

- 1 - поглощение влаги.
- 2 - усталость от циклических нагрузок.
- 3 - усадка.

Из рисунка 3 видно, что серный бетон более влагостойкий, выдерживает большое количество переменных нагрузок, дает значительно меньшую усадку при формовании, чем портландцемент и не изменяет своих размеров с течением времени.

Серный бетон обладает высокими адгезионными свойствами, что гарантирует хорошее сцепление с бетонными конструкциями на основе портландцемента, и позволяет использовать его как ремонтный состав для бетонных и железобетонных, в том числе несущих конструкций. Серные бетоны применяются в сельскохозяйственных, гидротехнических сооружениях, сооружениях для хранения или захоронения химических и радиоактивных отходов.

Вывод. Наиболее перспективны серные бетоны для устройства, либо изготовления элементов дорожных покрытий, тротуарных пли-

ток, торцовых плиток, бордюрных камней, дорожных ограждений, конструкций, подверженных солевой или кислотной агрессии (полы, сливные лотки, дренажные и коллекторные трубы, колодцы), фундаментов различных конструкций, очистных сооружений, железнодорожных шпал, футеровочных блоков, столбиков ограждений, стоек для винограда, пригрузов для газонефтепроводов и многих других сооружений и конструкций [10-13].

Трубы, изготовленные из серополимерного бетона, отторгают бактерии, плесень, грибки на их поверхности эти микроорганизмы не могут размножаться.

Трубы из серного бетона стойки к блокировке, засорению, отложению солей на внутренней поверхности, что является общей проблемой для стандартных бетонных армированных или металлических труб.

Использование модифицированной серы для строительства автомобильных дорог позволит сохранить запасы такого ценного сырья как нефть, улучшить качество дорожных покрытий.

Список литературы

1. Грунвальд В. Р. Технология газовой серы. М. Химия. 1992. 272с.
2. Патент США 4348313.
3. Патент Канада 4188230.
4. Патент США 4155771.
5. Патент США 4290876.
6. Патент Великобритании 1465058.
7. Патент Японии 5329172.
8. Салливан Т. А. Разработка серных бетонов. Перевод № С-15408 от 01.05.1989г
9. Страхова Н. А., Розенталь Д. А., Кортовенко Л. П. Серное вяжущее для бетонов. Газовая промышленность. М. № 4. 2001. С. 61.
10. Середин Б. Н., Утегенов Б. Б., Страхова Н. А. Разработка состава тяжелого бетона с использованием местного минерального заполнителя. Промышленное и гражданское строительство. М. № 6. 2014. С. 17-19
11. Середин Б. Н., Страхова Н. А. Интенсификация технологических процессов в производстве бетонов. Научный потенциал регионов на службу модернизации / Межвузовский сборник научных статей. Т.2. № 3 (6) 2013. С. 15-17
12. Страхова Н. А., Зубихина В. А., Бахарева Т. Н., Кортовенко Л. П. Сера в дорожных покрытиях. Автомобильные дороги. М. № 9. 2000. С.35.
13. Ануфриев Д. П., Купчикова Н. В., Страхова Н. А. и др. Новые строительные материалы и изделия. Региональные особенности производства. Монография. Научное издание. АСВ. М. 2014. 208 с.

© *Страхова Н. А., Утегенов Б. Б., Кокарев А. М., Позднякова В. А., Кортовенко Л. П., Середин Б. Н., Белова Н. А.*

Ссылка для цитирования:

Страхова Н. А., Утегенов Б. Б., Кокарев А. М., Позднякова В. А., Кортовенко Л. П., Середин Б. Н., Белова Н. А. Композиционный строительный материал повышенной прочности // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 1 (27). С. 37-40.

УДК 624.1

ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА КОНЦЕВЫХ УШИРЕНИЙ НАБИВНЫХ И ГОТОВЫХ СВАЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМООБРАЗОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ФУНДАМЕНТА

*В. С. Фёдоров *, Н. В. Купчикова ***

**Российский университет транспорта (МИИТ) (г. Москва)*

***Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (г. Астрахань)*

В статье представлены этапы развития технологии устройства 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. Сформулированы основные аспекты теории формообразования концевых уширений свай, полученных в результате различных техноло-

гий. Определено в результате исследований с помощью изолиний, что изменение характера деформаций грунтового основания при увеличении нагружения вокруг сферических и цилиндрических концевых уширений зоны плотности грунта изменяется практически одинаково и не превышает двух диаметров сваи от её граней в боковые стороны и трёх диаметров сваи под нижним концом в грунтах нормальной влажности. Значения радиуса зоны уплотнения грунта, определённые по показателям плотности в шурфах основания, полученными экспериментально, подтверждаются теоретически.

Ключевые слова: буронабивные сваи, готовые сваи, технологии устройства, уширения, формообразование.

DEVICE TECHNOLOGY, TERMINAL BROADENING OF THE PILES AND THEIR IMPACT ON THE SHAPING OF STRUCTURES OF THE FOUNDATION

*Fedorov V. S. *, Kupchikova N. V. ***

**Russian University of transport (Moscow)*

***Astrakhan state University of Architecture and Civil Engineering (Astrakhan)*

The article presents the stages of development of the technology of piles with expansions in both domestic and foreign experience in the construction of buildings and structures. Effectiveness of tech devices bored oswai with caps formed by mechanical drilling micropiles with the broadening of trambovanija rubble. The basic aspects of the theory of formation of end widenings of piles obtained as a result of various technologies are formulated. It is determined as a result of studies using isolines that the change in the nature of the deformation of the soil base with increasing loading around the spherical and cylindrical end widenings of the soil density zone varies almost equally and does not exceed two diameters of the pile from its faces to the sides and three diameters of the pile under the lower end in soils of normal humidity. The values of the radius of the soil compaction zone, determined by the density indicators in the pits of the base, obtained experimentally, are confirmed theoretically.

Keywords: bored piles, the piles are ready, the technology of the device, widening, shaping.

Одним из наиболее эффективных технологий возведения свайных фундаментов на практике строительного производства при возведении высотных, большепролётных и уникальных зданий, сооружений, а также опор мостов является устройство буронабивных свайных фундаментов, применение которых насчитывает уже 120-ти летнюю историю.

Знания инженера об особенностях и свойствах грунтов, соединённые со строительной практикой А.Э. Страусса (талантливый инженер, СССР, г. Киев, 1899г.), 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 предполагаемым 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 при-

менялись при строительстве домов, портов, тепловых станций, 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.

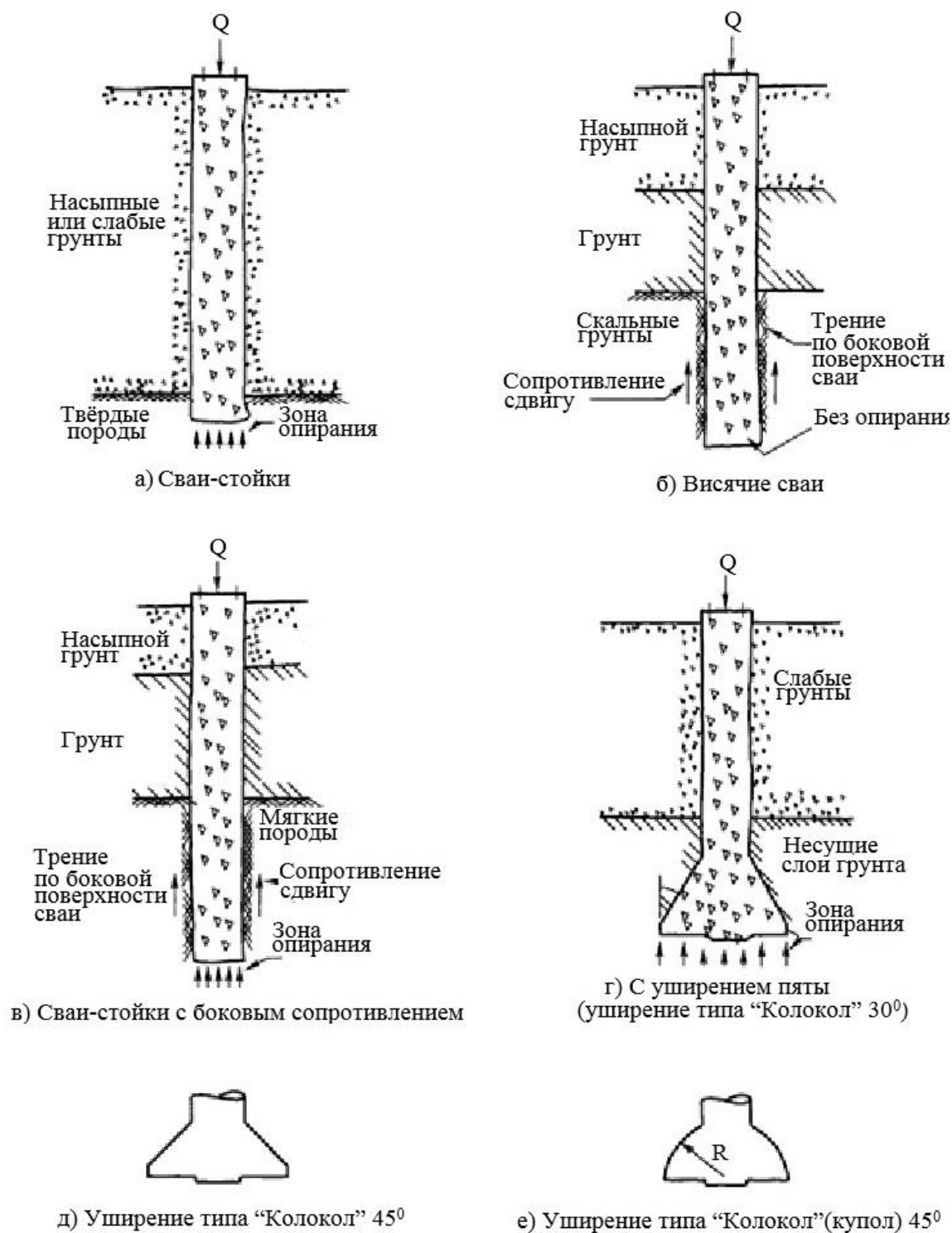


Рис. 1. Типы буронабивных свай по способу опирания в грунтовом основании

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).

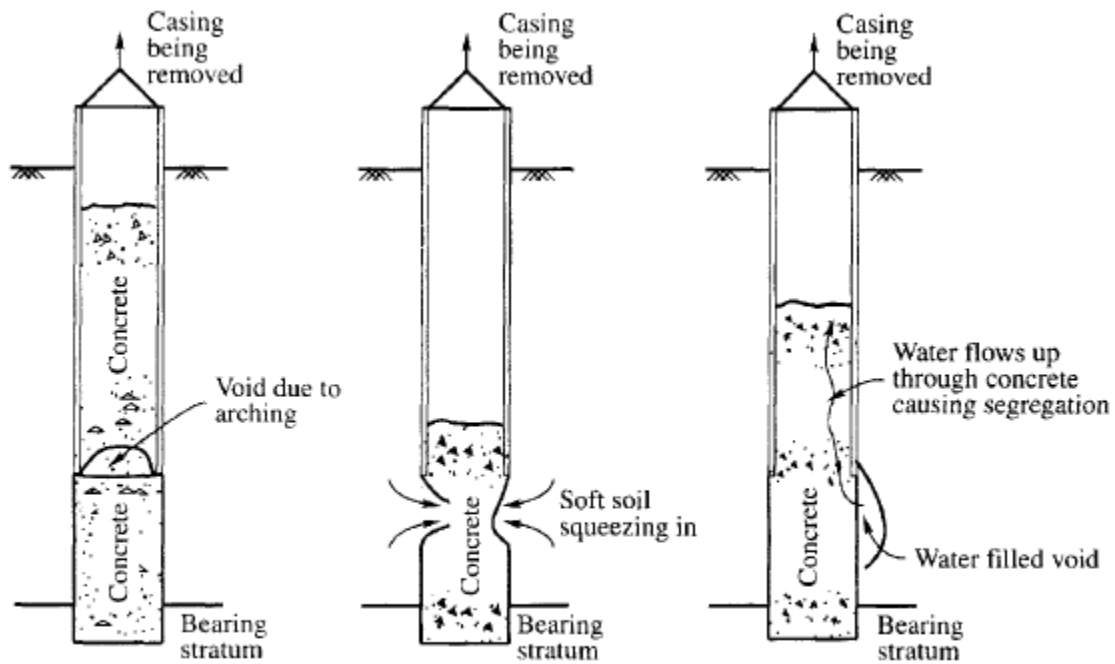


Рис. 2. Возможные последствия при нарушении технологии извлечения обсадной трубы [2]

Жидкий (мокрый) метод используется в зонах подверженных обрушению грунта, и может быть единственным возможным вариантом в водоносных 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.

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. 2).



Рис. 2. Самоходная буровая установка США 1988 г. [1]

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

Практика строительства показывает, что для образования уширения поперечного сечения сваи в разных местах ствола (на конце, сверху, на теле сваи) используют различные способы: разбуривание, вдавливание, раскатывание грунта, физико-химическое инъецирование, буровзрывной способ, использование разрядно-импульсной технологии, механического глубин-

ного втрамбования, с помощью электро-гидравлического эффекта, втрамбовывание щебня, гравия и т.д.

Ранние методы возведения буронабивных свай с уширениями в США по V.N.S. Murthy [2] представлены в технологиях устройства в скважине уширения путём пробуривания с помощью специальной насадки по типу «Колокол» с уклоном режущих лезвий 30° (рис. 3) и комбинацией телескопического (ступенчатого) тела сваи, расширяющегося кверху с концевым уширением, образованным механическим способом (рис.4,5).

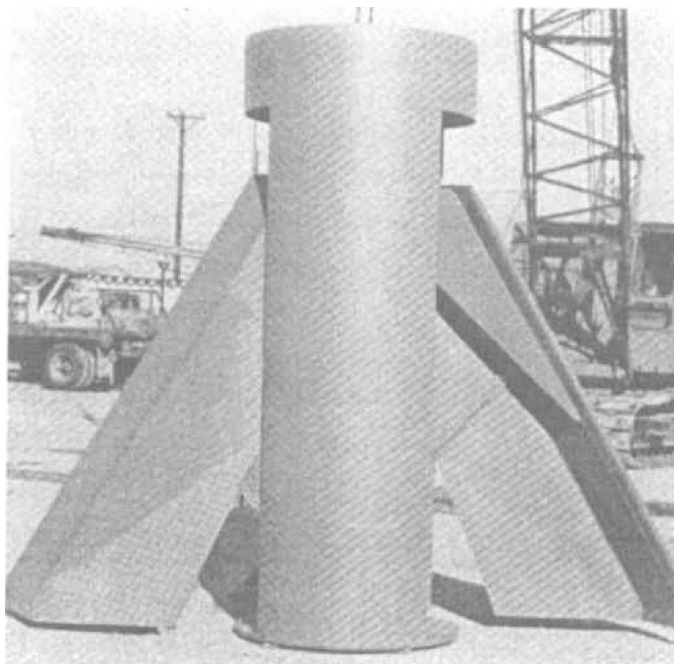


Рис. 3 Концевая насадка на шнек с углом лезвия 30° для резки грунтов и устройства концевого уширения

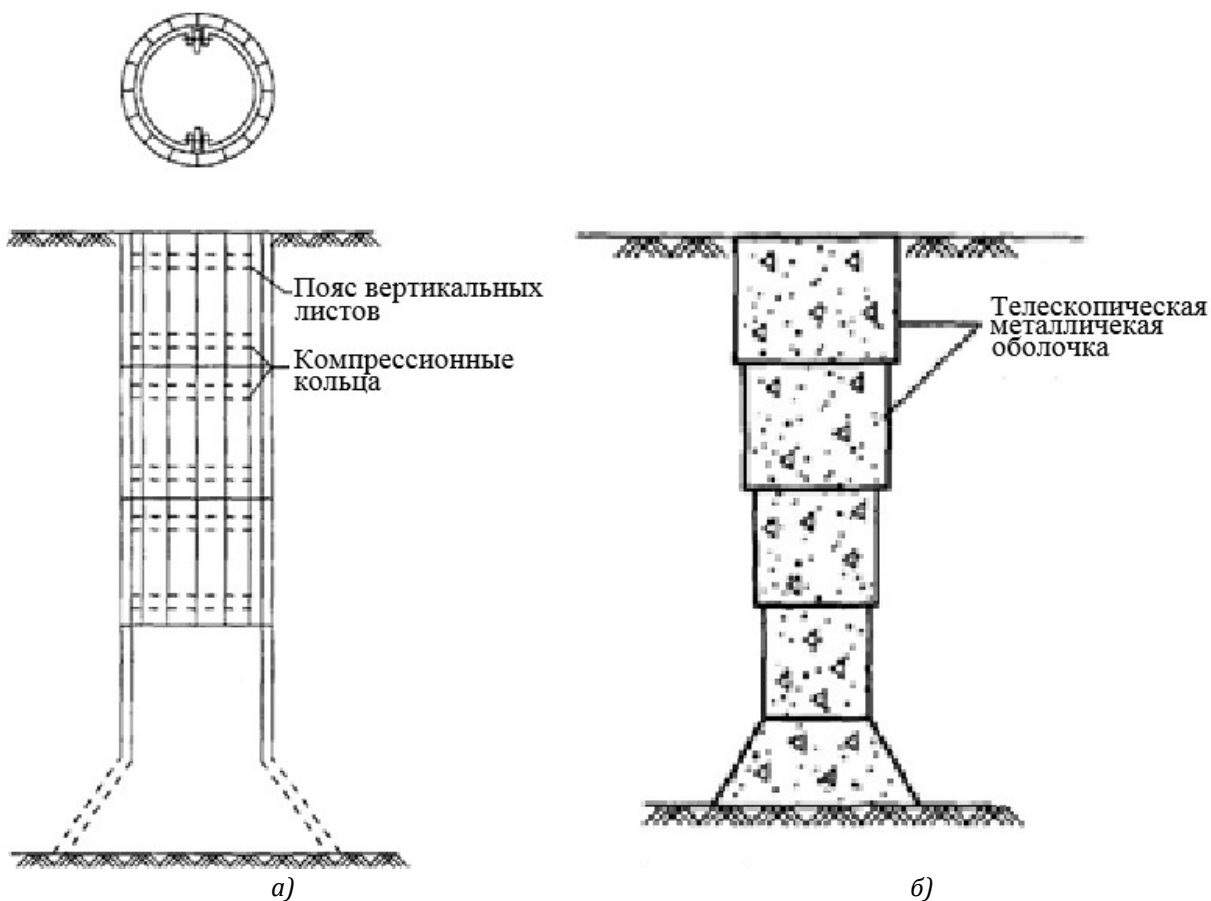


Рисунок 4 Ранние методы устройства буронабивных свай в США по V.N.S. Murthy [2]:
 а) свая с концевым уширением, б) телескопические – ступенчатые с концевым уширением

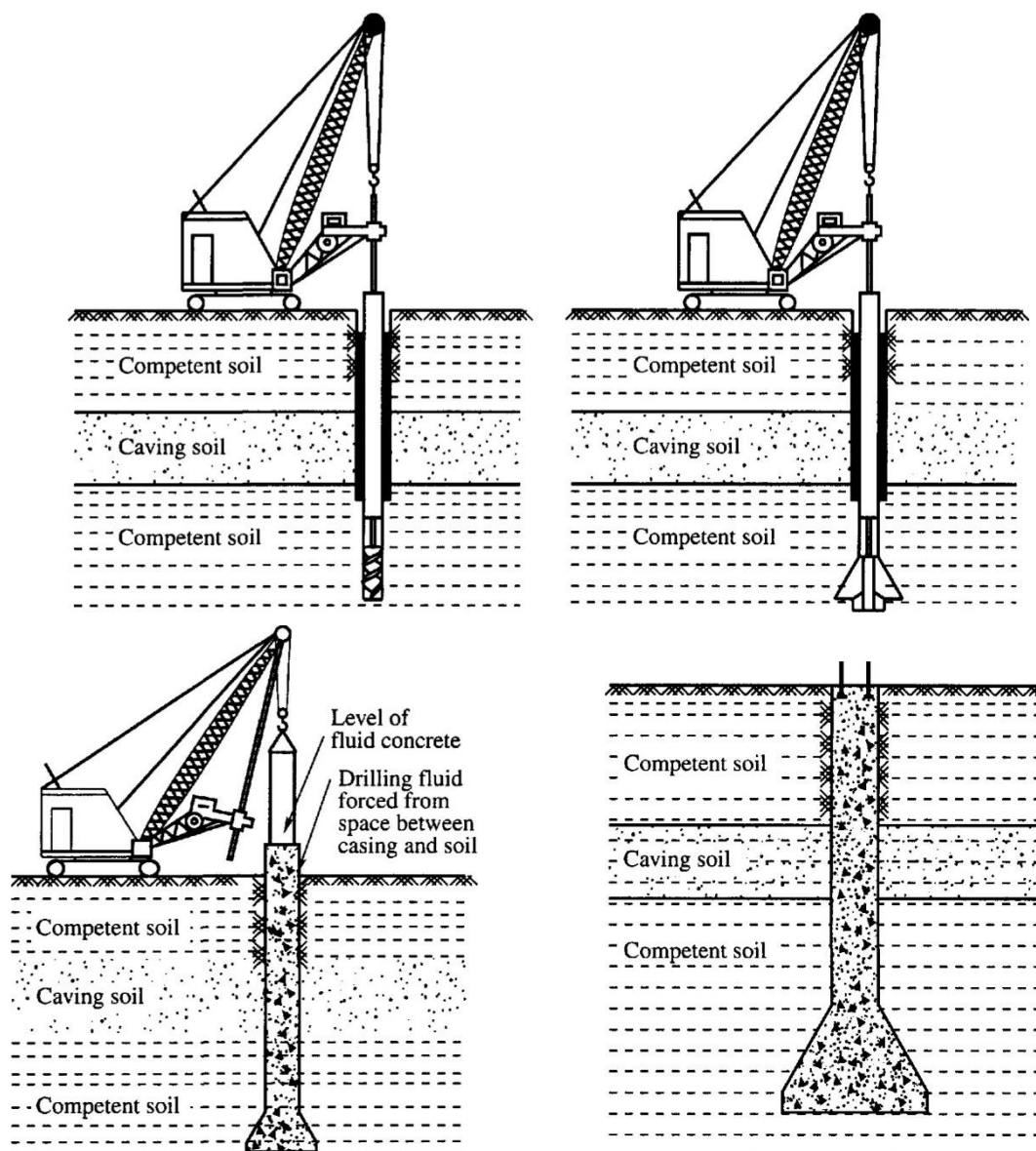


Рис. 5. Технология возведения буронабивной сваи с устройством концевое уширения [2]

Одним из эффективных конструктивно-технологических методов увеличения несущей способности буронабивных свайных фундамента является их устройство с образованием у сваи концевое уширения за счёт втрамбовывания щебня [3-7] (рис. 6).

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 цельности ствола скважины, что сопоставляется расчётным и фактическим объёмом заполненного материала скважины и не является надёжным, а также от-

сутствие достоверных способов оценки взаимодействия подошвы с основанием. Скважину в момент её формирования может заполнять взрыхленный или осыпавшийся грунт (рис.2).

В работах Зоценко Н. Л., Бабенко В. А., Винникова Ю. Л. [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 учёными 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- 4,5раза по сравнению с микро-



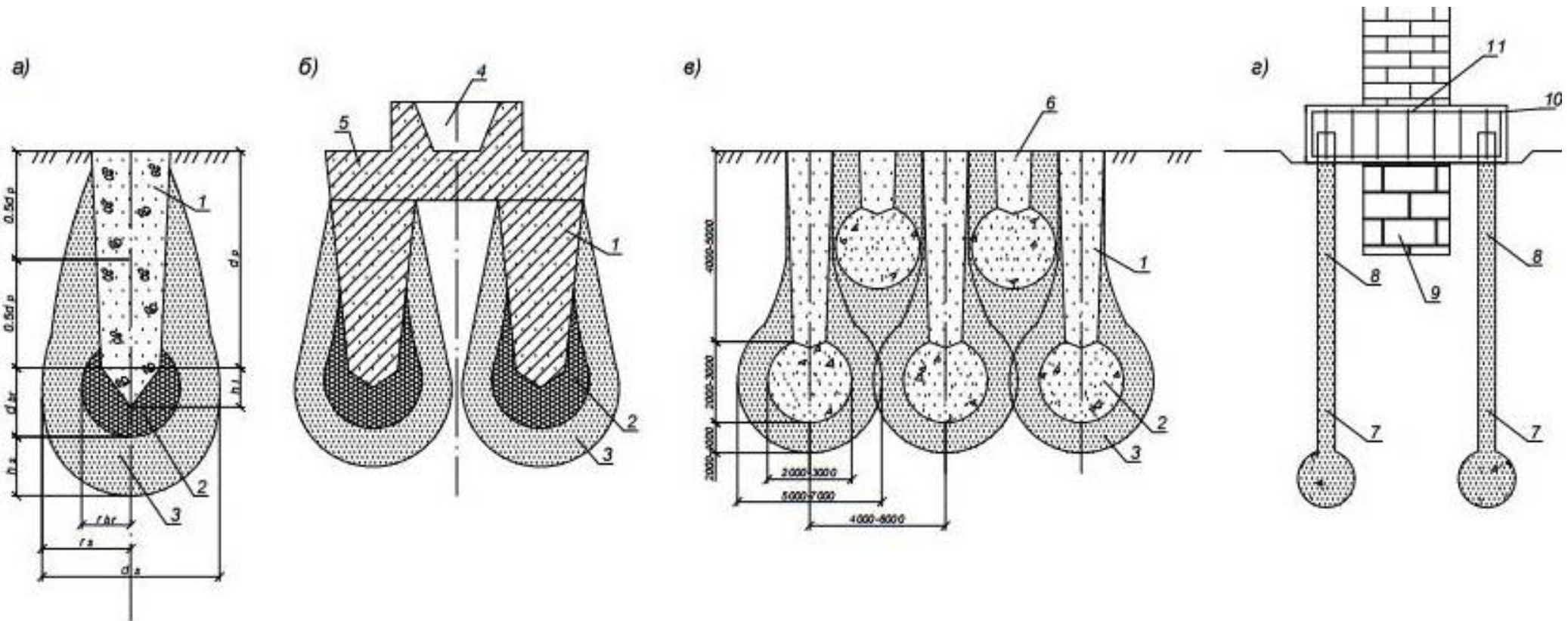
сваями без уширения. Однако при реконструкции оснований и фундаментов эксплуатируемых зданий и сооружений во многих случаях металлические трубчатые микросваи с втрамбованным в основание жестким материалом с целью создания уширения в их нижней части оказываются не совсем эффективными. Технология их изготовления 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.

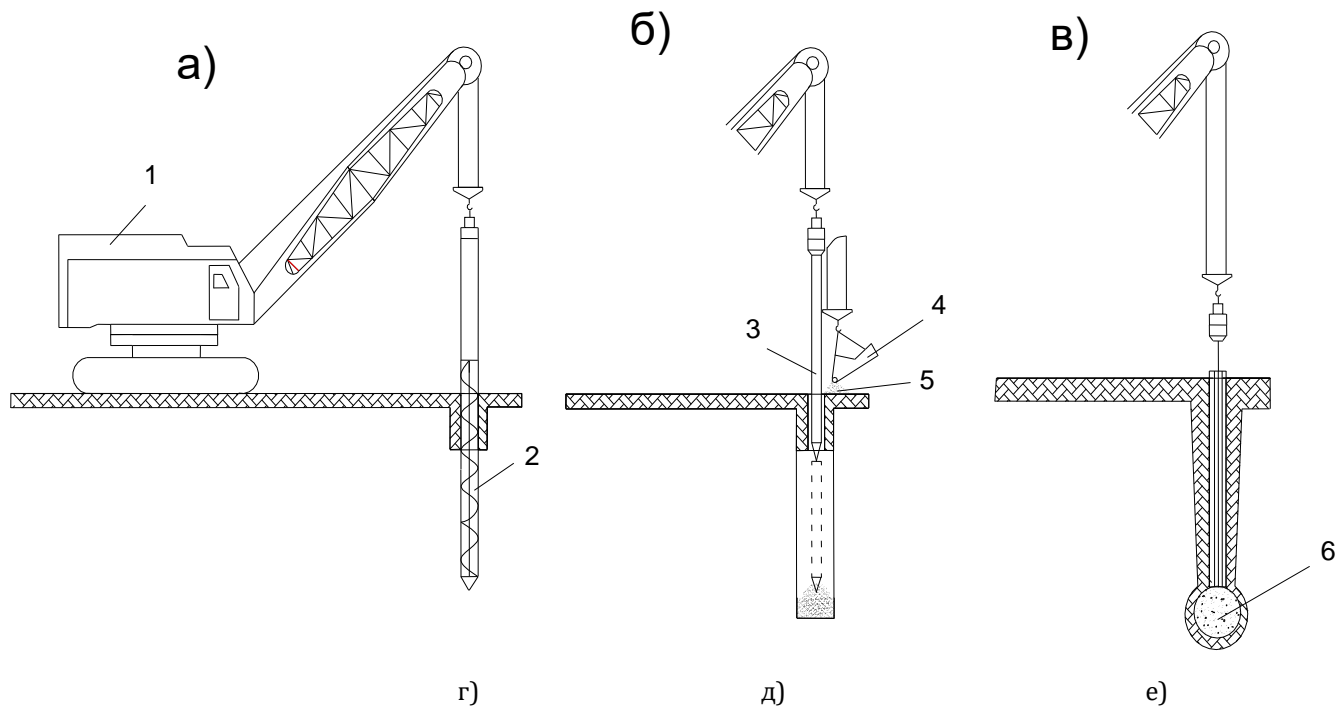
В современных условиях для повышения физико-механических характеристик водонасыщенных грунтов выполняют щебёночные колонны путём вдавливания щебёночного материала в лидерные скважины [3]. В ходе возведения формируемая щебёночная колонна уплотняет грунт вокруг в радиальном направлении, что вызывает активизацию процесса консолидации из-за появления избыточно порового давления, что особенно эффективно в водонасыщенных грунтах.

В ЦНИИОМТП в 2002 году разработана технологическая карта на устройство буронабивных свай в водонасыщенных грунтах для малоэтажных зданий и сооружений с уширенным основанием из втрамбованного щебня крупностью 20-40 мм и прочностью не менее 30 МПа.

Рис. 6. Виды свайных фундаментов с уширением из втрамбованного щебня:

а – одиночная свая; б – фундамент с ростверком; в – втрамбованные грунтовые подушки; г – способ усиления оснований и фундаментов реконструируемых зданий трубчатыми микросваями в втрамбованной скважине: 1 – 2 – 3 – 1 – втрамбованный котлован; 2 – уширение из щебня; 3 – уплотненная зона; 4 – уплотненный грунт или жесткий, металл; 5 – буферная зона, уплотненная той же трамбовкой





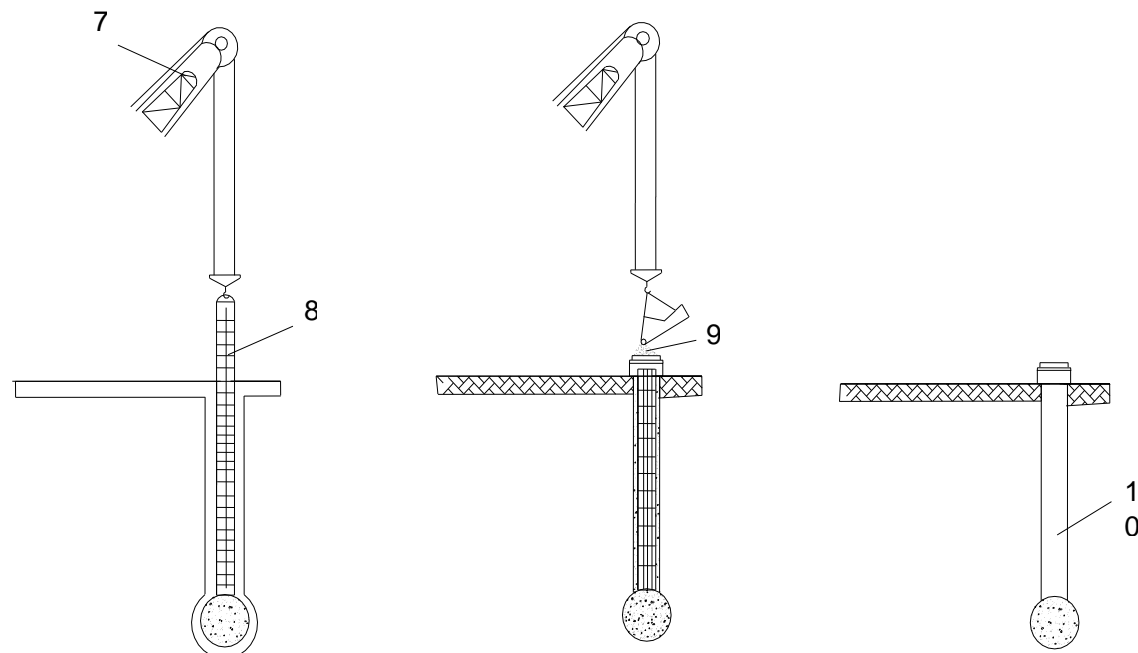


Рис. 7. Технология возведения буронабивной микросваи с устройством концевого уширения втрамбовыванием щебня:

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 бадьей крана; 10 – готовая свая

Одним из важных вопросов в решении сложных геотехнических задач по определению напряжённо-деформированного состояния свайных фундаментов с уширениями является формообразование тела уширения, его геометрия и параметры в зависимости от применяемой технологии устройства конструкции.

Широкое внедрение свай с уширениями ограничивается отсутствием обоснованной системы выбора наиболее рациональных параметров конструктивно-технологических решений, обоснованных методик расчёта несущей способности для статических и динамических воздействий, как совокупности современных методологических подходов конструирования, формообразования и оценке результатов работы таких фундаментов в различных областях строительства.

В научных работах [13-26] приведены результаты исследования формообразования и геометрических параметров уширений, изготовленных по различным вышеуказанным технологиям на конце как готовых, так и набивных свай. Раскопки проводились после процесса твердения материала и приобретения уширением структурно-устойчивой формы. Установлено, что уширения независимо от технологии изготовления имеют преимущественно развитие в вертикальном или горизонтальном направлении. При этом в поперечном сечении приобретают различную форму - усечённого конуса, эллипсоида, сферы, полусферы или цилиндра (см. рис. 8-13), что становится затруднительным при выборе расчётной схемы конструкции сваи при проектировании. Природа формообразования концевых уширений сваи до конца не изучена, что зачастую приводит к широкому диапазону отличий и расхождений между расчётной моделью и реальной работой сваи.

Так, например, ещё в 1947г. Луга А. А. в своих работах [17] приводил иллюстрации свай системы Або-Лоренца с диаметром сваи 320мм и уширения, называемого «грушевидным» $d_{уш}=1000$ мм, образованного в результате механического разбуривания полости в грунте и нагнетания бетонного раствора (рис. 8). Уточнение параметров «грушевидного» уширения на строительной площадке позволило выявить оптимальные диаметры «груши» с минимальными и максимальными параметрами в зависимости от диаметра ствола сваи, которые варьировались от 1,5 до $3,5d_{ств}$. В современной практике проектирования и строительства «грушевидный» конец сваи называют сферическим.

В работе Григорян А. А. [16] предложено для буронабивных свай с уширенной пятой в форме

усечённого конуса при вертикальном нагружении принимать в расчётной схеме околосвайное пространство в виде шаровой поверхности вокруг зоны уплотнения грунта с радиусом, определяемым по формуле:

$$R = r + \frac{1}{a} \operatorname{Ln} \frac{\rho_{\text{ГР}} - \rho_{\text{ГР}}^0}{\rho_{\text{ГР}}^1}, \quad (1)$$

$$a = \frac{1}{r \cdot \rho_{\text{ГР}}^0} \left(\rho_{\text{ГР}} - \rho_{\text{ГР}}^0 + \sqrt{(\rho_{\text{ГР}})^2 - (\rho_{\text{ГР}}^0)^2} \right) \quad (2)$$

где r - радиус сваи, см.; a - коэффициент, определяется по формуле (2); $\rho_{\text{ГР}}^1$ - разность плотностей до и после забивки сваи на границе зоны уплотнения грунта, $\rho_{\text{ГР}}^1 = 0,01$ г/см³. Радиус зоны уплотнения R вокруг сваи при этом должен определяться, исходя из следующих основных положений:

- погружение сваи в грунт происходило только за счёт уплотнения грунта при отсутствии выпора; при этом грунт в объёме сваи вытесняется в стороны;

- на границе зоны уплотнения грунта разность $\rho_{\text{ГР}}$ до и после задавливания равна 0,01 г/см³, т. е. точности их лабораторного определения;

- масса скелета грунта в пределах некоторого цилиндрического объёма грунта вокруг сваи до и после задавливания остаётся постоянной, что совпадает с данными работы.

В работе по исследованию трубчатых микросвай с уширением в нижней части из втрамбованного жёсткого материала в твёрдом, полутвёрдом и мягкопластичном суглинке [23] для изучения параметров уширения были раскопаны 24 опытные микросваи, с различными объёмами щебня. В результате натурных замеров установлено, что форма уширений близка к форме эллипсоида вращения, а соотношение его полуосей находится в прямой зависимости от степени влажности грунта, объёма единичных порций щебня, втрамбованного в нижнюю часть скважины.

Автором проведены многочисленные экспериментальные исследования формообразования уширений и зон уплотнения грунта в околосвайном пространстве под нижним концом буронабивных свай и свай-оболочек, полученных в результате втрамбовывания щебня. Установлено, что уширения приобретают форму эллиптического цилиндра, параметры которого напрямую зависели от диаметра обсадной трубы, физико-химических характеристик

грунта, объема щебня и его фракции, что отражено в соответствующих графиках зависимостей [15].

Забивка полых стальных микросвай с порциальным втрамбовыванием сухой цементно-песчаной смеси в водонасыщенных глинистых грунтах (рис.9) привело к образованию конусного уширения при условии незакрепленного ствола сваи (см. рис. 9, а), и возможности при трамбовании незначительного вертикального

её перемещения. При жёстком закреплении получается уширение сферической формы (см. рис. 9, б), практически идеальных размеров [19].

Более того проведённые экспериментально-теоретические исследования несущей способности и осадок микросвай показали, что область напряжённо-деформированного состояния в обводнённых грунтах развивается на глубину до 6-ти диаметров уширения микросвай, что явилось влиянием зоны уплотнённого грунта.

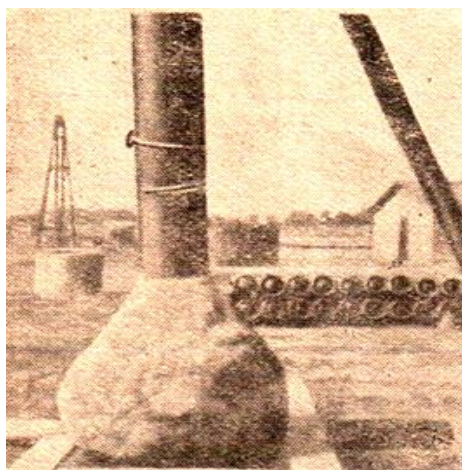


Рис. 8 Фото. сваи Лоренца диаметром сваи 320мм и диаметром сферического уширения 1000мм (Лука А. А., 1947г. [18])

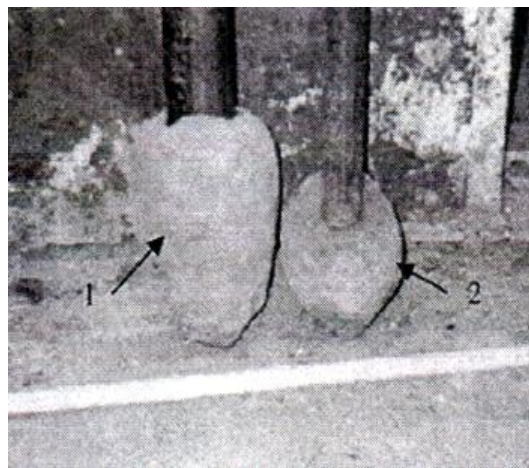


Рис. 9 Конструкции микросвай с втрамбовыванными уширениями из сухой цементно-песчаной смеси (Мальшкин А. П., Есипов А. В., 2002г. [19]): а – конусное уширение, б – сферическое уширение



Рис. 10 Иллюстрация буринъекционной сваи с (Джантимиров Х. А., Рытов С. А., 2009г. [27])



Рис. 11 Свая в грунтовой лотке с красящими изоляциями и концевым сферическим уширением, образованным нагнетанием силиката натрия (Купчикова Н. В., 2014г. [24])

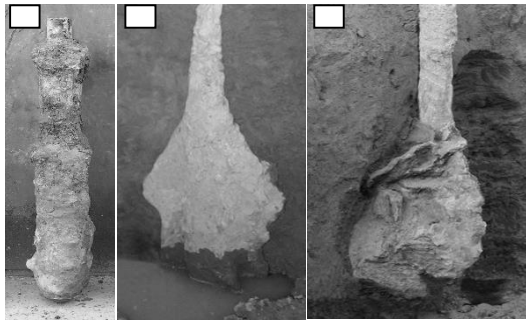


Рис. 12. Общий вид инъекционных свай с уширениями (А.И. Полищук, О.В. Герасимов, А. А. Петухов, Ю.Б. Андриенко, С.С. Нуйкин)[25,26]



Рис. 13. Общий вид буронабивной сваи с уширением в форме полусферы, образованным разбуриванием грунта расширителем

Однако в грунтах естественной влажности формообразование уширений и области НДС развиваются иным образом и по другим физическим параметрам. Особый интерес в данном аспекте представляют исследования автора работы [24] по образованию концевых уширений в результате нагнетания через трубы-инъекторы, установленные в теле сваи, или закреплённые по бокам, физико-химических твердеющих растворов в мелкозернистых песках, полутвёрдых суглинках и глинах нормальной влажности. Значительным результирующим эффектом обладала методика исследования уплотнения грунта у основания и под нижним концом сваи при вертикальном загрузении с помощью фиксаторов – красящих изолиний (см. рис. 10) с фотографированием видимых изменений, что позволило с достаточной точностью и просто определить характер деформаций изолиний и природу формообразования уширения. Установлено, что в результате инъектирования уширение развивалось в горизонтальном направлении и имело сферическую форму, но с криволинейным очертанием, а зона изменения плотности грунта не превышала двух диаметров сваи от её граней в боковые стороны и трёх диаметров сваи под её нижним концом. Значения радиуса зоны уплотнения грунта, определённые по показателям плотности в шурфах основания, полученные экспериментально, совпали с теоретическими.

В работе [25,26] по совершенствованию способов устройства инъекционных свай из прокатных труб со съёмным наконечником, погружаемых вдавливанием и устройством уширения, образованного поэтапным нагнетанием мелкозернистой бетонной смеси в слабых глинистых грунтах формирование уширения происходило так же в горизонтальном направле-

нии, но в форме усечённого конуса, с резко криволинейным очертанием (см. рис.11) и максимальным диаметром в расширенной части $d_{уш}=1,75D_{св}$.

Форма уширения под сваем в виде усечённого конуса наблюдалась и при устройстве буронабивных свай с применением электро-разрядной технологии в различных грунтовых условиях, общий вид которых представлен на рис. 9 [15,16].

Высокое качество правильной геометрии формы концевые уширения получают лишь в технологиях, где формирование уширения происходит путём нагнетания строительных растворов в оболочку, представляющую собой пакет свёрнутого листового металла (сваи типа «Сойлекс» [13]) или из полимерного материала, помещаемого в забой скважины. После формирования сваи, образуется ровная уширенная пятая в форме цилиндра с диаметром, превышающим диаметр ствола от 3-х до 10-ти раз. Однако в данных способах есть и свои недостатки: строительный материал уширенной пяты, находится в пакете, поэтому не происходит требуемого сцепления материала уширения с грунтовым массивом по боковой поверхности и внизу.

Менее качественное изготовление уширения имеют в случае устройства так называемых свай с камуфлетной пятой, когда полость в низу скважины образуется в результате камуфлетного взрыва. В 1941г. Луга А. А. описывал камуфлетную пяту, как «грушевидное» уширение с требуемым радиусом груши, определяемым по формуле:

$$r_{yш} = 2,94 * 10^{-3} \sqrt[3]{\frac{W_э}{\chi}} \quad (4)$$

Где: χ - эмпирический параметр, зависящий от степени связности и плотности грунта;

W_9 - энергия, запасённая в конденсаторе, кДж.

Как уже было отмечено выше, в настоящее время «грушевидное» уширение в расчётной схеме принимается как сферическое и способ его изготовления имеет ряд недостатков, которые значительно снижают область применения свай с камуфлетной пятой. Например, их нельзя использовать в условиях плотной городской застройки и затраты на дополнительные организационные и технологические мероприятия, связанные со взрывными работами.

Форму полусферы, «лучеобразное» [13] или «перевёрнутой шляпы» [17,18] имеют усиливающие элементы набивных и буронабивных свай, образованных путём разбуривания специ-

альными бурами-расширителями или штангами - уширителями пантографного типа (см. рис. 13).

Следует отметить, что, несмотря на наличие нескольких методов определения осадки свай с концевыми уширениями, нагруженных вертикальными нагрузками, проблема обоснованного построения расчётной модели, наиболее точно отражающая физику взаимодействия грунта и свай с уширениями требует своего решения. Для построения расчётной модели необходимо обоснованно сформулировать ряд предпосылок, позволяющих с единых методологических позиций оценить силовое сопротивление осадке в грунте свай с уширениями.

Для построения такой расчётной модели анализ экспериментально-теоретических исследований позволяет принять предпосылку о принятии в расчётной схеме концевых уширений в зависимости от конструктивного решения сваи, технологии её погружения и устройства уширения, а так же грунтовых условий предлагаемые в табл.1.

Таблица 1

Рекомендации по подбору расчётных схем концевых уширений в зависимости от конструктивного решения сваи, технологии её погружения и устройства уширения, а также грунтовых условий

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|--|---|--|
| 1 | Готовая конструкция ж/б сваи любой формы и поперечного сечения, способ погружения – забивка, вдавливание, подмыв, погружение в предварительно пробуренную скважину | 1) Нагнетание через иньекторы маловязких растворов (цементация, силикатизация, битумизация и т.д.) | Сферическое | Просадочные макропористые грунты [4,10,12] |
| | | 2) Глубинное вытрамбовывание полости в грунте | Эллиптический цилиндр | Слабые несвязные грунты нормальной влажности |
| 2 | Микросвая стальная полая, длиной 1000-3000мм, готовая ж/б свая-оболочка, инъекционная свая. Способ погружения – забивка, вдавливание, в предварительно сформированную сважину | Втрамбовывание сухой цементно-песчаной смеси при условии незакрепленного ствола сваи | Конусное | Рекомендуется в водонасыщенных суглинках и глинистых грунтах |
| | | Втрамбовывание сухой цементно-песчаной смеси при жёстком закреплении ствола сваи | Сферическое | |
| 3 | Буроопускная, набивная, буронабивная свая, свая-оболочка | 1) путём разбуривания специальными бурами-расширителями или штангами - уширителями пантографного типа. | Эллиптический цилиндр, конусное или полусферическое (в зависимости от типа расширителя) | В различных грунтовых условиях, но при наличии тиксотропных грунтов следует определять |



| | | | |
|--|---|-----------------------|--|
| | 2) формование за счёт глубинного уплотнения грунта трамбовкой | Эллиптический цилиндр | их степень снижения прочностных характеристик. В случае залегания толщ песчаных грунтов оценить степень их уплотнения [1]. |
| | 3) за счёт ударов сердечника по бетонной смеси | Полусферическое | |
| | 4) Втрамбовывание жёсткого материала (щебень, гравий и т.д.) | Эллиптический цилиндр | |
| | 5) Электроразрядная технология | Конусное, сферическое | Рекомендуется выполнять, когда нижняя часть сваи находится в устойчивом связном грунте |
| | 6) взрывной способ | Сферическое | |

Выводы:

1. Выявлено, что геометрические параметры и формообразование уширений на конце готовых и набивных свай зависят от конструктивного решения сваи, технологии её погружения и устройства уширения, физико-механических свойств материала уширения и грунтовых условий.

2. Концевое уширение сваи в своём большинстве принимает произвольную форму с неравномерным криволинейным очертанием.

3. Повышение несущей способности фундамента, увеличение зоны уплотнения, повышение прочности грунтовых массивов в околосвайном пространстве, происходит не только

за счёт увеличения объёмов концевого уширения, но и за счёт сцепления материала уширения с частицами грунта отдельными неровностями формы, что увеличивает площадь контакта с грунтом.

4. Эффективность устройства концевых уширений снижается с увеличением степени влажности грунта, за исключением специальных технологий устройства в обводнённых грунтах с применением сухих смесей,

5. Обоснована расчетная схема концевых уширений в зависимости от конструктивного решения сваи, технологии её погружения и устройства уширения, а так же грунтовых условий

Список литературы

1. Daiva A. Seavey, Scott A. Ashford. Effects of construction methods on the axial capacity of drilled shafts, Издательство: Department of Structural Engineering University of California. 2004.
2. V.N.S. Murthy. Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Издательство: Marcel Dekker, Inc. 2002. – 741-751с.
3. Штоль, Т.М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений: учеб. пособие для вузов: Спец.: «Пром. и гражд. стр-во» / Т. М. Штоль, В. И. Теличенко, В. И. Феклин. – М.: Стройиздат, 1990. – 288с.
4. Зоценко Н.Л., Винников Ю.Л., Бабенко В.А. Усиление фундаментов общественного здания методом вдавливания свай // реконструкция, Санкт-Петербург-2005г.: Материалы международного симпозиума. Ч.2.-С.Петербург, 1993.с.130-133.
5. Тер-Мартirosян А. З. «Взаимодействие фундаментов зданий и сооружений с водонасыщенным основанием при учете нелинейных и реологических свойств грунтов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения».
6. Купчикова, Н. В. Влияние уплотнения грунта со щебнем на жёсткость основания / Н. В. Купчикова // Журнал «Промышленное и гражданское строительство» №10 / -Москва, 2007 г.
7. Polishchuk, A. I. Numerical Analysis of Helical Pile–Soil Interaction under Compressive Loads [Электронный ресурс] / A. I. Polishchuk, F. A. Maksimov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – 262012099. – Режим доступа:
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 расчёта 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.
13. Мангушев, Р. А. Современные свайные технологии [Учеб. пособие] / Р.А. Мангушев, А. В. Ершов, А. И. Осокин – М.: Издательство АСВ, 2010. – 239с.
14. Штоль, Т.М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений:[Учеб. пособие для вузов] Спец.: «Пром. и гражд. стр-во» / Т. М. Штоль, В. И. Теличенко, В. И. Феклин. – М.: Стройиздат, 1990. – 288с.
15. Федоров, В.С., Купчикова, Н. В. Конструктивные решения свайных фундаментов с поверхностными и концевыми уширениями для структурно-неустойчивых оснований / Вестник гражданских инженеров.- 2011. - №1. – С.88-91.



16. Купчикова, Н. В. Исследование напряжённо-деформированного состояния свайных фундаментов с концевыми и поверхностными уширениями в структурно-неустойчивых основаниях: диссертация кандидата технических наук : 05.23.02 / Купчикова Наталья Викторовна; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ].- Москва, 2010.- 200 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/32.
17. Григорян, А. А. Свайные фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах: [Учеб. пособие] / А. А. Григорян. – М.: Стройиздат, 1984. – 157с.
18. Луга, А. А. Свайные работы: Учеб. пособие / А. А. Луга - М.: Трансжелдориздат, 1947.- С. 42-51.
19. Есипов, А. В. Взаимодействие микросвай с грунтовыми основаниями при усилении фундаментов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.02.- Тюмень, 2002.- 168 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-5/2864-5
20. А. И. Сапожников, А. И. Модель и эффективные расчётные схемы грунтового полупространства / А. И. Сапожников / Изв. вузов. Сер.: Строительство. – М.: 1996. - Вып. 4. - С. 26-31.
21. Бондаренко, В.М. Федоров, В.С. Модели при решении технических задач [Текст]/В.С.Федоров, В.М. Бондаренко// Перспективы развития строительного комплекса: материалы VIII международной научно-практической конференции/ред. В. А. Гутман, Д. П. Ануфриев – Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2014. – С.262-267.
22. Купчикова, Н. В. Численные исследования работы системы «свайное основание - усиливающие элементы» методом конечных элементов / Н. В. Купчикова // Журнал «Строительство и реконструкция» №6 (50) / -Москва, 2013 г. С.28-36.
23. Бабенко, В. А. Трубчатые микросваи с уширением в нижней части из втрамбованного жёсткого материала. : автореферат. дис. Кандидата технических наук : 05.23.02 – Днепропетровск, 1996 – Количество страниц: 24с.
24. Ануфриев, Д. П., Купчикова, Н. В. Новые строительные материалы и изделия. Региональные особенности производства. Монография [Текст]/Д. П. Ануфриев, Н. В. Купчикова, Н. А. Страхова и др.- Астраханский инженерно-строительный институт. – Москва: Издательство ассоциации строительных Вузов, 2014 - 200с.
25. Способ устройства инъекционной сваи: пат. на изобретение № 2238366 Рос. Федерация: Е 02 D 5/34/А.И. Полищук, О.В. Герасимов, А. А. Петухов, Ю.Б. Андриенко, С.С. Нуйкин; заявл. 04.03.2003; опубл. 20.10.2004, Бюл. № 29
26. Инъекционная свая: пат. на полезную модель № 87718 Рос. Федерация: Е 02Д 5/34/А.И. Полищук, А.А. Тарасов, Р.В. Шалгинов; заявл. 11.01.2009; опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29
27. Рытов, С. А. Устройство буринъекционных свай с применением электроразрядной технологии в различных грунтовых условиях. : автореферат. дис. Кандидата технических наук : 05.23.02 – Москва, 2009 – Количество страниц: 21с.
28. Rytov, S. A. New geotechnical technologies/ Proceedings of the 15th European Young Geotechnical Engineers Conference. Dublin, Ireland. 11-14 September 2002.- с.311-315.
29. Lemanza, W. Lesmana, A/ Deep soil improvement technique using combined deep mixing and jet grouting method// Proc. 17th Int. Conf/ on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering/ - Alexandria, Egypt, 5-9 october, 2009, с.2439/

© Фёдоров В. С., Купчикова Н. В.

Ссылка для цитирования:

Фёдоров В. С., Купчикова Н. В. Технологии устройства концевых уширений набивных и готовых свай и их влияние на формирование конструкций фундамента // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 1 (27). С. 40–56.

УДК 621.86.078

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ КРАНОВ НА ОСНОВЕ ДВУХМЕРНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. В. Синельщиков* Н. Н. Панасенко**

**Астраханский государственный архитектурно-строительный университет*

***Астраханский государственный технический университет*

Предложено развитие методов теории сейсмостойкости зданий и сооружений, оборудованных грузоподъёмными кранами, на основе конечно-элементной теории пространственных конструкций, аппроксимированных двухмерными конечными элементами типа пластин Кирхгофа. Применено иерархическое построение расчётно-динамической модели здания, как первичной системы, и грузоподъёмного крана как вторичной, на основе методов динамического анализа и линейно-спектрального метода. Обозначены предосторожности применения СП 14.13330.2014 [31] для поставленных целей.

Ключевые слова: сооружения, оборудованные грузоподъёмными кранами, метод конечных элементов, двухмерные конечные элементы, матрицы масс, жёсткости, демпфирования, уравнения движения, расчётно-динамические модели, акселерограммы, спектр Фурье, сейсмический коэффициент динамичности, сейсмический спектр ответа, метод динамического анализа, линейно-спектральный метод (теории сейсмостойкости сооружений)

FINITE-ELEMENTAL ANALYSIS OF SEISMIC RESISTANCE OF LOADED CRANES BASED ON DOUBLE-DIMENSIONAL ELEMENTS

A. Sinelschikov*, N. Panasenko**

**Astrakhan Institute of Civil Engineering*

***Astrakhan State Technical University*

The development of methods of the theory of seismic resistance of buildings and structures equipped with lifting cranes is proposed based on the finite element theory of spatial structures approximated by two-dimensional finite elements such as Kirchhoff plates. The hierarchical construction of the calculation-dynamic model of a building as a primary system and a lifting crane as a secondary one are used, based on the methods of dynamic analysis and the linear-spectral method. The precautions for applying SP 14.13330.2014 [31] for the intended purposes are indicated.