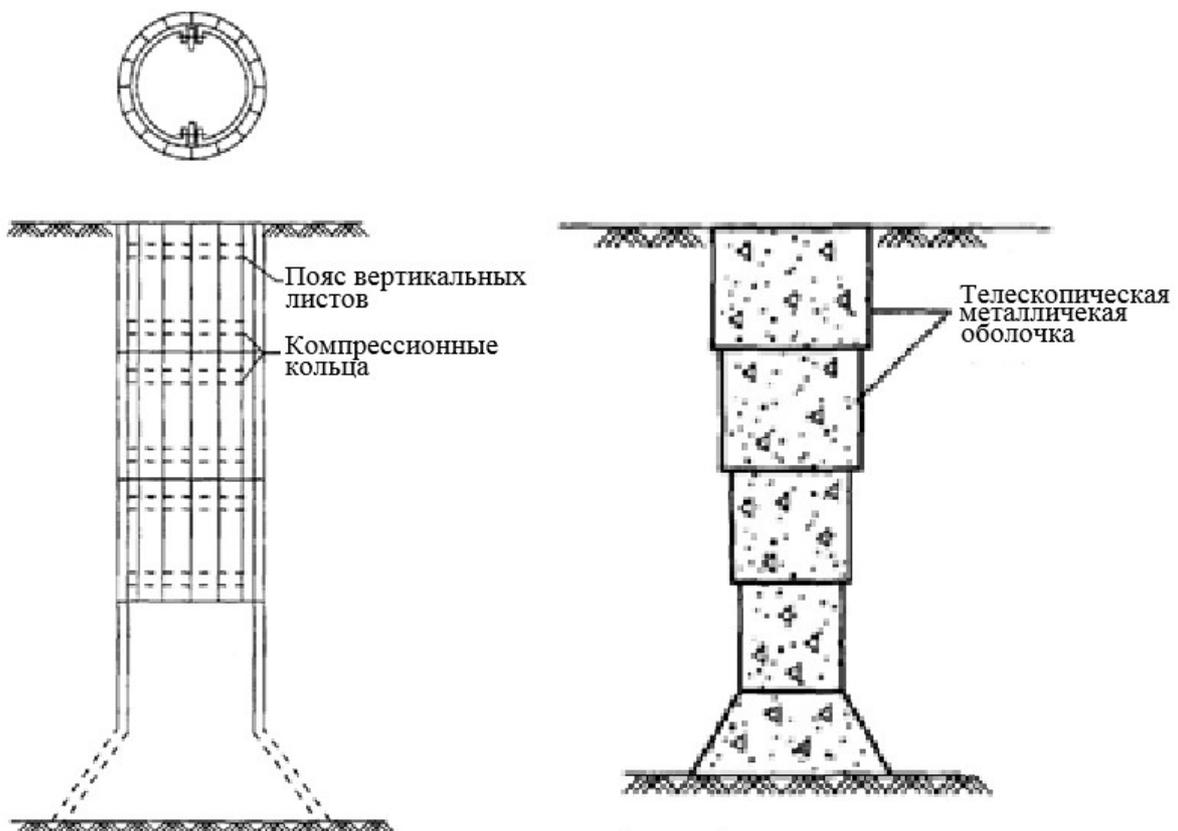


Рис. 5. Ранние методы устройства буронабивных свай в США по V.N.S. Murthy [2]:  
а) свая с концевым уширением, б) телескопические – ступенчатые с концевым уширением

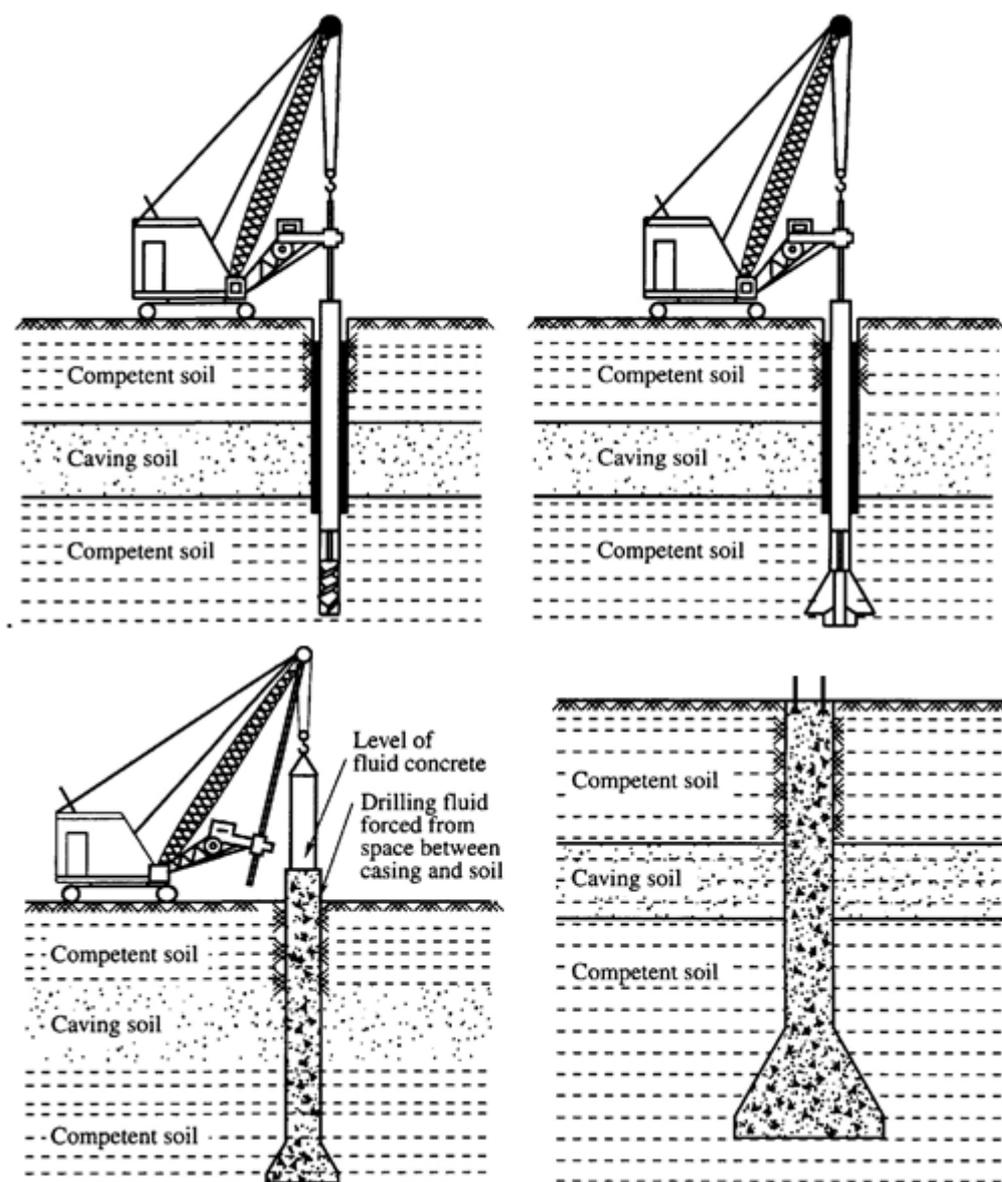
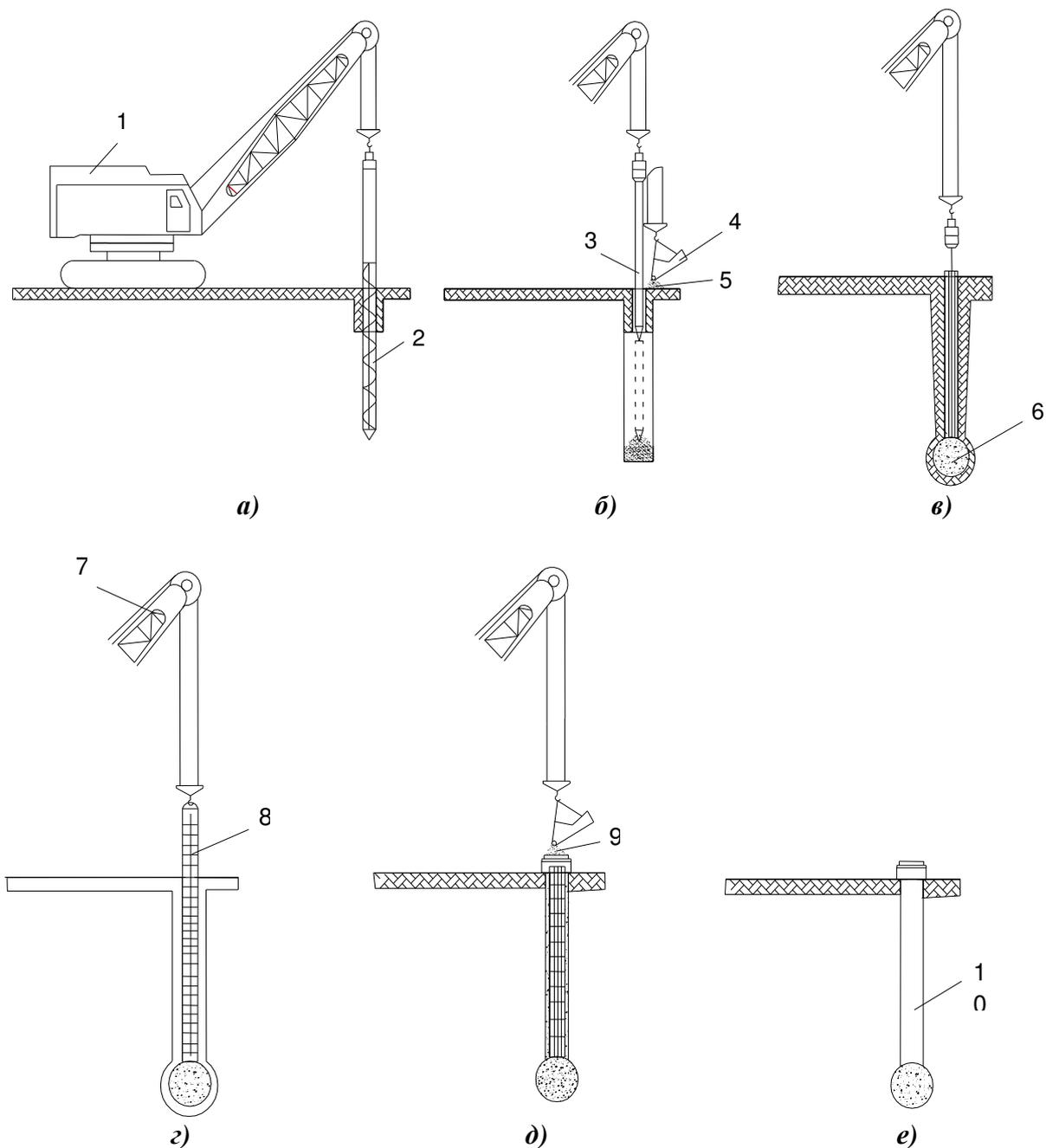


Рис. 6. Технология возведения буронабивной сваи с устройством концевого уширения [2]

Первые технологии устройства свайных фундаментов с уширениями из щебня шли по пути возведения в вытрамбованных котлованах с использованием трамбовок высотой 1,5–3,5 м с заострением нижнего конца под углом 60–90° [3]. В настоящее время глубинное вытрамбовывание фундаментов используют очень редко ввиду сложности проверки целостности ствола скважины, что сопоставляется расчетным и фактическим объемом заполненного материала скважины и не является надежным, а также отсутствие достоверных способов оценки взаимодействия подошвы с основанием. Скважину в момент ее формирования может заполнять взрыхленный или осыпавшийся грунт (рис. 2).



*Рис. 7. Технология возведения буронабивной микросваи с устройством концевой уширения втрамбовыванием щебня: а) бурение скважины с одновременным погружением обсадной трубы; б) втрамбовывание щебня в нижний конец обсадной трубы; в) готовое уширение; г) погружение в скважину арматурного каркаса; д) бетонирование с одновременной выемкой обсадной трубы; е) готовая буронабивная свая с уширением из щебня; 1 – кран на гусеничном ходу; 2 – шнек; 3 – трамбующая штанга (оболочка); 4 – бадья крана; 5 – щебень; 6 – уширение из щебня; 7 – стрела крана; 8 – арматурный каркас; 9 – подача бетонной смеси бадьёй крана; 10 – готовая свая*

Автором статьи были выполнены комплексные экспериментальные, аналитические и численные исследования работы буронабивных микро-

свай с концевым уширением из втрамбованного щебня, что позволило установить зависимости деформационно-прочностных параметров работы фундамента глубокого заложения, а именно диаметра сваи, фракции и объема щебня, диаметра уплотнения грунтового полупространства, с учетом коэффициента уплотнения вокруг уширения из щебня [8–12] (рис. 7).

В работах Н. Л. Зоценко, В. А. Бабенко, Ю. Л. Винникова [4] проводились исследования поведения трубчатой микросваи в вытрамбованной скважине с уширением из щебня при усилении оснований и фундаментов реконструируемых зданий. По результатам опытных исследований с различными грунтами условиями учеными была получена зависимость несущей способности трубчатых микросвай от размеров жесткого уширения в их нижней части. При максимальном размере уширения 2,5 диаметра ствола микросваи несущая способность их грунта увеличивается в 1,7–4,5 раза по сравнению с микросваями без уширения. Однако при реконструкции оснований и фундаментов эксплуатируемых зданий и сооружений во многих случаях металлические трубчатые микросваи с втрамбованным в основание жестким материалом с целью создания уширения в их нижней части оказываются не совсем эффективными. Технология их изготовления с применением специального оборудования ударного глубинного действия для втрамбовывания щебня может вызывать значительные изменения строительных свойств от сотрясения окологрунтового пространства под «старой» частью фундамента и самой конструкции, которая и без того с течением времени имеет эксплуатационные деформации.

Таким образом, как показывает анализ, преимущества технологии устройства буронабивных свайных фундаментов с уширениями, образованными различными методами очевидны. Это возможность изготовления свайного фундамента на месте; мобильность оборудования и быстрая возводимость; возможность осмотра скважин; восприятие больших нагрузок; возможность устройства при различных грунтовых условиях; возможность внесения изменений в проект при возведении; отсутствие вибраций грунта; возможность увеличения несущей способности за счет уширения. Однако следует учитывать так же и то, что тщательный контроль качества материалов; большое пространство для складирования; затруднительное строительство в местах сильного потока грунтовых вод приводят к увеличению затрат на возведение нулевого цикла.

#### **Список литературы**

1. Seavey D. A., Ashford S. A. Effects of construction methods on the axial capacity of drilled shafts. Department of Structural Engineering University of California. 2004.
2. V.N.S. Murthy. Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Marcel Dekker, Inc. 2002. P. 741–751.
3. Штоль Т. М., Теличенко В. И., Феклин В. И. Технология возведения подземной части зданий и сооружений : учеб. пособие для вузов : спец.: «Пром. и гражд. стр-во». М. : Стройиздат, 1990. 288с.

4. Зоценко Н. Л., Винников Ю. Л., Бабенко В. А. Усиление фундаментов общественного здания методом вдавливания свай // Реконструкция. Санкт-Петербург : материалы международного симпозиума. Ч. 2. СПб, 1993. С. 130–133.

5. Тер-Мартirosян А. З. Взаимодействие фундаментов зданий и сооружений с водонасыщенным основанием при учете нелинейных и реологических свойств грунтов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.02 – основания и фундаменты, подземные сооружения.

6. Купчикова Н. В. Влияние уплотнения грунта со щебнем на жесткость основания // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 10.

7. Polishchuk A. I., Maksimov F. A. Numerical Analysis of Helical Pile–Soil Interaction under Compressive Loads // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. 262012099.

8. Купчикова Н. В. Системный подход в концепции формообразования свайных фундаментов с уширениями // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 12 (111). С. 1361–1368.

9. Купчикова Н. В. Формообразование концевых уширений свай в поперечном сечении и методика их деформационного расчёта // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 88–96.

10. Купчикова Н. В. Методика расчета свай с уширениями, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 24–26.

11. Ануфриев Д. П., Купчикова Н. В. Эффективные строительные конструкции и технологии на Каспийском инновационном форуме – 2009 // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2009. № 5. С. 52.

12. Купчикова Н. В. Экспериментальные исследования по закреплению слабых грунтов под фундаментами физико-химическими методами с применением добавок-пластификаторов // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 3 (44). С. 123–132.

УДК 007.3

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА ПРИ ПОЖАРЕ (ВЗРЫВЕ) В ШАХТЕ

*Т. У. Есмагамбетов\*, О. А. Рожкова\*\*, О. М. Шиккульская\*\**

*\*Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза  
(Республика Казахстан)*

*\*\*Астраханский государственный  
архитектурно-строительный университет*

В данной статье авторами показано, что существует значительное количество разработок в области управления в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС). Проанализирован подход для определения степени влияния ухудшения уровня состояния ресурсов на степень решения задачи по ликвидации ЧС, который наиболее актуален в условиях ограниченности ресурсов. Данный подход основан на комплексном применении трех известных методов. Авторами разработана функциональная модель процессов экстренного реагирования ситуационного центра при пожаре (взрыве) в шахте как одном из самых разрушительных видов производственных аварий. Разработанная функциональная модель позволяет выявить потенциально менее надежные процессы, рассчитать для них степень влияния ухудшения уровня состояния ресурсов на степень решения общей