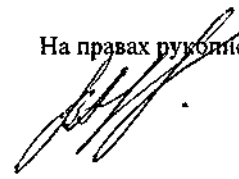


На правах рукописи



АКОПЯН Владимир Феликсович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ
ВИШТОВЫХ СВАЙ С ЦЕЛНУЕЙНО-ДЕФОРМИРУЕМЫМ
ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ**

05.23.17 – Строительная механика

05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону
2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет»

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Панасюк Леонид Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Четвериков Алексей Львович

Официальные оппоненты: Ананьев Игорь Всеволодович,
доктор технических наук,
профессор, каф. ПМиВТ РГСУ

Дыба Владимир Петрович,
доктор технических наук,
профессор, каф. ПГСГиФ ЮРГТУ

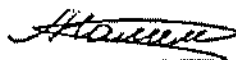
Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Новочеркасская
государственная мелиоративная
академия», НГМА

Защита диссертации состоится «17» мая 2012 г. в 09:00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.207.02 при Ростовском государственном строительном университете по адресу: 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, РГСУ, главный корпус, ауд.232, тел/факс 8(863)227-73-78; 227-75-68; E-mail: dis_sovet_rgsu@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ростовского государственного строительного университета и на сайте www.rgsu.ru

Автореферат разослан «16» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент



А.В. Налимова

2012А
10981

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Проблема оптимального проектирования и возведения свайных фундаментов существует при строительстве в сложных инженерно-геологических условиях, в которых свайные фундаменты экономически выгодны по сравнению с фундаментами на естественном основании и, нередко, это единственно возможный тип фундаментов. Строительство в условиях плотной городской застройки требует сохранности зданий, прилегающих к возводимому. Этими условиями ограничена возможность применения забивных, набивных, образуемых с пробивкой скважин, виброудавливаемых свай.

Совместный расчет надземных конструкций и свайного фундамента в используемых программных комплексах выполняются упрощенно. Сваи представляют в виде конечных элементов, типа «пружина», с ограниченной жесткостью. Это позволяет рассматривать перераспределение напряжений в конструкциях при выключении из работы отдельных свай при достижении нагрузкой предельного значения несущей способности свай. Но жесткость самой «пружины» определяют приближенно согласно нормативной методике. Возможности современных компьютеров и программных комплексов позволяют выполнить уточненный, по сравнению с методом СНиП 2.02.03-85*, СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты», расчет свай в грунте. Наиболее корректно в таких расчетах описывают работу буронабивных свай, так как при их изготовлении сохраняют природные характеристики околосвайного грунта.

Однако расчет свай, при устройстве которых происходит уплотнение околосвайного грунта, производят, в основном, согласно вышеуказанным нормативным документам. Влияние напряженно-деформируемого состояния грунта вокруг свай на ее несущую способность учитывают путем введения коэффициента условий работы свай. Следовательно, существующими инженерными методами расчета не учтено влияние нелинейных деформаций грунта на несущую способность свай.

Довольно сложно учесть влияние напряжений от свайного фундамента во время его монтажа и эксплуатации на существующие объекты. Для этого необ-



ходимо получить четкую картину распространения локальных напряжений в околосвайной зоне, так как, даже плавно нарастающие контактные напряжения могут привести к разрушению близлежащих фундаментов.

Изложенное обуславливает актуальность и важность направления исследования возможности применения современной информационной и материальной научно-технической базы для повышения достоверности инженерных расчетов винтовых свай.

Объект исследования: винтовая свая АКСИС во взаимодействии с нелинейно-деформируемым грунтовым основанием.

Предмет исследования: оценка влияния уплотнения околосвайного грунта профилем винта на несущую способность новых видов винтовых свай АКСИС.

Цель исследования. Разработать научно-обоснованные методы расчета несущей способности по грунту разработанных и запатентованных автором винтовых свай АКСИС с учетом физически нелинейных моделей грунта и его уплотнения в околосвайной зоне на основе математического аппарата метода конечных элементов. На основе уточненного моделирования сформулировать упрощающие гипотезы и разработать методику инженерных расчетов.

Задачи исследования:

1. Проанализировать современные методы расчета фундаментов из винтовых свай.
2. Провести численные исследования напряженно-деформированного состояния грунта в околосвайной зоне при монтаже и эксплуатации свай.
3. Разработать аналитические и численные методики расчета несущей способности по грунту винтовых свай АКСИС.
4. Провести экспериментальное подтверждение разработанных численных аналитических методов расчета несущей способности по грунту винтовых свай АКСИС.
5. Оценить эффективность использования винтовых свай АКСИС.

Научная новизна**1. По специальности 05.23.17 «Строительная механика»:**

- 1.1. Проведено численное моделирование процесса устройства винтовой сваи АКСИС при предварительном внедрении боковой поверхности сваи в грунт, представленный упругопластической средой с критерием прочности Мизеса-Шлейхера-Боткина.
- 1.2. Осуществлено моделирование процесса нагружения винтовой сваи АКСИС эксплуатационными нагрузками.

2. По специальности 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения»:

- 2.1. Обоснована возможность расчета винтовой сваи АКСИС, как набивной сваи, с введением корреляционного коэффициента, учитывающего работу околосвайного грунта и форму боковой поверхности.
- 2.2. Проведена оптимизация типоразмеров винтовых свай АКСИС.
- 2.3. Экспериментально и теоретически обоснована эффективность винтовых свай АКСИС.
- 2.4. Разработаны и запатентованы винтовые сваи АКСИС, обладающие повышенной несущей способностью по грунту.

Для решения поставленных задач применены следующие методы исследований:

- математического планирования эксперимента;
- математического моделирования и оптимизации;
- численные;
- экспериментальные.

Исследования проведены с применением программных комплексов

«ПОЛЮС», «Фундамент 13.2», модели свай для плоской задачи и объемных.

Достоверность полученных результатов подтверждают:

1. Использование, в качестве научной основы, глубоко изученных и применяемых на практике, многократно подтвержденных экспериментально, уравнений механики грунтов, теорий упругости и пластичности.
2. Применение в исследованиях лицензионных сертифицированных программных комплексов и поверенного лабораторного оборудования.
3. Подтверждение принятых механико-математических моделей.
4. Значительное количество выполненных численных исследований и лабораторных экспериментов.
5. Совпадение, с достаточной для инженерных целей точностью, полученных результатов численных и экспериментальных исследований винтовых свай.

Практическая значимость работы. Создание новой конструкции и технологии изготовления винтовых свай АКСИС, позволяющей увеличить до двух раз несущую способность по грунту в сравнении с набивными сваями аналогичного диаметра.

Положения, выносимые на защиту

1. Результат численного моделирования процесса устройства и нагружения винтовой сваи АКСИС.
2. Конструкция монолитной, сборной, сборно-монолитной видов винтовых свай АКСИС.
3. Расчет несущей способности по грунту винтовых свай АКСИС.
4. Технология устройства монолитного, сборного, сборно-монолитного видов винтовых свай АКСИС.

Апробация работы. Результаты исследования доложены на: четырех Международных научно-практических конференциях «Строительство» (Ростов-на-Дону, 2009, 2010, 2011, 2012 гг.), конференции «Актуальные вопросы инженерной геологии, механики грунтов и фундаментостроения» (Санкт-Петербург, 2010 г.), «Молодежном инновационном конвенте» (Ростов-на-Дону, 2011г.), научном семинаре Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасск, 2012 г.), «Седьмом

всероссийском конкурсном отборе инновационных проектов студентов, аспирантов и молодых ученых РГУИТП» (Москва, 2012 г.).

Результаты исследований внедрены в лекционно-практическом курсе, в дипломном проектировании, в научно-исследовательских работах студентов, магистров и аспирантов кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Ростовского государственного строительного университета.

Публикации. Результаты исследования изложены в 14 публикациях: 5 в изданиях ВАК РФ, 3 патента на полезные модели, 6 статей в других изданиях.

Автор выражает признательность за помощь при выполнении исследований д-ру техн. наук, проф. О.Е. Приходченко, канд. техн. наук, проф. В.В. Логутину, канд. техн. наук, доц. А.И. Семенову, канд. техн. наук, доц. А.В. Чмишкяну, канд. геол.-минерал. наук., доц. А.В. Гридневскому.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка использованной литературы и приложений. Изложена на 133 страницах машинописного текста и содержит 66 рисунков, 12 таблиц, 4 приложения. Список использованной литературы содержит 129 наименований, в том числе 8 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность разработки новых фундаментов из винтовых свай, обозначены цель исследований, научная новизна, практическая значимость и характеристика работы.

В первой главе дан краткий обзор основных типов свайных фундаментов и классификация свай. Рассмотрены методы расчета и устройства свайных фундаментов, в том числе из винтовых свай.

Большой вклад в развитие теории механики грунтов и фундаментостроения внесли И.В. Апасьев, А.А. Бартоломей, А.Н. Богомолов, С.С. Вялов, Я.Д. Гильман, Б.И. Далматов, Б.И. Дидух, В.П. Дыба, Ю.К. Зарецкий, В.А. Ильичев, А.А. Луга, Р.А. Мангушев, Ю.Н. Мурзенко, Л.Н. Папаянц,

Г.М. Скибин, Е.А. Сорочан, С.П. Тимошенко, В.М. Улицкий, С.Б. Ухов, Н.А. Цытович, А. Г. Шашкин, К.Г. Шашкин и др.

Исследования взаимодействия различных видов свай и околосовайного грунта отражены в работах В.И. Феклина, В.А. Смирнова, А.В. Сбитнева, Б.И. Дидука, Л.Н. Панасюка, В.П. Дыбы. В частности, исследования, посвященные винтовым сваям, представлены в трудах Л.И. Качановской, В.И. Клевко, В.С. Щербакова, Р.М. Хафизова. Родоначальником ввинчиваемых свай считают инженера А. Митчела (1833 г.).

Известно более 250 разновидностей свай, отличных друг от друга конструктивно, способом монтажа, применяемыми материалами, способом взаимодействия с основанием. Но, методы устройства свай в «падающем» для окружающих зданий режиме, и обладающих повышенной несущей способностью, изучены недостаточно.

Эти проблемы послужили автору предпосылкой для разработки винтовых свай, обладающих повышенной несущей способностью по грунту.

В результате анализа литературных данных, была сформулирована *рабочая гипотеза*: применение винтовых свай способствует увеличению несущей способности фундамента за счет уплотнения околосовайного грунта и работы винта.

Во второй главе реализован численный метод расчета деформирования околосовайного грунта с учетом его нелинейной зависимости. Моделирование поведения грунта основано на исследованиях И.В. Апаньева по изучению уплотнения грунта с использованием итерационного процесса раскрытия физической нелинейности А.А. Ильюшина. При этом, коэффициенты упругости рассматривают как функции средней деформации и интенсивности деформирования:

$$K = K(\varepsilon_0, \varepsilon_i), \quad G = G(\varepsilon_0, \varepsilon_i), \quad \sigma_0 = 3K\varepsilon_0, \quad \sigma_i = 3G\varepsilon_i, \quad (1)$$

где $\varepsilon_0 = \frac{1}{3}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$; $\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$;

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_x - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2} + \frac{3}{2}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{xz}^2 + \gamma_{yz}^2); \quad (2)$$

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}. \quad (3)$$

Итерационные уравнения краевой задачи записаны в виде:

$$\begin{aligned} A^T D_{0,0} A u_{n+1} &= -\rho + A^T (D_{0,0} - D_{0,n}) A u_n, \quad \in V \\ A_S D_{0,0} A u_{n+1} &= g_s + A_S^T (D_{0,0} - D_{0,n}) A u_n, \quad \in S_1 \\ u_{n+1} - u_n &= 0, \quad \in S_2 \end{aligned} \quad (4)$$

или в приращениях:

$$\begin{aligned} A^T D_{0,0} A \Delta u_{n+1} &= -\rho - A^T D_{0,n} A u_n, \quad \in V \\ A_S^T D_{0,0} A \Delta u_{n+1} &= g_s - A_S^T D_{0,n} A u_n, \quad \in S_1 \\ \Delta u_{n+1} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Вариационная форма, необходимая для построения решения методом конечных элементов, представлена в виде:

$$\begin{aligned} \int_{(V)} (A \delta u)^T D_0 A u dV + \int_{(V)} (A \delta u)^T (D_0 - D_{0,n}) A u_n dV - \\ - \int_{(V)} (\delta u_{n+1}) \rho dV - \int_{(S_1)} (\delta u_{n+1}) g_s dS = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

В формулах (5) и (6) индексами n и $n+1$ обозначен шаг итерационного процесса.

Конкретизация физических зависимостей основана на дробно-линейном законе С.П. Тимошенко:

$$\tau_i = \frac{G_0 \tau_s}{\tau_s + G_0 \gamma_i} \gamma_i, \quad (7)$$

который при использовании критерия Мизеса-Шлейхера-Боткина в формулировке С.С. Вялова окончательно записана в виде:

$$\sigma_0 = \sigma_0(\varepsilon_0; \varepsilon_i) = \frac{3K_0 \varepsilon_s}{\varepsilon_s - \varepsilon_0} \varepsilon_s, \quad (8)$$

$$\sigma_i = \sigma_i(\varepsilon_0; \varepsilon_i) = \frac{\sqrt{3}\gamma_i G_0 \left(\frac{6 \sin \varphi}{3 - \sin \varphi} \left(\sigma_0 + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} \right) \right)}{\left(\frac{6 \sin \varphi}{3 - \sin \varphi} \left(\sigma_0 + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} \right) \right) + \sqrt{3} G_0 \gamma_i}. \quad (9)$$

Разрешающие уравнения МКЭ, согласно методу упругих решений, записаны в виде:

$$\begin{cases} K_{c0} \cdot q_{n+1} + K_{cn} \cdot q_n = \bar{P}, \\ K_{c0} = \int_{(V)} A^T \Phi_0 A dV, \\ K_{cn} = \int_{(V)} A^T \Phi_n A dV, \end{cases} \quad (10)$$

Данный алгоритм внесен, в виде программных модулей, в конечно-элементный комплекс «ПОЛЮС». Рассмотрено уточнение решения (10) с использованием метода продолжения по параметру нагружения. Итерационный процесс может иметь плохую сходимость в том случае, когда рассматриваемое значение нагрузки приводит к существенно нелинейной работе грунта вокруг сваи. Такая нелинейность возникает при приближении нагрузки к предельным значениям, при которых происходит срыв сваи. Для уточнения решения и улучшения сходимости дополнительно в ПК «ПОЛЮС» введен циклический процесс при возрастающей внешней нагрузке на сваю. Нагрузку разбиваем на ряд интервалов и используем метод А.А.Илюшина в пределах каждого интервала. Параметры грунтового массива в начале итерационного процесса при новом шаге по нагрузке вычисляем с учетом определенного на предыдущем уровне НДС.

Процесс решения организован по принципу «цикл в цикле». Внешний цикл организует итерации по возрастающей на сваю нагрузке, а внутренний цикл итерационно уточняет решение для текущего значения нагрузки.

Затем рассмотрена методика определения предельной нагрузки на сваю. В качестве условий предельного состояния фрагмента среды рассмотрены различные критерии:

- критерий Мора (растяжение - сжатие):

$$\sigma_1 - \frac{\sigma_b}{\sigma_{сж}} \sigma_3 = \sigma_b; \quad (11)$$

- критерий Мора (растяжение - сдвиг):

$$\sigma_1 - \frac{\sigma_b - \tau_b}{\tau_b} \sigma_3 = \sigma_b; \quad (12)$$

- критерий Писаренко - Лебедева:

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_{сж}} \sigma_i + \frac{\sigma_{сж} - \sigma_b}{\sigma_{сж}} \sigma_1 = \sigma_b; \quad (13)$$

- критерий Геньева (для бетонов):

$$J_2 \leq \frac{1}{3} [\sigma_{сж} \sigma_b - (\sigma_{сж} - \sigma_b) J_1] \left\{ 1 - \left(1 - \frac{3\tau_b^2}{\sigma_{сж} \sigma_b} \right) \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{J_2}{3} \right)^{-1.5} \right] \right\}; \quad (14)$$

- критерий Балаидина (скальные породы и каменные материалы):

$$J_2 \leq \frac{1}{3} [\sigma_{сж} \sigma_b - (\sigma_{сж} - \sigma_b) J_1]; \quad (15)$$

- критерий Мизеса - Шлейхера - Боткина (для грунтов):

$$\sigma_i = \frac{6 \sin(\varphi)}{3 - \sin(\varphi)} \left[-\sigma_0 + \frac{C}{\tan(\varphi)} \right]; \quad (16)$$

где J_1, J_2, J_3 — инварианты тензора напряжений; σ_i — интенсивность напряжений; σ_c — среднее напряжение; $\sigma_b, \sigma_{сж}, \tau_b$ — предельные значения растягивающих, сжимающих и касательных напряжений соответственно; C — сцепление; φ — угол внутреннего трения.

Учтено различие в моделировании поведения некоторых сред после наступления предельного состояния при сжатии и растяжении. Получены изолинии вертикальных перемещений, в расчетной области тестовых задач, для одиночной сваи с кольцевым ростверком, при увеличении нагрузки (рис. 1). Там же показаны зоны предельного равновесия по гипотезе Мизеса - Шлейхера - Боткина и их развитие при росте нагрузки.

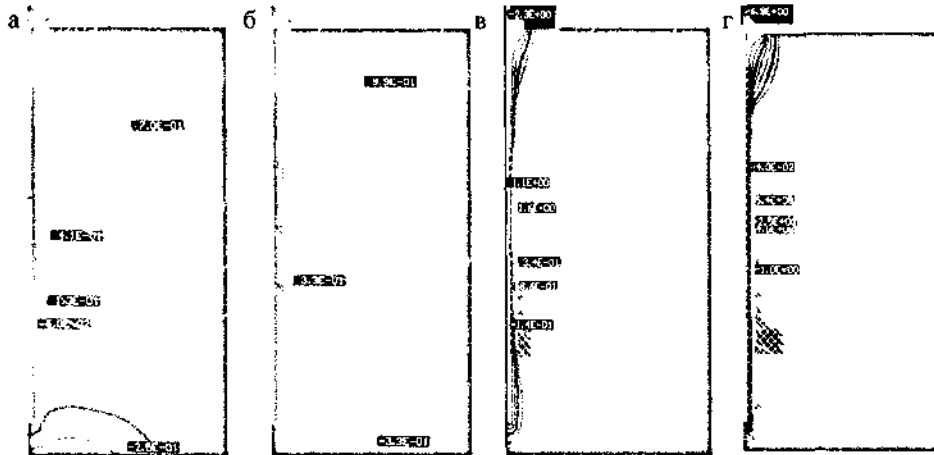


Рис. 1. Изолинии перемещения грунта при нагрузках на сваю: а – $P=200$ кН; б – $P=300$ кН; в – $P=350$ кН; г – $P=400$ кН

В третьей главе выполнены аналитические исследования влияния на несущую способность винтовых свай АКЦИС характеристик профиля и шага винта.

Согласно СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты», для набивных и буровых свай отношение значений расчетных сопротивлений под нижним кошлом (и под нижней гранью резьбы) R и расчетных сопротивлений на боковой поверхности ствола f , при изменении показателя текучести от 0,2 до 0,6 и глубины погружения от 3 до 20 м, изменяется от 13,5 до 52,5 раз.

За основные виды профиля поперечного сечения винта приняты треугольник, трапеция, прямоугольник и полукруг. Получены аналитические зависимости несущей способности по грунту винтовых свай, для расчетных схем (рис. 2) в виде:

$$F_d = \gamma_c \cdot \pi \cdot D^2 \left[\gamma_{cr} \cdot \frac{R}{4} + \gamma_{cr} \cdot R \cdot k_1 \left(\frac{k_1}{\cos \beta} + 1 \right) + \gamma_{cf} \cdot f \cdot 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot \sin \alpha - k_1 \cdot \operatorname{tg} \beta}{\cos \alpha} \right) \right] \quad (17)$$

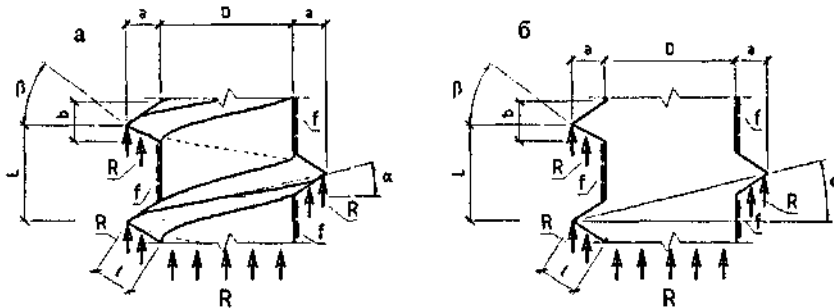


Рис. 2. Расчетная схема в виде участка винтовой сваи конечной длины с треугольным профилем поперечного сечения винта: а - схема работы винтовой сваи, б - разрез ввинчиваемой сваи; где R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи и нижней гранью винта, кПа; f – расчетные сопротивления грунта на боковой поверхности ствола сваи, кПа; L – длина рассматриваемого участка сваи, м; D – диаметр сваи, м; a – высота винта, м; b – ширина основания винта, м; α – угол подъема винта, град; β – угол профиля винта, град.; l – длина стороны поперечного сечения профиля винта, воспринимающая R грунта

В четвертой главе приведены результаты лотковых испытаний моделей винтовых свай, выполненных с целью изучения качественной картины происходящей в грунте вокруг свай.

Эксперимент в лотке позволил получить общую картину деформации околосвайного грунта в процессе погружения сваи и её загрузки эксплуатационными нагрузками. Испытаны модели винтовых свай в масштабах 1:5, 1:4, 1:3 и 1:2. Были использованы общепринятые основы теории моделирования. Модели свай изготовлены из эпоксидной смолы ЭДТ-10, цементно-песчаного раствора с продольным и поперечным армированием и стали (рис. 3). В качестве грунта применен песок фракцией 0,14...0,25 мм, с коэффициентом пористости 0,73, удельным весом 17,2 кН/м³. Вертикальные перемещения свай фиксировались индикаторами часового типа. Вертикальное усилие определялось динамометром ДОСМ -3-1.

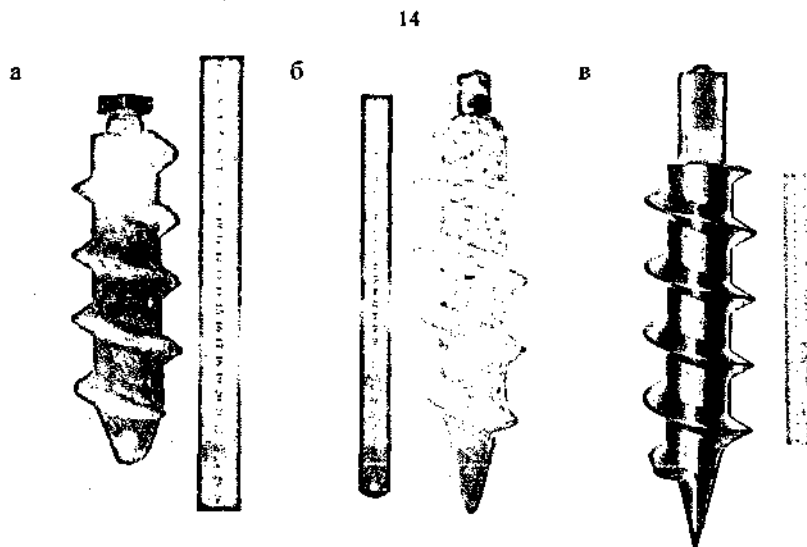


Рис. 3. Модели свай из: а – цементно-песчаного раствора с продольным и поперечным армированием; б – из эпоксидной смолы ЭДТ-10; в – из стали.

Процесс испытания винтовой сваи в лотке включает два этапа.

1. «Монтаж сваи» – на сваю одновременно передают два усилия: крутящий момент и вертикальную силу. Вертикальную силу подают в размере необходимом для погружения сваи ровно на один шаг винта за один оборот.
2. Загружение «эксплуатационной нагрузкой» – на сваю передают только вертикальное усилие, имитирующее эксплуатационную нагрузку.

В результате испытаний получены зависимости перемещений моделей свай АКСИС от вертикальной нагрузки (рис. 4).

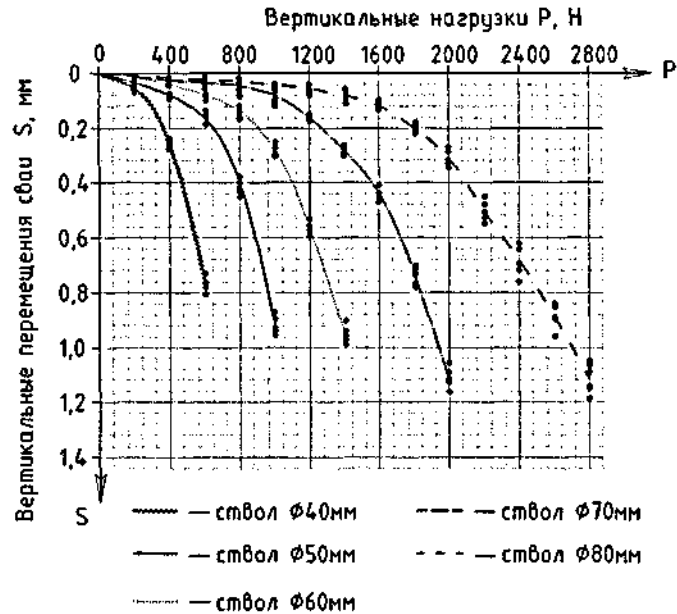


Рис. 4. — Графики зависимости перемещений моделей свай АКСИС от вертикальной нагрузки

В пятой главе в программном комплексе «ПОЛЮС» решена задача определения расчетной несущей способности по грунту винтовой сваи АКСИС в зависимости от изменения ее геометрических параметров. В результате численных исследований получены изолинии нормальных вертикальных напряжений в грунте при загрузке модели сваи, графики зависимости «нагрузка – вертикальное перемещение» винтовых свай, графики сравнения винтовых и цилиндрических свай (рис. 5,6,7).

Для определения факторов, максимально влияющих на эксплуатационные характеристики винтовых свай, в качестве независимых изменяемых факторов приняты: диаметр сваи $X_1=200, 300, 400$ мм, шаг винта треугольного поперечного сечения $X_2=200, 300, 400$ мм, геометрическая высота треугольника, лежащего в поперечном сечении выступа винта $X_3=50, 75, 100$ мм.

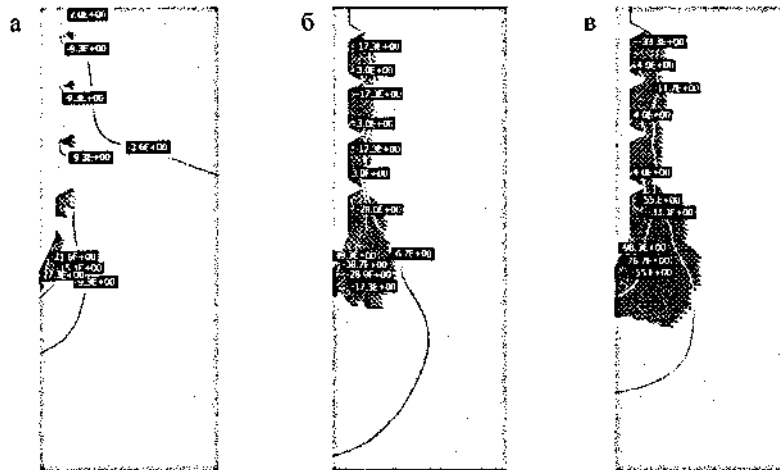


Рис. 5. Изолинии нормальных вертикальных напряжений в грунте при загрузении модели свай АКЦИС (40x300мм) нагрузками, соответственно: а – $P=0,40$ кН; б – $P=0,70$ кН; в – $P=1,0$ кН

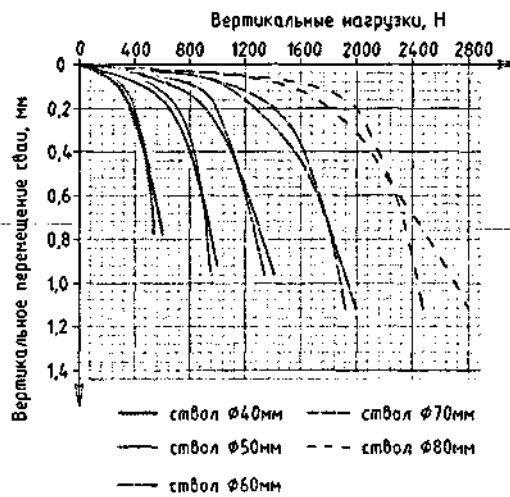


Рис. 6. Графики зависимости «нагрузка – вертикальное перемещение» при сравнительном численном эксперименте (красные) с натурными экспериментами (черные) моделей свай АКЦИС

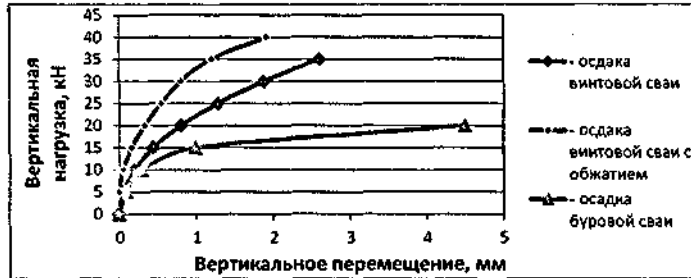


Рис. 7. Сравнение графиков зависимости вертикального перемещения свай

При проведении исследований использован трехфакторный некомпозиционный план Бокса-Бенкина второго порядка типа ВВ-3 с трехкратным дублированием опытов в центральной точке при числе опытов по плану №15. Получен геометрический образ поверхности изучаемой функции отклика (рис. 8).

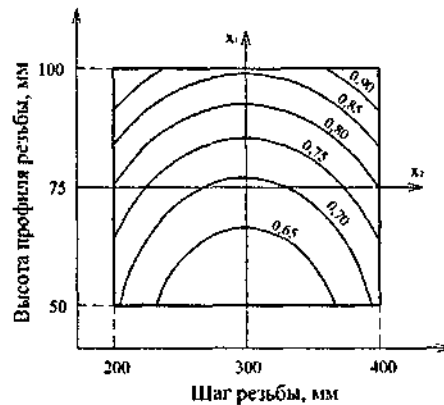


Рис. 8. Геометрический образ функции отклика $N^{II}=f(A; L)$ при диаметре ствола свай равном 300 мм ($\text{const } x_1=0$)

Получен график отношения предельных вертикальных нагрузок и соответствующих им вертикальных перемещений винтовых и цилиндрических свай.

«Седловидный» график показывает, что для достижения одинаковых вертикальных перемещений, при прочих равных условиях к винтовой свае необходимо приложить усилие в 1,98 - 2,21 раза большее, чем к цилиндрической свае такого же диаметра ствола (рис. 9).

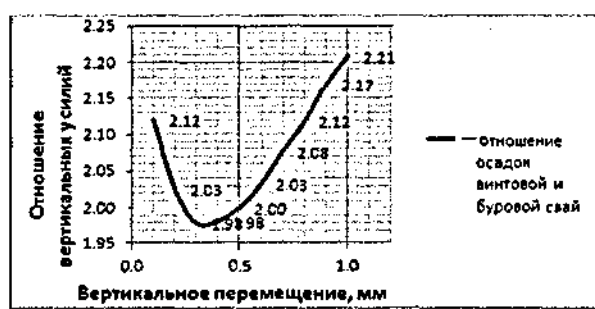


Рис. 9. «Седловидный» график изменения отношения вертикальных усилий

Для определения несущей способности по грунту винтовой сваи АКСИС возможно использовать формулу (11) СНиП 2.02.03-85 с введением поправочного коэффициента, равного двум:

$$F_d = 2 \cdot \gamma_c \cdot \left(\gamma_{cr} \cdot R \cdot A + u \cdot \gamma_{cf} \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot h_i \right). \quad (18)$$

В шестой главе разработана технология изготовления винтовых свай АКСИС в монолитном, сборном и сборно-монолитном видах.

В монолитном виде используют скважинообразователь, который состоит из наконечника, рабочей части и хвостовика, к которому прикрепляют полый вал. Рабочая часть выполнена из полого металлического ствола, на котором устроен винт. К нижнему торцу рабочей части крепят отбрасываемый стальной накопечник, а верхнему – хвостовик. Скважинообразователь погружают в грунт до проектной отметки под действием вращательной нагрузки и вертикальной силы. Затем по полному валу подают бетонную смесь, которая заполняет образованную скважину по мере извлечения скважинообразователя

(рис. 10, а). Возможно устройство инъекционной разновидности монолитных свай при подаче в образованную скважину бетонной смеси под давлением достаточным для разрушения структуры грунта в местах концентрации напряжений по вершинам профиля винта (рис. 10, б)

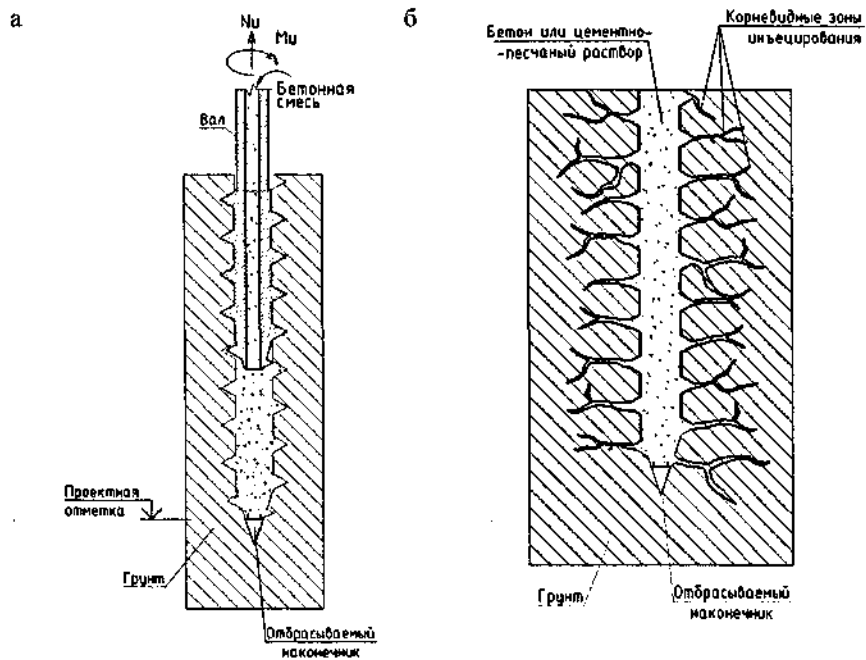


Рис. 10. Монолитный вид свай АКСИС: а – изготовление;

б – инъекционная разновидность

Сборный вид свай АКСИС изготавливают в заводских условиях и погружают на строительной площадке буровой установкой, оснащенной специальным устройством, передающим крутящий момент и вертикальную силу на сваю. Сваю ввинчивают до проектной отметки (рис. 11, а).

Сборно-монолитный вид винтовых свай АКСИС разработан для структурно-неустойчивых грунтов. Скважинообразователь изготавливают на заводе из железобетона. На строительной площадке скважинообразователь ввинчивают в грунт до проектной отметки буровой установкой с помощью

полого вала и с применением обсадной трубы. Затем через полый вал подают бетонную смесь, которая заполняет обсадную трубу по мере извлечения вала (рис. 11 б, в)

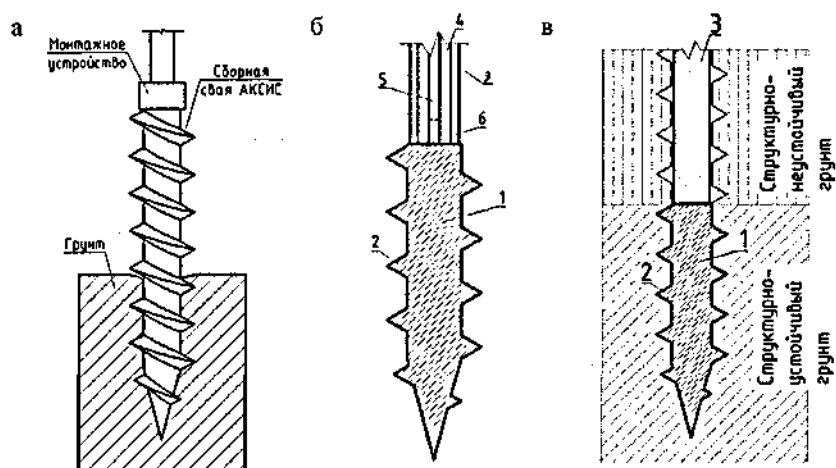


Рис. 11. Сборный и сборно-монолитный виды свай АКСИС: а – монтаж сборного вида; б – разрез сваеобразователя с хвостовиком; в – готовая свая в структурно-неустойчивом грунте, где 1 – сваеобразователь, 2 – резба, 3 – обсадная труба, 4 – стальной вал, 5 – полость в стальном вале, 6 – замок крепления

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан численный метод определения предельной нагрузки на винтовые сваи с учетом особенностей передачи усилий от свай на грунт с использованием метода конечных элементов в сочетании с методом продолжения по параметру нагружения.
2. В разработанном методе реализовано предварительное обжатие грунта при ввинчивании свай.
3. Модернизирован алгоритм расчета для автоматизации выбора приращения шага нагружения свай до образования в грунте новой

- зоны предельного состояния с учетом его физической и геометрической нелинейности.
4. В рамках предлагаемого метода расчета несущей способности свай по грунту реализованы различные известные гипотезы прочности грунта и выполнены численные эксперименты.
 5. Выполнена серия модельных экспериментов для подтверждения результатов численных исследований.
 6. Сопоставление результатов численных и лотковых испытаний позволило подтвердить возможность использования критерия Мизеса-Шлейхера-Боткина при расчете несущей способности свай с учетом предварительного обжатия грунта.
 7. Обосновано экспериментально и теоретически применение винтовых свай в качестве фундаментов повышенной несущей способности в разработанной автором конструкции.
 8. Систематизация результатов численного анализа позволила выявить закономерности изменения несущей способности винтовой свай по грунту от геометрических характеристик свай.
 9. Предложена методика расчета несущей способности винтовой свай путем введения корреляционного коэффициента равного двум в общепринятую для набивных свай формулу (11) СНиП 2.02.03-85.
 10. Разработаны технологии изготовления монолитных, сборных и сборно-монолитных винтовых свай АКСИС.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:**- в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. **Акопян В.Ф.** Новые виды свай //Панасюк Л.Н., Акопян А.Ф., Хо Чантха// Инженерный Вестник Дона [Электронный ресурс], 2011 №2. Режим доступа: <http://ivdon.ru>.
2. **Акопян В.Ф.** Итерационные методы определения предельных нагрузок на фундаменты свайных типов на примере усиления здания в г. Белово Кемеровской области с учетом материалов мониторинга технического состояния. / Хо Чантха// Глобальный научный потенциал.- Санкт-Петербург. 2012. №1.
3. **Акопян В.Ф.** Испытания моделей винтовых свай. Инженерный Вестник Дона [Электронный ресурс], 2012. № 1, Режим доступа: <http://ivdon.ru>.
4. **Акопян В.Ф.** Экспериментально-теоретическое обоснование возможности использования ввинчиваемых свай в качестве армоэлементов/ Четвериков А.Л., Конопацкий С.А.// Перспективы науки. 2012. №2.
5. **Акопян В.Ф.** Численная оценка НДС конструкции по результатам геодезических наблюдений за деформациями здания / Хо Чантха, Зотова Е.В., Гусаренко С.П. // «Вестник ТГАСУ», 2012. № 1
6. Патент на полезную модель № 98430 U1 от 20.10.2010; Винтовая свая
7. Патент на полезную модель № 100096 U1 от 10.12.2010; Устройство для изготовления монолитной бетонной сваи.
8. Патент на полезную модель № 102631 U1 от 10.03.2011; Винтовая свая

- в других изданиях:

9. **Акопян В.Ф.** Сравнительный анализ результатов расчетов по схеме линейно-деформируемого слоя и модели Кулона-Мора в реализации МКЭ/ Приходченко О.Е., Четвериков А.Л.// Материалы Международной научно-практической конференции «Строительство – 2009». Ростов н/Д: Рост. гос. строит., ун-т, 2009.
10. **Акопян В.Ф.** Новые конструкции винтовых свай/ Семененко А.И.// Ма-

териалы Юбилейной международной научно-практической конференции «Строительство – 2011». Ростов н/Д: Рост. гос. строит., ун-т, 2011.

11. Акопян В.Ф. Различия в работе буровых и винтовых свай/ Панасюк Л.Н., Семенов А.И., Акопян А.Ф.// Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции «Строительство – 2011». Ростов н/Д: Рост. гос. строит., ун-т, 2011.

12. Акопян В.Ф. Набивная свая / Панасюк Л.Н., Семенов А.И., Акопян А.Ф.// Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции «Строительство – 2011». Ростов н/Д: Рост. гос. строит., ун-т, 2011.

13. Акопян В.Ф. Моделирование несущей способности ввинчиваемых свай// Научно-технический журнал «Известия Ростовского государственного строительного университета», 2010. №14.

14. Акопян В.Ф. Фундаменты из ввинчиваемых свай повышенной несущей способности / Четвериков А.Л., Труфанова Е.В., Акопян А.Ф.// Материалы седьмого всероссийского конкурсного отбора инновационных проектов студентов, аспирантов и молодых ученых. М.: РГУИТП, 2012.

Печать цифровая. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Формат 60x84/16. Объем 1,0 уч.-изд.-л.

Заказ № 2633 Тираж 100 экз.

Отпечатано в КМЦ «КОПИЦЕНТР»

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Суворова, 19, тел. 247-34-88

2012A
10981

12-1098 1