

Заключение

1. На начальных стадиях уплотнения прочность грунта возрастает незначительно, что обусловлено восприятием предельной нагрузки в целом не всей структурой, а только самым ослабленным контактным сечением.
2. Определяющими факторами процесса уплотнения являются оптимальная начальная плотность и флуктуация структуры.
3. Однородность структуры грунта в зоне уплотнения может быть достигнута увеличением начальной (исходной) плотности.
4. Оптимальная начальная относительная плотность, для соответствующих видов структур, должна быть в следующих пределах: зернистая – $\theta_z = 0,2 \div 0,25$; сложная $\theta_c = 0,3 \div 0,41$; сотообразная – $\theta_{cm} = 0,6 \div 0,69$; хлопьевидная – $\theta_x = 0,6 \div 0,72$, что соответствует следующим значениям плотности грунтов: $\rho_z = 1,69 \div 1,76 \text{ г/см}^3$; $\rho_c = 1,72 \div 1,76 \text{ г/см}^3$; $\rho_{cm} = 1,95 \div 2,08 \text{ г/см}^3$; $\rho_x = 1,98 \div 2,09 \text{ г/см}^3$.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пойта, П.С. Оптимизация зоны использования напрягающих бетонов в свайных фундаментах / П.С. Пойта, П.В. Шведовский, Д.Н. Клебанюк, Т.П. Шалобита // Вестник БрГТУ. – 2010. – №1(61): Строительство и архитектура. – С.116–119.
2. Пойта, П.С. Напряженно-деформированное состояние грунтового массива вокруг ствола буровой сваи / П.С. Пойта, Т.П. Шалобита, П.В. Шведовский // Вестник БрГТУ – №1: Строительство и архитектура. – 2008. – С. 26–28.

3. Пойта, П.С. Исследование особенностей уплотнения грунтового массива при устройстве свай, изготавливаемых в грунте / П.С. Пойта, А.Н. Невейков, П.В. Шведовский, Т.П. Шалобита // Вестник БрГТУ – №1: Строительство и архитектура. – 2009. – С. 24–27.
4. Драновский, А.Н. Предельное давление на стенки цилиндрической скважины // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М. – 2009. – № 4 – С. 22–24.
5. Кулак, М.И. Фрактальная механика материалов / М.И. Кулак. – Мн.: Выш. шк., 2002. – 304 с.
6. Лиштван, И.И. Фрактальные структуры торфяных систем / И.И. Лиштван, Б.А. Богатов, М.И. Кулак // Докл. АН СССР, 1991. – Т. 318, №2 – С. 426–430.
7. Лиштван, И.И. Влияние фрактальной неоднородности структуры на деформационно-прочностные свойства агрегатов торфяных систем / И.И. Лиштван, Б.А. Богатов, М.И. Кулак // Коллоидный журнал, 1998. – Т. 54, №4 – С.107–111.
8. Богатов, Б.А. Моделирование и оптимизация процессов брикетного производства. – М.: Недра, 1976. – 184 с.
9. Новиков, В.В. К определению эффективных модулей упругости неоднородных материалов. / В.В. Новиков // ПМТФ, 1985. – №5 – С. 146–153.
10. Бердичевский, В.Л. Вариационные принципы механики сплошной среды / В.Л.Бердичевский. – М.: Наука, 1983 – 250 с.
11. Хорошун, Л.П. К теории изотропного деформирования упругих тел со случайными неоднородностями // Прикладная механика, 1967. – Т.3., вып.9. – С. 14–19.

Материал поступил в редакцию 11.12.10

POUTA P.S., SHVEDOVSKIY P.V., NEVEYKOV A.N. Influence of natural density ground on character of their condensation at the device drillstuffed of piles from concrete on straining cements

In clause the mechanism of condensation ground and earth files from a position is considered, that they are classical samples stochastic natural fractal of objects of porous structure.

Is revealed, that the determining factors of process of condensation are optimum initial density and fluctuation of structure, thus the uniformity of structure of a ground in a zone of condensation can be achieved by increase of initial density.

Optimum initial relative density for their maximal condensation at the expense of development of volumetric deformations created by pressure of concrete on straining cement, depending on a kind and structure ground, should be in limits from 0,2 up to 0,72 (1,69–2,09 g/sm³).

УДК 624.15:624.131.29

Невейков А.Н., Пойта П.С., Шведовский П.В.

ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ: ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ, ПРИМЕНЕНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Введение. Ограниченность свободной земли в черте города и высокая ее стоимость вынуждают город расти ввысь и уплотнять застройку. Это приводит к значительному росту нагрузок на фундаменты и основания зданий и сооружений. Эффективным решением данной проблемы является применение технологий, максимально использующих возможности грунтового основания. Наиболее экономичными для этого являются буронабивные сваи, изготавливаемые без защиты обсадными трубами и без применения глинистых растворов (сваи, выполняемые в завинчиваемых металлических трубах с самораскрывающимся нижним концом и теряемой пятой, в раскатанных скважинах и по технологии непрерывного проходного шнека, которые бетонируются под большим давлением и др. [1-3]). Широкое внедрение данных технологий объясняется жесткими экологическими, шумовыми и динамическими ограничениями, высокой скоростью выполнения работ. В процессе устройства таких свай происходит улучшение физико-механических свойств грунтов и соответственно повышение несущей способности.

В мировой практике буровые и буронабивные сваи, устанавливаемые непрерывным проходным шнеком с постоянным заполнением (continuous flight auger pile – CFA pile), устраиваемые в раскатанных скважинах (drilling displacement pile) и винтовые сваи (screw pile)

составляют 50% мирового рынка свай [2, 3]. В Беларуси же, наиболее распространены сваи, погружаемые в грунт в готовом виде (завинчиваемые). Объем свай, изготавливаемых на строительной площадке, сравнительно невелик, и составляет не более 15% от общего объема, причем большинство выполняется по устаревшей технологии, что объясняется отсутствием современных свайных технологий, которые только начинают внедряться [5, 6].

Особенности технологий изготовления буронабивных свай. Общими операциями по устройству **буронабивных винтовых свай (screw pile)** являются:

- вращательное погружение бурового инструмента со специальной секцией с теряемым наконечником, вытесняющей грунт в стороны без извлечения;
- установка в буровой инструмент каркаса и отделение бурового наконечника;
- извлечение бурового инструмента с одновременной подачей бетонной смеси;
- погружение в сформированную сваю (в случае необходимости) дополнительного короткого каркаса, для усиления оголовка сваи.

Таблица 1. Условия, влияющие на выбор и использование свай

Благоприятные условия		Потенциально неблагоприятные условия	
Условие	Особенности	Условие	Особенности
1	2	3	4
Сваи по технологии полого проходного шнека (CFA pile)			
<i>Пылевато-глинистые грунты с $I_L < 0,7$</i>	Основным преимуществом является то, что такие грунты являются стабильными и практически не вызывают проблем с излишним выносом грунта на поверхность во время бурения.	<i>Пылевато-глинистые грунты с $I_L > 0,7$</i>	Проблемы связанные со стабильностью из-за очень пластичного состояния грунта , что может приводить к образованию сужений и дефектов. При избыточной подаче бетона, результатом является утолщение в очень мягких зонах, способное вызвать увеличение отрицательного поверхностного трения. В таких условиях сложно обеспечить контроль расхода бетона на единицу длины свай. Более надежными будут сваи с обсадной трубой по технологии DDS или DD
<i>Среднеплотные и плотные пылеватые пески и пески оптимального гранулометрического состава</i>	Эти пески, даже при содержании включений гравия и высоком уровне грунтовых вод, являются обычно благоприятными. Это особенно верно в случае УГВ, расположенных ниже свай.	<i>Рыхлые очень чистые пески с однородным гранулометрическим составом, расположенные ниже УГВ</i>	Возможен потенциально высокий вынос грунта на поверхность . Соответственно при таких условиях контроль скорости проникновения во время бурения и подачи цементного раствора являются критически важными. Более надежными будут сваи уплотнения с полным (FDD) и частичным смещением грунта (IDD).
<i>Элювиальные грунты (илуистые и глинистые грунты)</i>	Эти грунты обладают низкой связностью, благоприятны для установки свай CFA, поскольку ее выполнение является особенно быстрым и экономичным.	<i>Геологические образования, содержащие пустоты, заполненные водой карманы, включения очень мягких грунтов</i>	Эти подземные условия могут вызывать обрушение скважины , создавать проблемы при бурении и бетонировании и затруднять контроль скорости проникновения и бетонирования. Например, карстовые пустоты в известняке являются обычной причиной таких трудностей.
<i>Цементированные пески или слабый известняк</i>	Грунты не должны быть слишком прочными для бурения. В цементированных материалах не столь важно, чтобы выбуренная порода на шнеке поддерживала стабильность отверстия. Кроме того, сваи CFA часто могут обеспечивать высокое сопротивление грунта на боковой поверхности свай, благодаря неровной стенке.	<i>Требуется малый объем или отсутствие отвального грунта, удаляемого с площадки</i>	На площадках с загрязненным грунтом или при необходимости ограничить вывоз отвального грунта с площадки. Требуется технологии, исключающие большой объем извлекаемого грунта (винтовые сваи, сваи с частичным или полным вытеснением грунта)

Отличительной особенностью большинства свай этого типа является винтовая боковая поверхность. Наибольшее распространение среди множества технологий этой группы получили буронабивные сваи по технологии «Atlas», «Fundex», «Tubex», а также их модификации.

Общими операциями при применении **буронабивных свай по технологии непрерывного проходного шнека (CFA pile)** являются:

- вращательное погружение бурового инструмента и извлечение грунта на поверхность;
- отделение пробки на нижнем конце шнека и нагнетание бетонной смеси через полую штангу под давлением;
- извлечение бурового инструмента с одновременной подачей бетонной смеси;
- погружение в сформированную сваю арматурного каркаса.

Помимо традиционной технологии полого проходного шнека, применяются различные модификации данной технологии – *CFA сваи под защитой обсадной трубы (Case pile CFA или Double Drilling System – DDS)*, *CFA сваи «Starsol»*, *CFA сваи «Soilex»*.

Технология **устройства буронабивных свай в раскатываемых скважинах (Drilled displacement pile)** основана на базе буров-раскатчиков и полой штанги, используемой в CFA сваях. Эти сваи изготавливаются в раскатываемых скважинах напорным бетонированием через полую штангу без выемки грунта с полным вытеснением (full drilling displacement pile – FDD) и промежуточным уплотнением с частичной выемкой грунта (intermediate drilling displacement pile –

IDD). В процессе бурения происходит непрерывный процесс образования цилиндрической полости в грунте путем его деформации и уплотнения раскатывающим механизмом в стенки скважины. Благодаря этому, вокруг скважины образуется уплотненная зона грунта и отсутствует отвальный грунт.

Наибольшее распространение получили сваи по технологии «Berkel», «Omega», «Discrepile», «Bauer» и др. В большинстве технологий может производиться дополнительное улучшение свойств грунта за счет заполнения полости над буром щебнем или песком с последующим его впрессовыванием в стенки скважины при обратном ходе.

Необходимо подчеркнуть, что описанные выше технологии можно выполнять используя оборудование разных фирм-производителей. При этом нельзя не отметить тенденцию универсализации базовых машин. Используя машину одной марки, можно реализовывать различные свайные технологии: CFA, Case CFA – Double Rotary, Drilled displacement, Turbo Jet и др.

Условия, влияющие на выбор и использование буронабивных свай. Наиболее значимые условия, влияющие на использование той или иной технологии согласно данным [1–9], представлены в таблице 1. Факторы, негативно влияющие на работу свай под нагрузкой и создающие неопределенность при расчете, согласно данным [1–9], обобщены в таблице 2.

1	2	3	4
Твердые глинистые и скальные грунты с расположенными выше плотными или цементированными отложениями	Вышерасположенные грунтовые отложения должны обеспечить установку сваи на скальной породе без чрезмерного выноса грунта. Вынос представляет собой подъем грунта на шнеке во время его вращения. Хорошо подходит скальная порода с расположенным непосредственно над ней прочным грунтом или переходной зоной.	Изменчивость грунтовых условий: а) твердый грунт с отложениями поверх мягкого пылевато-глинистого или сыпучего (рыхлого) песчаного грунта.	Потенциальное осложнение условий бурения. Трудно обеспечить единообразные характеристик бурения. Изменение критериев бурения на площадке может привести к возникновению проблем с контролем и обеспечением качества, особенно если к отдельным сваям применяются неверные критерии. Проблема возникает при встрече твердого грунта и снижении скорости проникновения из-за затрудненного бурения; вышерасположенные грунты выносятся боковой загрузкой бура. В случае твердого слоя, расположенного ниже водоносных песчаных отложений, могут возникать декомпрессия и просадка грунта, даже если твердая глина не вызывает затруднений при бурении. Скорость проникновения, требующаяся для твердой глины, ниже скорости для песка, и песок будет выноситься при бурении глины. В этом случае песок будет стремиться к выносу , а песчаный конус – к обрушению и смещению в направлении скважины. Это коническое проседание в песчаном отложении вызывается избыточным извлечением песка, которое может быть незаметным на поверхности, но способно приводить к образованию пустоты под верхним слоем глины; разрыхлению песка и перерасходу бетона. Установка свай может быть затруднена. Это связано с излишним выносом и разрыхлением песка из-за меньшей скорости проникновения (относительно скорости вращения бура), применяемой в глине, при вхождении в песок. Крылья шнека не оставляют достаточно грунта для обеспечения боковой поддержки отверстия. Давление воды в замкнутом водоносном горизонте может усложнять эту проблему. Результатом является то, что свая несет нагрузку не на конце, заглубленном в песок, как предполагалось, а почти исключительно за счет сопротивления глинистого грунта по боковой поверхности сваи. При таких условиях лучше, чтобы свая заканчивалась в глине или чтобы свая была больше забурена в песок. Более надежными являются сваи с обсадной трубой по технологии DDS
Условия малого вертикального пространства	Сваи CFA со специальным оборудованием, часто является более экономичным, чем микросваи. Непрерывная подача цементного раствора невозможно при необходимости разрывать шнек во время извлечения. Данную технологию следует применять только в благоприятных условиях грунта и при тщательном контроле параметров.	б) промежуточный песчаный слой между верхним и нижним слоями глины	
Касательные свайные стенки с открытой высотой до 10 м	Сваи CFA диаметром менее 1.2 м и геотехнические условия являются в целом благоприятными, сваи CFA могут являться эффективной альтернативой буровым сваям или траншейным стенам в грунте. Для такого применения важно использовать тяжелое буровое оборудование.	в) несущий песчаный водонасыщенный слой под плотной глиной	
Требуются сваи на уклоне	Скорость установки уменьшается, наклон сваи обычно ограничивается отношением 1:4. Однако можно использовать углы наклона вплоть до горизонтальных при установке анкерных свай в отвечающем требованиям грунте.	Стесненные условия городской черты	При соблюдении режимов бурения и минимальных расстояний между сваями во времени, возможно применение вплотную к существующим фундаментам
Сваи по технологии непрерывного проходного шнека с использованием обсадной трубы (Case pile CFA - Double Drilling Sistem - DDS)			
Почти все типы грунтов, в т.ч. слабые пылевато-глинистые грунты и изменчивые грунтовые условия	Обсадная труба погружается до плотных грунтов с последующим извлечением грунта из трубы непрерывным полым шнеком. Обсадная труба предохраняет от чрезмерного выноса слабого грунта и его декомпрессии при бурении. Скорость выполнения снижается по сравнению с обычными сваями CFA.		
Высокая эффективность в стесненных условиях городской черты	Использование обсадной трубы позволяет использовать сваи вплотную к существующим фундаментам, при соблюдении минимальных расстояний между сваями во времени в процессе устройства.		
Буросекущие свайные стенки с открытой высотой до 10 м	Использование обсадной трубы с кольцевой коронкой позволяет разбуривать бетон соседних свай и создать сплошную (без щелей) конструкцию.		

Особенности проектирования буронабивных свай. Сравнение норм и стандартов различных стран [10-14] показывает наличие существенных отличий зависимости расчетных сопротивлений грунта в плоскости острия сваи (R) и по боковой поверхности (R_f) от

различных факторов и особенностей их учета (таблица 3). Погрешность в определении несущей способности свай может составлять до 50 % [3, 7, 14]. Учитывая объемы применения новых типов свай, очевидно, что используемые методы определения их несущей

1	2	3	4
Сваи с вытеснением грунта – в раскатываемых скважинах и винтовые (Drilled displacement pile or Screw pile)			
<i>Рыхлые и средней плотности песчаные грунты</i>	Увеличивают горизонтальное напряжение в грунте и уплотняют песчаные грунты вокруг сваи во время их установки. Это улучшение дает более высокие значения сопротивления грунта сдвигу по боковой поверхности сваи в несвязных грунтах.	<i>Сложность проникновения в плотные или твердые грунты большой мощности, более ограниченный диапазон по глубине</i>	Требуется значительно больший крутящий момент в сравнении со сваями CFA, глубокое проникновение в грунты с сильным сопротивлением может оказаться невозможным или практически нецелесообразным. В целом, такие сваи не устанавливаются на такую глубину, как сваи CFA, и длина 20-25 м используется нечасто. Эти сваи не применяются в слабых, скальных или твердых цементированных грунтах. Более целесообразно применять сваи по технологии CFA.
<i>Смешанные грунтовые профили с сыпучими несвязными грунтами, чередующимися с глинами</i>	Представляют меньше сложностей по сравнению со сваями CFA, что объясняется малым объемом извлекаемого грунта.	<i>Стесненные инженерно-геологические условия</i>	На площадках в близости от коммунальных сетей или чувствительных конструкций использование свай может вызвать потенциальные проблемы, влияющие на эти конструкции, связанные с подъемом грунта при устройстве свай. Плотные размещенные сваи могут также создавать высокое пластовое давление в сыпучих мелкозернистых грунтах и приводить к смещению соседних свай. Минимальное расстояние от оси изготавливаемой сваи до существующих сооружений составляет 1,5 метра. Сваи с частичным вытеснением (смещением) грунта, CFA или под защитой обсадной трубы могут оказаться эффективнее в таком применении.
<i>Малый объем или отсутствие отвального грунта, удаляемого с площадки</i>	На площадках с загрязненным грунтом или при необходимости ограничить вывоз отвального грунта с площадки сваи DD обладают преимуществом перед сваями CFA и буровыми благодаря незначительному объему или отсутствию отвального грунта.		
Общие условия для всех типов рассматриваемых свай			
<i>Проекты, для которых важна скорость установки и требуется использование большого количества свай</i>	Установка должна располагать хорошей рабочей платформой для перемещения по площадке и геотехнические условия должны быть в целом благоприятными. Типовая норма производительности для свай диаметром 300-600 мм и длиной до 16-18 м составляет 300-450 м в сутки.	<i>Условия грунта, требующие длину и диаметр сваи, сверх стандартной</i>	Для свай длиной более 20-30 м и диаметром более 1200мм требуется специальное оборудование с нестандартно высоким крутящим моментом и высокой погружной способностью.
		<i>Условия грунта с глубоко залегающими слоями размягчаемых или пльжунных песков</i>	В этих обстоятельствах, когда возможна полная или почти полная потеря бокового контакта на значительных глубинах, сваи могут подвергаться высоким изгибающим напряжениям на больших глубинах. Сваи обычно не проектируются с армированием для достижения большей прочности при изгибе. Целесообразно использовать большой диаметр или использовать для армирования строительную сталь (двутавр), для получения адекватной прочности при изгибе в зоне возможной потери контакта.
		<i>Прочные мореные грунты с валунными включениями</i>	Трудность проходки из-за твердых включений. Проходка может быть невозможна, затруднена или потребует замены бурового оборудования.

способности имеют огромное значение. В связи с этим, совершенствование методики определения несущей способности свай на стадии проектирования является важнейшим резервом повышения эффективности строительства.

Определение сопротивлений R и R_f можно осуществлять по результатам зондирования грунта на месте будущей установки свай. Этот подход гораздо предпочтительнее и находит все большее применение [3, 10].

Анализ отмеченных методов к определению несущей способности к отмеченным буронабивным сваям показывает, что в расчетах практически не учитывается состояние грунта после устройства сваи (таблица 3), особенностью которых является формирование уплотненной зоны вокруг ствола сваи. Этот учет производится лишь косвенно, путем введения коэффициентов условий работы, учитывающих технологические особенности свай. Однако помимо этого, национальные нормы Беларуси позволяют производить данный учет более полно, поскольку сопротивление грунта по боковой поверхности и под пятой сваи определяется через коэффициент пористости. В соответствии с таблицами В.1 – В.4 [11] значения R_f и R зависят от вида грунта, глубины погружения сваи и коэффициента пористости, который для песчаных грунтов изменяется от 0.5 до 0.8. При $e = 0,5$ значение R_f прак-

тически совпадает с табличными значениями для забивных свай (таблица 6.2 [12]). Значение же R для буронабивных свай при коэффициенте пористости от 0,5 до 0,65 значительно отличается от забивных, но при заглублении сваи свыше 9–10 м эти значения сравниваются (таблица В.1 [11], таблица 6.1 [12]). В качестве примера на рисунке 1 а, б приведены изменения значений R и R_f для мелкого песка от глубины по данным [11-13], а на рисунке 1 в изменение прочностных характеристик грунта в зависимости от коэффициента пористости [15]. В диапазоне коэффициента пористости от 0,8 до 0,5 механические характеристики песка мелкого значительно меняются: угол внутреннего трения – 28°...33°; удельное сцепление – 0,0 кПа...4,0 кПа; модуль деформации – 18 МПа...35 МПа, что и приводит к повышению несущей способности свай.

Исследованиями [2, 7, 14, 17, 19 и др.] установлено, что при устройстве отмеченных типов свай при соблюдении технологии устройства образуются зоны уплотненного грунта радиусом до 3–5г. В песчаных грунтах это обуславливает увеличение плотности сухого грунта (ρ_d), уменьшению коэффициент пористости (e), возрастанию угла внутреннего трения (φ), модуля деформации (E_0). В глинистых грунтах также имеет место увеличение этих характеристик. Однако для таких грунтов вследствие разрушения структурных связей между

Таблица 2. Факторы, негативно влияющие на работу свай под нагрузкой и создающие неопределенность при расчете

Фактор	Типы буронабивных свай, устраиваемых по технологиям							Характер влияния
	«насухо»	под защитой раствора	под защитой обсадных труб	CFA	CFA под защитой обсадной трубы	в раскатываемых скважинах и винтовые	вытеснения с оставляемой трубой	
Потеря устойчивости стенок скважины	A	A	B	B	B	B	B	Уменьшение параметров прочности
Разрыхление (-), доуплотнение (+) грунта стенок скважины	A(-)	B(-)	B(-)	B(-)	B(-)	B(-), A(+)	B(-), A(+)	Уменьшение параметров прочности
Накопление шлама на дне скважины	A	A	A	B	B	B	B	Увеличение осадки, требуемой для мобилизации сопротивления грунта под пятой
Упругая разгрузка контура скважины	B	B	A	A	A	A	B	Увеличение осадки, требуемой для мобилизации сопротивления грунта под пятой
Упругая разгрузка по дну скважины	B	B	A	A	A	A	B	Увеличение осадки, требуемой для мобилизации сопротивления грунта под пятой
Формирование глинизированного контактного слоя	B	A	B	B	B	B	B	Неопределенность параметров прочности
Усадка бетона	A	A	A	A	A	A	B	То же, что и при упругой разгрузке
Нарушение сплошности ствола сваи (шейки, трещины наплывы)	A	A	B	B	B	B	B	Неопределенность параметров прочности
Динамические воздействия на грунт	B	B	B	B	B	B	B	Дополнительные осадки и перемещения соседних конструкций
Недобуривание до проектной отметки	B	B	B	B	B	B	B	Неопределенность сопротивления под пятой сваи

Условные обозначения: А – фактор имеет высокое значение, Б – фактор имеет низкое значение или маловероятен при соблюдении технологии, В – фактор не возможен

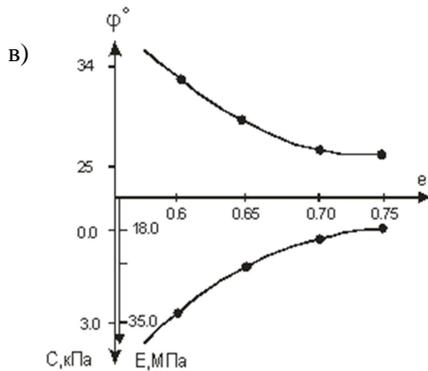
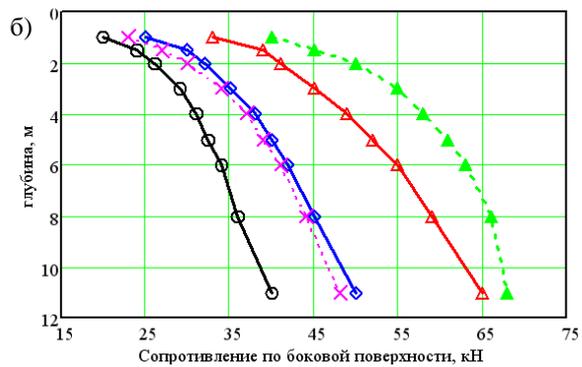
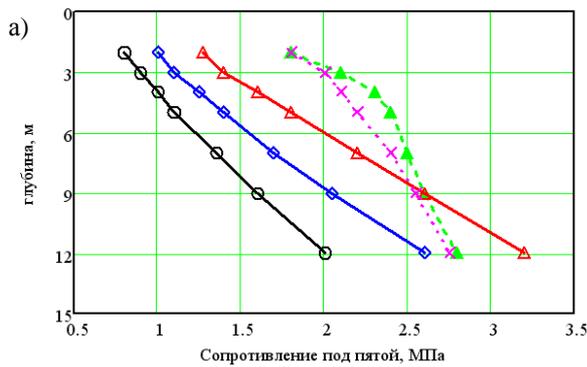
Таблица 3. Факторы, учитываемые в расчете по различным методам

Методика расчета несущей способности буронабивной сваи	Факторы, определяющие несущую способность буронабивных свай				
	Геологические условия	Технология изготовления	Физические характеристики грунта	Механические характеристики грунта	Изменение механических характеристик
Табличный по СНБ 5.01.01 [11,12]	+	+	+	-	-
Табличный по СП 50-102 [13]	+	+	+	-	-
метод «Франки» [16]	+	+	+	-	-
по Березанцеву [18]	+	-	-	+	-
по Лапшину [19]	+	-	-	+	-
по Терцаги [16]	+	-	-	+	-
метод SOB [16]	+	+	-	+	-
α , β , λ – методы и их модификации [10]	+	+	-	+	-

Условные обозначения: «+» - фактор учитывается; «-» - фактор не учитывается

частицами грунта резко снижаются силы сцепления. При низкой влажности и большом структурном сцеплении повышение плотности не всегда компенсирует разрушенные структурные связи, и параметры C и ϕ перемятого грунта могут оказаться ниже, чем в грунте природной структуры, и для их восстановления требуется время. Это и объясняет равенство сопротивлений грунта по боковой поверхности забивных и буронабивных свай, но не объясняет большой разницы в сопротивлениях под пятой сваи до показателя текучести $I_L=0,4$ (рис. 2), после которого значения сопротивлений для забивных и буронабивных свай при увеличении коэффициента пористости сближаются при глубине свыше 8–9 м.

Учитывая выше сказанное, при определении несущей способности буронабивной сваи необходимо прогнозировать изменение параметров грунта в процессе ее погружения. Оценка состояния грунта после погружения сваи через коэффициент пористости является более удобной, ибо в действующих нормах [11] именно коэффициент пористости положен в основу определения расчетного сопротивления грунта по боковой поверхности сваи и под пятой. Если говорить о зондировании, то, было бы полезным проведение неоднократных испытаний грунта до и после установки сваи. Это позволит оценить качество установки и ее влияние на параметры грунта, а также уточнить несущую способность сваи.



- ▲▲ забивная свая (П4 к СНБ 5.01.01)
- △△ буронабивная (e=0.5) (П13 к СНБ 5.01.01)
- ◆◆ буронабивная (e=0.65) (П13 к СНБ 5.01.01)
- ⊖⊖ буронабивная (e=0.8) (П13 к СНБ 5.01.01)
- ×× забивная (СП50-102)

Рис. 1. Характеристики мелкого песка
 а) сопротивление грунта под нижним концом сваи
 б) сопротивление грунта по боковой поверхности
 в) механические характеристики грунта в зависимости от изменения коэффициента пористости

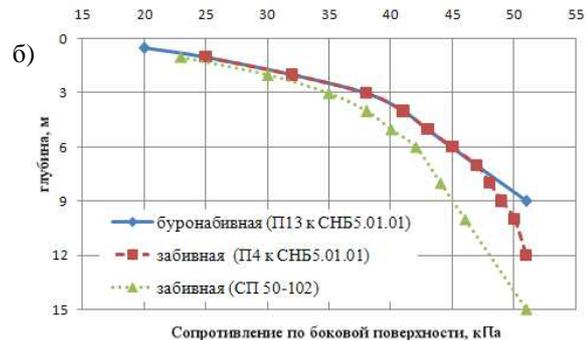
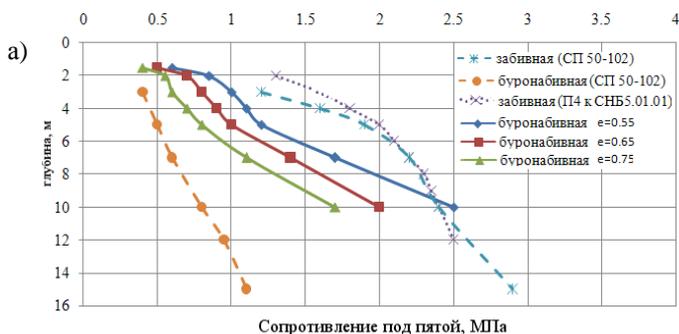


Рис. 2. Характеристики глинистого грунта ($l_l=0.4$)

а) сопротивление грунта под нижним концом сваи; б) сопротивление грунта по боковой поверхности

Осредненное значение коэффициента пористости в зоне уплотнения грунта вдоль боковой поверхности найдем из схемы на рисунке 3. При устройстве сваи с полным вытеснением грунта или инъекционной опрессовке давлением, происходит выдавливание грунта из малого сектора 1 в большой сектор 2, что и обуславливает увеличение плотности грунта в этом секторе. За областью 2 находится зона упругих деформаций, изменение объема в которой можно не учитывать [17, 19]. Обозначив: e_0 – коэффициент пористости грунта природного сложения; r – радиус скважины; R – радиус зоны уплотнения; h – высота участка скважины; α – угол выделенного сектора, имеем рисунок 3.

Именно в зоне 2 происходит уплотнение грунта и изменение его коэффициента пористости. Считая, что все твердые частицы грунта в объеме сваи радиуса r вытесняются в объем грунта, ограниченный радиусом R (пока не известен):

$$\frac{\pi R^2}{360} \cdot \alpha \cdot h \cdot \frac{1}{1+e_0} = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot h}{360} (R^2 - r^2) \cdot \frac{1}{1+e_1}$$

определим осредненный коэффициент пористости в зоне уплотнения:

$$e_1 = e_0 - \frac{d^2}{4R^2} (1+e_0). \quad (1)$$

Рассуждая аналогично, получаем формулу для свай с инъекционной опрессовкой скважины:

$$\frac{\pi \cdot \alpha \cdot h}{360} (R^2 - r^2) \cdot \frac{1}{1+e_0} = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot h}{360} (R^2 - (r+u)^2) \cdot \frac{1}{1+e_1}$$

$$e_1 = \frac{(1+e_0)(R^2 - (r+u)^2)}{R^2 - r^2} - 1. \quad (2)$$

Определение радиуса зоны уплотнения рассматривается во многих работах - применительно к забивным сваям, прессиометрическим испытаниям, буроинъекционным анкерам. Деформирование окружающего грунта в них рассматривается в пределах пластической зоны и упругого массива вне ее. Достаточно подробный анализ полученных зависимостей представлен в работе [17].

Радиус зоны предельного равновесия для свай с полным вытеснением грунта В.Г.Березанцев [18] предложил определять по формуле:

$$R = r_c \left[1 + \frac{\sqrt{2} \cdot e \cdot \left(\frac{\pi \cdot \phi}{2} \right) \cdot \text{tg} \frac{\phi}{2}}{\sin \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\phi}{2} \right)} \right], \quad (3)$$

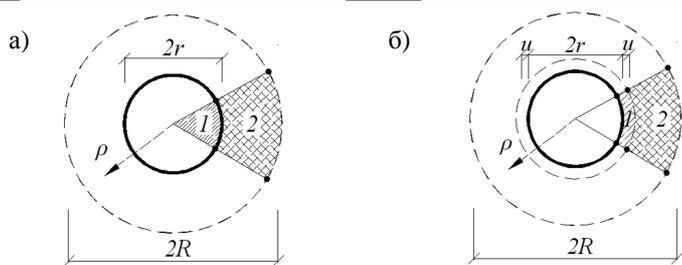


Рис. 3. Схема определения коэффициента пористости
а) с полным вытеснением грунта
б) с частичным вытеснением грунта (инъекционные сваи)

Ф.К. Лапшин [19] для радиуса области пластических деформаций, рассматривая расширение скважины от приложенного к ее контуру обжимающего давления, получил выражение:

$$R = r_c (P_c + c \cdot ctg\varphi / \sigma_0 + c \cdot ctg\varphi)^{(1+\sin\varphi)/2\sin\varphi} \quad (4)$$

Перемещения контура скважины определяются:

$$u_0 = \frac{r_c \cdot \sin\varphi \cdot (1+\mu)(\sigma_0 + c \cdot ctg\varphi)}{E} \times \left(\frac{P_c + c \cdot ctg\varphi}{(1+\sin\varphi)(\sigma_0 + c \cdot ctg\varphi)} \right)^{\frac{1+\sin\varphi}{\sin\varphi}} \quad (5)$$

где P_c – давление на стенки скважины при ее расширении; $\sigma_0 = \gamma h(1 - \sin\varphi)$ – боковое давление грунта в состоянии покоя на глубине h .

Использование технологии полого шнека с опрессовкой пяты сваи давлением от 0,3 МПа приводит к уплотнению грунта и изменению коэффициента пористости. Поскольку грунт под пятой находится в природном состоянии, то деформируемую область под пятой сваи можно рассматривать как цилиндр равного с пятой диаметра, и перемещение пяты сваи проявляется через уплотнение грунта в цилиндре с радиусом, равным радиусу скважины [19, 20], по аналогии с компрессионным сжатием. Тогда коэффициент пористости под пятой:

$$e_{1max} = e_0 - \frac{2(1+e_0)s}{h} \quad (6)$$

Поскольку в основании под пятой буронабивной сваи отсутствуют области предельного состояния, то до осадки $(0,05..0,1)d$, связь между деформациями и давлением линейна [2, 14], а перемещения от опрессовки давлением можно определить по формуле Б.С. Шлейхера [19]:

$$s = \frac{2r_c \cdot \omega \cdot (1 - \nu^2)p}{E} \quad (7)$$

Примем, что деформации уплотнения в грунтовом цилиндре происходят до глубины, на которой напряжения σ_z не будут вызывать деформации грунта. Глубина этой зоны определяется из выражения [20]:

$$h = \frac{r_c \cot\varphi}{2\xi_0} \ln \left(\frac{\sigma_z - D}{\sigma_{ct} - D} \right) \quad (8)$$

где ξ_0 – коэффициент бокового давления грунта;

σ_{ct} – напряжение, при котором начинается деформирование грунта (структурная прочность).

$$D = \frac{(\gamma_0 \cdot r_c - 2c)ctg\varphi}{2\xi_0} \quad (9)$$

$$\sigma_{ct} = \frac{2 \cdot c \cdot \cos\varphi}{1 - \sin\varphi} \quad (10)$$

Таким образом, зная начальный коэффициент пористости, диаметр сваи и размер зоны уплотнения, можно определить среднее значение коэффициента пористости грунта вокруг сваи в зоне уплотнения. Этот факт имеет большое значение, так как, используя e_1 , можно определить уточненные значения R_f и R и прогнозировать величину прочностных и деформационных характеристик грунта.

Заключение

1. В связи со строительством большого числа зданий и сооружений с большими нагрузками на фундаменты и основания в условиях уплотненной застройки и зачастую на стройплощадках со сложными инженерно-геологическими условиями необходимо внедрение в строительную практику имеющихся за рубежом современных технологий.
2. Существующие методы расчета несущей способности буронабивных свай не учитывают структурных изменений в грунтах, происходящих при их устройстве.
3. Предлагаемая методика определения расчетного сопротивления грунта по боковой поверхности и под пятой сваи достаточно в полной мере учитывает происходящие изменения в грунте, позволяет определить уточненные значения R_f и R и прогнозировать деформационно-прочностные характеристики грунтов после устройства свай, которые необходимо использовать при расчете осадок свай.
4. Использование в производственных условиях предлагаемой методики позволяет снизить материалоемкость свай, а соответственно и стоимость свайных фундаментов из отмеченных буронабивных свай.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Prezzi, M. and Prasenjit, B. Overview of construction and design of auger cast in place and drilled displacement piles / Deep Foundations Institute Conference Proceedings. – Chicago, 2005.
2. Van Impe, W.F. Belgian geotechnics' experts research on screw piles. Belgian Screw Pile Technology – design and recent development. Maertens & Huybrechts eds., Balkema, Rotterdam, XIII–XVII, 2003.
3. Mandolini, A., Russo, G. and Viggiani, C. Pile foundations: experimental investigations, analysis and design. 16th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Osaka, 2005.
4. Сеськов, В.Е. Тенденции развития и опыт применения прогрессивных фундаментов в Беларуси / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов, В.Н. Лях // Строительная наука и техника. – 2007. – № 5. – С. 131–141.
5. Ермашов, В.П. Буропрессваи: несущая способность и целесообразность применения в Беларуси / В.П. Ермашов, Н.В. Тимофей, В.И. Новик // Строительная наука и техника. – 2005. – № 2. – С. 56–63.
6. Никитенко, М.И. Особенности испытания свай повышенной несущей способности / М.И. Никитенко, Н.В. Черношей // Мастерская. Современное строительство. – 2009. – № 11. – С. 80–81.
7. Stocker, M. Der Shneckenortbetonpahl, kurz SOB-Pfahl // Batrage zum Symposium Pfahlgrundungen, Darmstadt, Inst. fur Grundbau, Boden- und Felsmechanik.
8. Соболевский, Д.Ю. Прочность и несущая способность дилатирующего грунта / Д.Ю. Соболевский. – Мн.: Наука и техника, 1994 – 232 с.
9. Богов, В.С. Проблемы устройства свайных оснований в городской застройке в условиях слабых грунтов Санкт-Петербурга / В.С. Богов // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2008. – № 8. – С. 119–128.
10. GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR №8. Design and Construction of Continuous Flight Auger (CFA) Piles, 2007.
11. Проектирование и устройство буронабивных свай. Минстройархитектуры РБ: Пособие П13-2001 к СНБ 5.01.01-99. – Минск, 2002. – 43 с.
12. Проектирование забивных свай: Пособие П4-2000 к СНБ 5.01.01-99. Минстройархитектуры РБ. – Минск, 2001. – 68 с.

13. Проектирование и устройство свайных фундаментов: СП-50-102-2003. – М.: ФГУП ЦПП, 2004 – 109 с.
14. Жуков, Н.В. Расчет коротких свай на осевые вдавливающие нагрузки / Н.В. Жуков // Обзорная информация. – М.: ЦНИИЭП-сельстрой, 1989. – Вып. 3. – 72 с.
15. Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика / Под ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
16. Ганичев, И.А. Устройство искусственных оснований и фундаментов / И.А. Ганичев. – М.: Стройиздат, 1981. – 543 с.
17. Никитенко, М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при строительстве и реконструкции зданий и сооружений: монография / М.И. Никитенко – Мн.: БНТУ, 2007. – 508 с.
18. Березанцев, В.Г. Расчет оснований сооружений. – Л.: Стройиздат, 1970. – 308 с.
19. Лапшин, Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям / Ф.К. Лапшин. – Изд-во Саратовского университета, 1979. – 152 с.
20. Мамонов, В.М. К расчету осадок буронабивных свай в лессовых грунтах / В.М. Мамонов // Труды НИИ оснований и подземных сооружений. – Вып. 90: Свайные фундаменты. – М.: Стройиздат, 1989. – С. 77–91.

Материал поступил в редакцию 15.12.10

NEVEYKOV A.N., POYTA P.S., SHVEDOVSKIY P.V. Progressive designs drillstuffed of piles: features of work, application, designing

In article are presented review progressive pile technologies fabrications bored piles, are considered particularities of the work, condition of the using and designing such piles.

УДК 624.15:624.154+658.562

Шведовский П.В., Пойта П.С., Дроневиц А.Ю.

ОСОБЕННОСТИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ПРОЕКТНОГО ВАРИАНТА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Введение. На процесс принятия проектного решения по свайным фундаментам оказывает влияние множество факторов: инженерно-геологические и гидрогеологические условия стройплощадки; конструктивная схема здания; строительные, заводские, технологические и временные ограничения (несовершенство оборудования и механизмов, стесненность условий, отсутствие специальных материалов и изделий, срок строительства и т.д.). Поэтому выбор оптимальных конструктивных (КР) и организационно-технологических (ОТР) решений представляет собой сложную инженерную задачу, требующую реализации принципов комплексности и системности подходов к оценке возможных вариантов.

Оптимальный вариант КР и ОТР должен характеризоваться определенной системой критериев, базирующихся на совокупности внешних (технично-эксплуатационных и технико-экономических), внутренних (технологических, конструктивных и организационных) и дополнительных (экологических и др.) параметров и показателей [1, 2, 3].

Следует отметить, что традиционные методы решения однокритериальных задач, реализующие оптимизацию одного-двух, реже трех параметров, при введении ограничений на все другие, а также принятие альтернативных КР и ОТР по экономическим показателям не всегда правомерно, так как стоимостная оценка нелинейна с точки зрения полезности и качества технического решения [3].

Наиболее целесообразно при оценке КР и ОТР использование многофакторного моделирования, с моделью в виде функции:

$$K_{ki} = f_{ki}(K_{a1}, K_{a2}, \dots, K_{aj}, \dots, K_{an}), \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где K_{aj} , K_{ki} – показатели, характеризующие определенное свойство (особенность) соответственно конструктивного и организационно-технологического решения, а также наличие прямых и обратных связей и взаимосвязь технологических и конструктивных параметров [1].

Методика исследований. Так как выбор решения необходимо осуществлять на базе «наибольшей предпочтительности», т.е. оптимизации на совокупность показателей эффективности, то собственно решение представимо в виде следующих частных задач:

- разработка способов представления вариантов, удобных для полного их перебора из исходного множества и полного набора показателей эффективности, которые должны учитываться при

оценке каждого варианта, а также шкалы и процедуры оценок по каждому показателю эффективности;

- разработка процедуры, позволяющей выделить из исходного множества вариантов (альтернатив) подмножество наиболее предпочтительных вариантов и на их основе построить ряд предпочтительности альтернатив.

Отсюда задачу многокритериального выбора можно сформулировать следующим образом. Если a – решение (вариант, альтернатива) из множества допустимых решений A , при этом качество решения оценивается локальными критериями (показателями эффективности) X_1, X_2, \dots, X_n , составляющими вектор $X=(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n)$, связанный с отображением решений $a \rightarrow X=\varphi(a)$, заданных аналитически, статистически или эвристически, а относительная важность предпочтительных показателей эффективности (ППЭ) (локальных критериев) задана вектором приоритетов $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$, где $\lambda_j \in [1, \infty]$ – транзитивная бинарная связь критериев j и $j+1$, т.е. для всех элементов $a_1, a_2, a_3 \in A$ действительно условие $a_1 Ra_2, a_2 Ra_3 \Rightarrow a_1 Ra_3$, то искомое решение A^o должно удовлетворять двум условиям – должно быть допустимо, т.е. принадлежать множеству допустимых решений \bar{A} и быть наилучшим, т.е. должно оптимизировать вектор X с учетом приоритетов ППЭ $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ и может быть записано в следующем виде:

$$a^o = \phi^{-1}[\text{opt}(x(a), \lambda)]. \quad (2)$$

В случае неединственности решения целесообразно выделять подмножество решений A^o с моделью вида:

$$A^o = \{a^o\} = \bigcup_{a \in A} \phi^{-1}[\text{opt}(x(a), \lambda)], \quad (3)$$

где opt – оператор многоцелевого выбора; ϕ^{-1} – обратное отображение $x \rightarrow a = \phi^{-1}(x)$.

Схема реализации этих задач и выбора альтернативных вариантов, а в конечном итоге и проектных вариантов, представлена на рисунке 1.

Дроневиц Александр Юрьевич, аспирант кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.