

УДК 624.154

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-98-111

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ СО СТАЛЕБЕТОННЫМИ ОГОЛОВКАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

И. Г. Азов¹, М. Б. Мариничев¹, П. А. Ляшенко¹, В. В. Денисенко²

¹Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина,
г. Краснодар, Россия,

²Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия

Аннотация. Развитие методов проектирования свайных фундаментов из буроинъекционных свай для зданий и сооружений позволяет расширить область их применения в сложных инженерно-геологических условиях строительства. Формирование тела таких свай в ряде случаев производится с помощью полых трубчатых винтовых штанг с перфорированной буровой коронкой на конце. Тогда при действии значительных горизонтальных нагрузок свая обладает недостаточной прочностью и изгибной жесткостью, и ее верхний участок не может работать эффективно. В настоящее время вопросам расчета и конструирования таких буроинъекционных свай в составе свайных фундаментов при доминирующем действии горизонтальных нагрузок уделено недостаточно внимания, что обосновывает необходимость проведения соответствующих исследований. В результате проведенных исследований представлено научное обоснование новой конструкции буроинъекционной сваи, выполняемой с использованием трубчатых винтовых штанг и сталебетонного оголовка, а также усовершенствован подход к определению ее несущей способности при преобладающем воздействии горизонтальных нагрузок.

Ключевые слова: буроинъекционная свая, неизвлекаемые трубчатые штанги, свайный фундамент, повышенная несущая способность, сталебетонный оголовок

CALCULATION JUSTIFICATION FOR THE USE OF BORED INJECTION PILES WITH STEEL-CONCRETE HEADS UNDER THE ACTION OF HORIZONTAL LOADS

I. G. Azov¹, M. B. Marinichev¹, P. A. Lyashenko¹, V. V. Denisenko²

¹I. T. Trubilina Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia,

²Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Annotation. The development of design methods for pile foundations using bored injection piles for buildings and structures makes it possible to expand their application in complex engineering and geological construction conditions. In a number of cases, the formation of the pile body is carried out using hollow tubular screw rods with a perforated drill bit at the end. Under the action of significant horizontal loads, such a pile has insufficient strength and flexural rigidity, and its upper section cannot function effectively. At present, insufficient attention has been paid to the analysis and structural design of such bored injection piles within pile foundations subjected predominantly to horizontal loads, which substantiates the need for corresponding research. As a result of the research, a scientific justification for a new design of a bored injection pile made using tubular screw rods and a steel-concrete head is presented, as well as an improved approach to determining its bearing capacity under the prevailing impact of horizontal loads.

Keywords: bored-injection pile, non-removable tube rod, pile foundation, increased bearing capacity, steel-concrete head

Введение

В последние десятилетия активно развиваются технологии устройства фундаментов зданий и сооружений с применением буроинъекционных свай (БИС) с использованием трубчатых винтовых штанг (ТВШ), что позволяет существенно расширить область их использования в сложных инженерно-геологических и сейсмически активных районах строительства. Особенно эффективным оказалось применение инъекционных свай при усилении и реконструкции существующих зданий, где они используются в качестве элементов, воспринимающих вертикальные сжимающие и горизонтальные нагрузки. Высокая эффективность таких решений обусловлена возможностью передачи значительных усилий при минимальном воздействии на грунтовый массив и отсутствии вибрационных воздействий в процессе монтажа.

Технология БИС прошла длительный этап развития и совершенствования. Первые конструкции корневидных свай («palo radice» или «root pile») были разработаны в Италии в 1950-х гг. компанией Fondedile под руководством Fernando Lizzi для усиления фундаментов зданий и памятников архитектуры, поврежденных в период после Второй мировой войны [1]. Концепция заключалась в работе сваи по аналогии с корневой системой дерева – передача нагрузки происходила преимущественно за счет бокового трения и сцепления с грунтом. Благодаря малому диаметру и возможности устройства под различными углами технология оказалась эффективной в стесненных условиях городской застройки. В нашей стране первые исследования и опыт применения БИС относятся к 1960-1980 гг. Развитие технологии основывалось на зарубежном опыте и работах Джантимирова Х. А. и Федорова Б. С., предложивших устройство свай в пробуренных скважинах диаметром 80-250 мм [2]. Существенным этапом стало формирование нормативной базы: в 1970-1980 гг. появились первые рекомендации по расчету и устройству БИС, а в СП 24.13330.2021 был официально закреплён способ устройства буровых свай методом инъекции мелкозернистой бетонной смеси с использованием ТВШ [7]. В дальнейшем исследования, проведенные российскими и зарубежными учеными, подтвердили высокую несущую способность БИС при действии вертикальных нагрузок и эффективность технологии в сложных инженерно-геологических условиях [2].

Однако несмотря на широкое распространение и технологические преимущества, применение БИС с ТВШ в пылевато-глинистых грунтах сопровождается рядом конструктивных ограничений. Основным недостатком является низкая несущая способность верхней части сваи при воздействии горизонтальных сейсмических и динамических нагрузок, а также ограниченная трещиностойкость железобетонного ствола. Данные недостатки обусловлены отсутствием пространственного жесткого арматурного каркаса

либо сплошного внешнего армирования, вследствие чего верхний участок свай недостаточно эффективно воспринимает горизонтальные и сейсмические воздействия.

Цель проведенных исследований заключалась в научном обосновании новой конструкции БИС с ТВШ со сталебетонным оголовком и совершенствовании подхода к определению ее несущей способности при преобладающем воздействии горизонтальных нагрузок. Разрабатываемые решения ориентированы на повышение устойчивости и эксплуатационной надежности фундаментов зданий и сооружений, возводимых на пылевато-глинистых грунтах.

В ходе исследований проанализированы конструкции и методы расчета несущей способности буроинъекционных свай при вертикальных и горизонтальных нагрузках; разработана конструкция буроинъекционной свай со сталебетонным оголовком для работы при преобладающем горизонтальном нагружении; предложена технология устройства исследуемых свай в пылевато-глинистых грунтах; проведены натурные испытания свай со сталебетонным оголовком; выполнено численное моделирование взаимодействия свай с глинистым грунтом и установлено влияние длины оголовка на несущую способность; разработан аналитический метод расчета свай при горизонтальном нагружении [7–10].

Методы исследований

Для решения проблемы недостаточной несущей способности буроинъекционных свай при действии горизонтальных нагрузок авторами настоящей статьи был разработан ряд эффективных технических решений, позволяющих существенно повысить сопротивление буроинъекционных свай при доминирующем действии на них горизонтальных нагрузок [3–6]. Одно из решений, далее рассматриваемое в настоящей работе, приведено на рис. 1.

Для повышения эффективности свай в слабых грунтах предложено техническое решение с усиленным сталебетонным оголовком, предназначенным для восприятия горизонтальных и сейсмических нагрузок. Технология включает поэтапное бурение скважины с одновременным погружением полых металлических винтовых штанг, соединяемых муфтами. Через внутреннюю полость штанги под высоким давлением подается мелкозернистый бетон. Верхняя часть свай усиливается металлическим оголовком длиной от 1,0 до 3,0 м, выполненным из полой трубы диаметром d_H . Нижняя часть оголовка представляет собой усеченный конический патрубок длиной L_K с наружным диаметром d_H . Внутри размещена соединительная муфта диаметром d_C для соединения с буроинъекционной штангой. После установки оголовков заполняют бетоном и устраивают арматурные выпуски, обеспечивающие жесткое сопряжение с фундаментной плитой (М. Б. Мариничев, И. Г. Азов и др., 2025 г.) [4] (рис. 1).

На рис. 2 представлены изготовленные стальные оголовки для дальнейшего устройства свай и проведения их натурных испытаний. В ходе исследований проведены натурные испытания полноразмерных БИС с ТВШ длиной $L = 9,0$ м. Испытания проводились для свай со сталебетонными оголовками длиной $L_H = 1,0; 2,0$ и $3,0$ м при диаметре оголовка $d_H = 0,325$ м, а также для рядовой сваи без оголовка на опытной площадке.

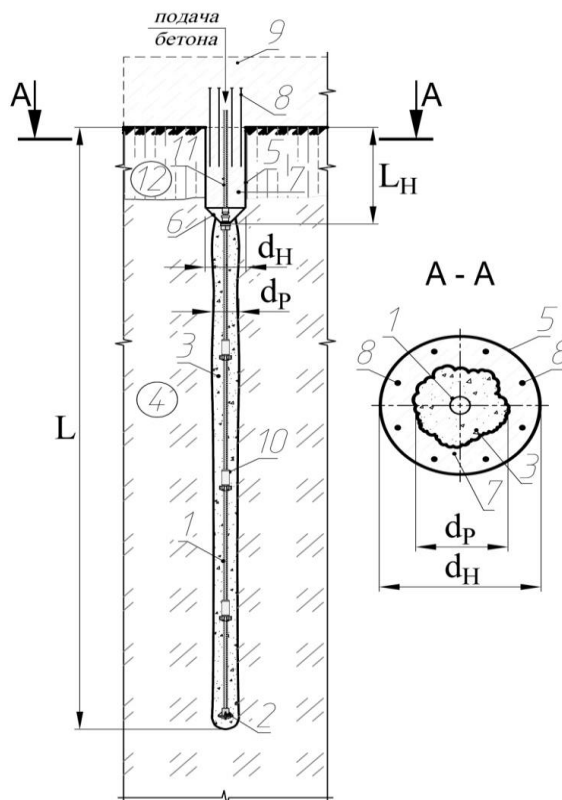


Рис. 1. Схема БИС повышенной несущей способности со сталебетонным оголовком по данным [4]:

- 1 – буринъекционная штанга; 2 – буровая коронка; 3 – бетон; 4 – прочный грунт;
5 – полая стальная труба; 6 – переходная коническая муфта; 7 – бетон;
8 – арматурные выпуски; 9 – фундаментный ростверк; 10 – соединительная муфта;
11 – технологическая штанга; 12 – слабый грунт

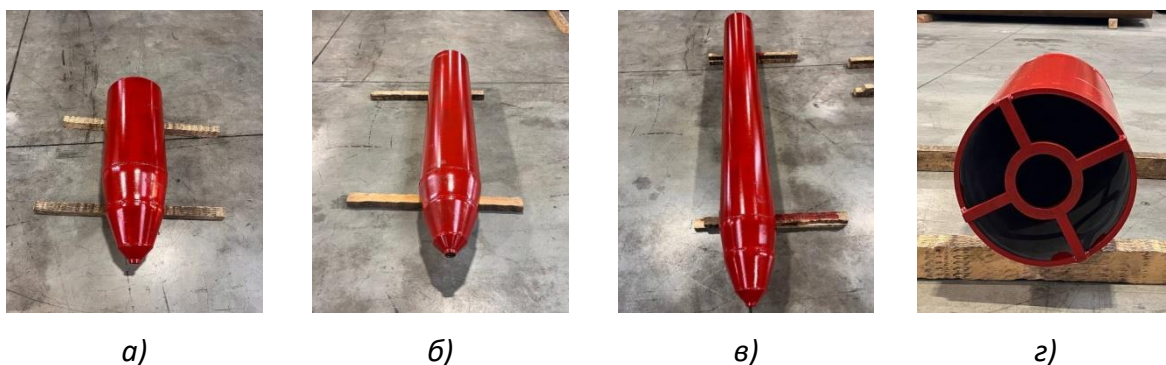


Рис. 2. Изготовленные стальные оголовки разной длины:
а – 1,0 м; б – 2,0 м; в – 3,0 м; г – крестообразный центратор

Выбор опытной площадки обусловлен преобладанием в основании пылевато-глинистых грунтов, характерных для сейсмоактивных районов Юга России (рис. 3). Основные физико-механические характеристики грунтов приведены в табл. 1.

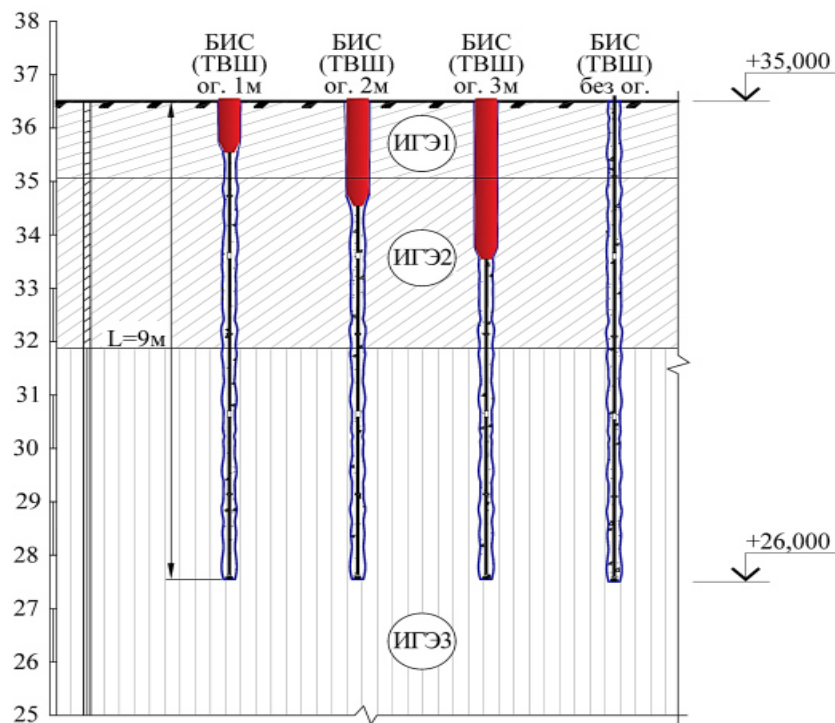


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез опытной площадки, совмещенный с исследуемыми сваями

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунтов

Наименование ИГЭ	ρ , г/см ³	E , МПа	C , кПа	ϕ , град
Глина мягкопластичная	1,85	5,1	22	12
Глина тугопластичная	1,89	6,9	24	15
Глина тугопластичная	1,97	9,4	28	17

В ходе натурных экспериментов была разработана технологическая последовательность устройства буройнъекционных свай со сталебетонным оголовком, которая обеспечила соблюдение наиболее важных конструктивных параметров сваи в грунте после ее выполнения. В зависимости от физико-механических характеристик верхнего слабого слоя грунта, последовательность изготовления сваи предусматривает различное количество этапов. Параметрами, определяющими разновидность применяемой технологии устройства сваи и сталебетонного оголовка, являются модуль деформации верхнего слабого слоя ($E < 5$ МПа; $E \geq 5$ МПа), степень водонасыщения S_r и показатель текучести I_L в зависимости от вида грунта. При E не менее 5,0 МПа предусматривается предварительное бурение лидерной скважины на 25–50 мм больше диаметра оголовка L_H (рис. 4).

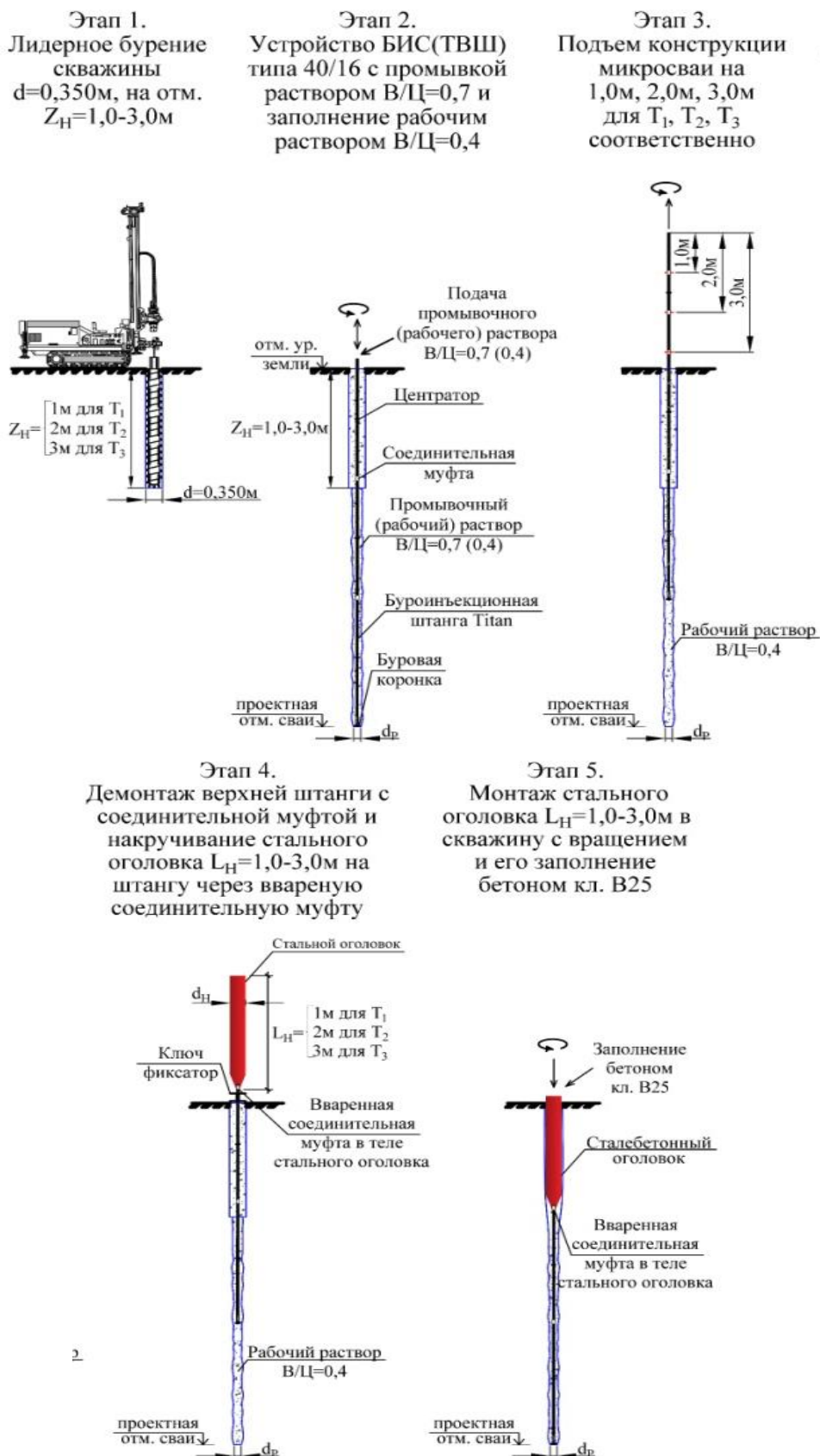


Рис. 4. Разработанная технологическая последовательность устройства БИС с ТВШ со сталебетонными оголовками разной длины

Для проведения экспериментальных исследований была разработана программа испытаний буроинъекционных свай вертикальными и горизонтальными нагрузками (рис. 5). Приняты следующие обозначения опытных образцов: T_0 – свая без оголовка; T_1 – с оголовком длиной 1 м; T_2 – 2 м; T_3 – 3 м. Критерием условной стабилизации деформаций считалась скорость перемещения головы сваи не более 0,1 мм за 120 минут наблюдений на каждой ступени нагружения (рис. 5). Результаты испытаний приведены на рис. 6.



Рис. 5. Конструкции стендов для испытаний БИС с ТВШ:

а – для испытаний вертикальной вдавливающей нагрузкой;

б – для испытаний горизонтальной нагрузкой

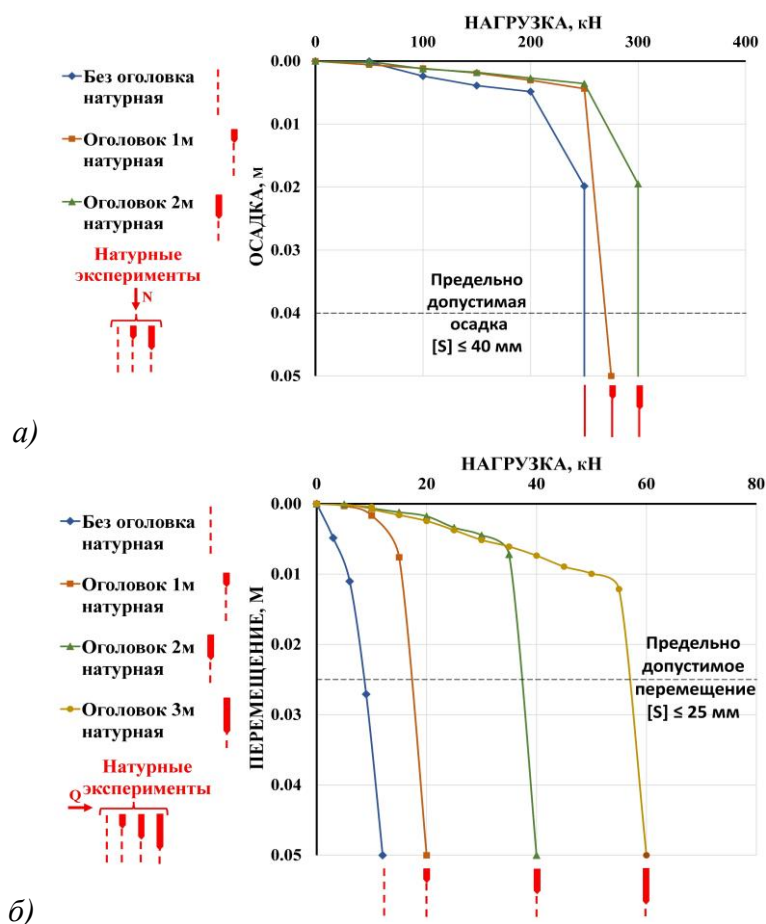


Рис. 6. Графики зависимости нагрузка-осадка по результатам натуральных испытаний БИС с ТВШ: а – при действии вертикальной вдавливающей нагрузки; б – при действии горизонтальной нагрузки

Далее задача рассмотрена в ходе численных исследований. Границы расчетной области приняты $10 \times 10 \times 15$ м. Подготовлены четыре расчетные схемы свай с длиной сталебетонных оголовков $L_H = 1,0; 2,0$ и $3,0$ м, а также схема рядовой сваи без оголовка (рис. 7). Диаметр оголовка принят $0,325$ м, общая длина свай $L = 9$ м (включая оголовок). Принятые свойства грунтов указаны в табл. 1. Характеристики материалов конструкции сваи приняты: для металлического оголовка и внутренней металлической штанги – $E = 210$ ГПа; $\nu = 0,3$; $\gamma = 78,5$ кН/м³; для заполнения оголовка и рабочего тела сваи бетон – $E = 30$ ГПа; $\nu = 0,2$; $\gamma = 25$ кН/м³.

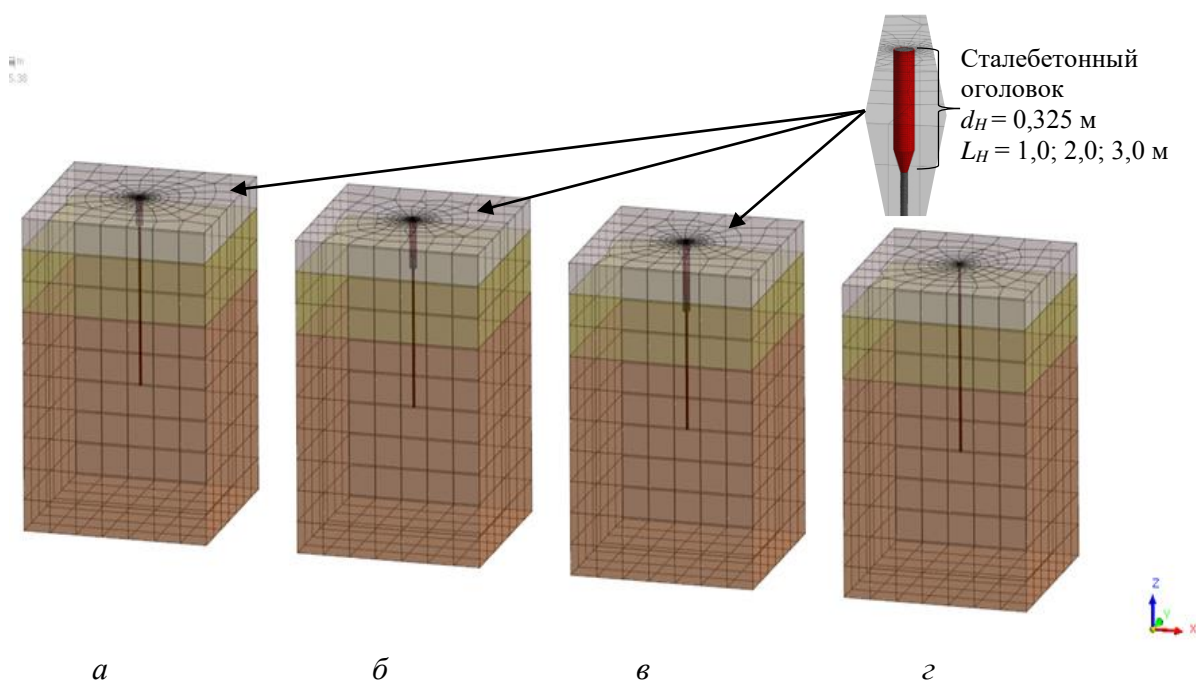


Рис. 7. Расчетные модели БИС с ТВШ с усиленными оголовками длиной:
 $a - 1$ м; $b - 2$ м; $v - 3$ м; $z -$ без оголовка

По результатам расчетов построен график зависимости «нагрузка–осадка» при действии вертикальной и горизонтальной силы, результаты сопоставлены с данными натурных экспериментов (рис. 8).

Проведённые численные и экспериментальные исследования подтвердили эффективность устройства сталебетонного оголовка для повышения сопротивления сваи горизонтальной и вертикальной нагрузке, также установлено влияние длины оголовка на итоговый результат, при этом получена хорошая сходимость качественных и количественных результатов.

Для оценки работы буроинъекционных свай при действии горизонтальной нагрузки разработан аналитический метод, основанный на рассмотрении предельного состояния грунта вокруг сваи и выполнении условий статического равновесия системы «свая–грунтовое основание». Метод предназначен для расчета свай как без уширенного оголовка, так и со сталебетонным оголовком различной длины.

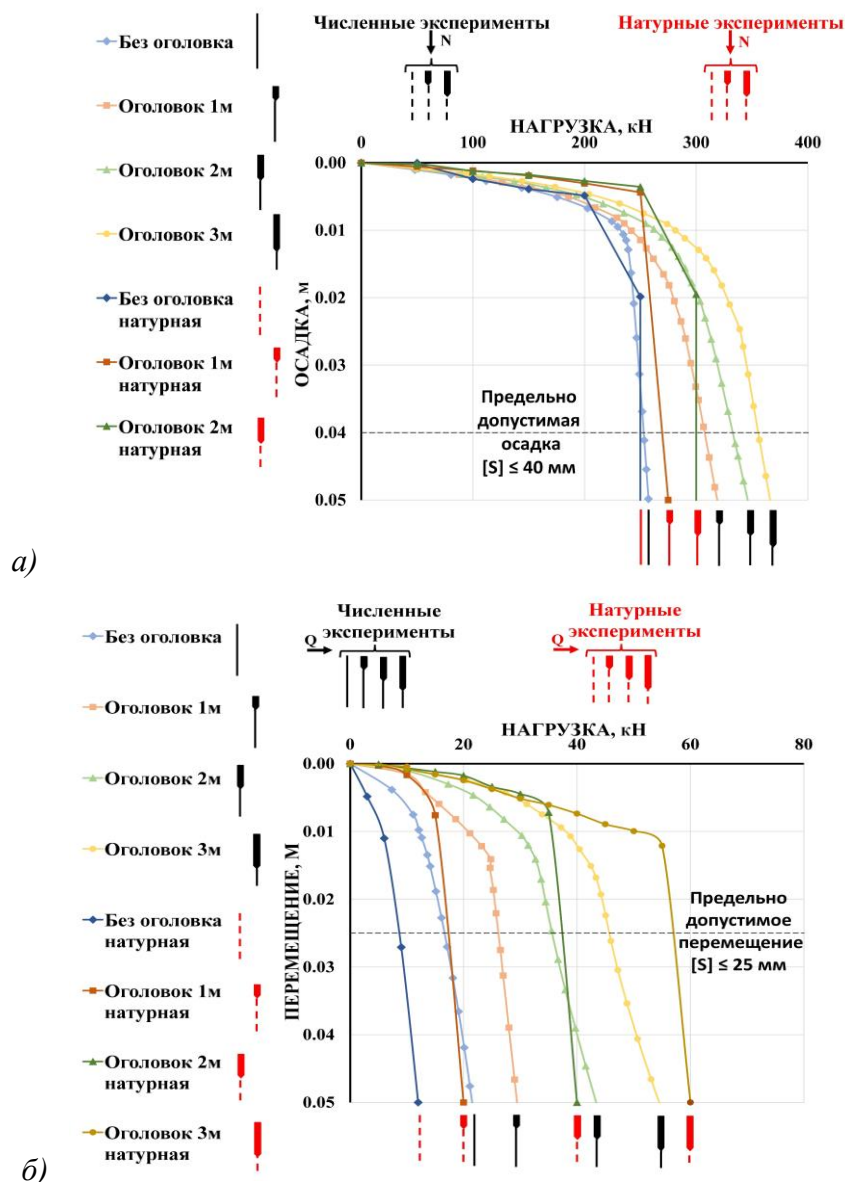


Рис. 8. Сопоставление результатов натуральных испытаний с результатами численного моделирования:

a – при действии вертикальной вдавливающей нагрузки;
б – при действии горизонтальной нагрузки

В расчетной схеме свая рассматривается как абсолютно жесткий стержень, поворачивающийся относительно некоторой точки, расположенной в пределах ее длины. Горизонтальная нагрузка, приложенная к голове сваи, воспринимается за счет пассивного давления грунта, формирующегося на боковой поверхности ствола.

Распределение контактного давления грунта принимается линейным по глубине в соответствии с положениями механики грунтов (Н. А. Цытович, 1983). Пассивное давление на малых глубинах определяется выражением:

$$\sigma_y = \gamma z \xi, \quad (1)$$

где σ_y – пассивное давление, кПа; γ – удельный вес грунта; кН/м³, z – глубина расчётной точки от дневной поверхности площадки, м, а коэффициент бокового давления – ξ определяется по формуле:

$$\xi = \operatorname{tg}^2(\pi/4 + \varphi/2), \quad (2)$$

где φ — угол внутреннего трения грунта. В рамках принятой модели предполагается, что нормальные контактные напряжения обращаются в нуль в трех характерных точках: у поверхности грунта, в точке поворота сваи и у ее нижнего конца. Такое допущение связано с локальным разрушением грунта в зонах концентрации напряжений и потерей сопротивления вследствие сдвига.

$$z = 0, \quad \sigma_p = 0; \quad (3)$$

$$z = l_0, \quad \sigma_p = 0; \quad (4)$$

$$z = L, \quad \sigma_p = 0, \quad (5)$$

где L — глубина нижнего конца сваи; l_0 – глубина точки поворота C .

Эпюра контактных давлений по длине сваи принимается кусочно-линейной (рис. 9).

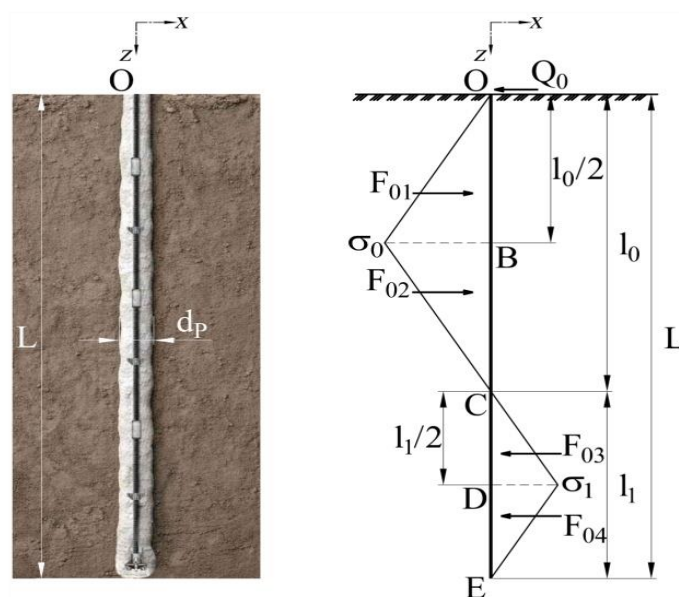


Рис. 9. Расчетная схема висячей сваи без оголовка для определения сопротивления при действии горизонтальной нагрузки

Максимальные значения давления формируются в средних частях участков OC и CE , расположенных выше и ниже точки поворота C . Наклон линейных участков эпюры определяется величиной $\gamma\xi$. Для участков сваи без оголовка контактные напряжения в точках B и D определяются по формулам:

$$\sigma_0 = \gamma\xi l_0/2, \quad (6)$$

$$\sigma_1 = \gamma\xi l_1/2, \quad (7)$$

где $l_1 = L - l_0$.

Для свай со сталебетонным оголовком дополнительно учитывается изменение контактного давления в пределах усиленной части конструкции. Интенсивность отпора грунта определяется с учетом геометрических параметров оголовка и ствола сваи (рис. 10).

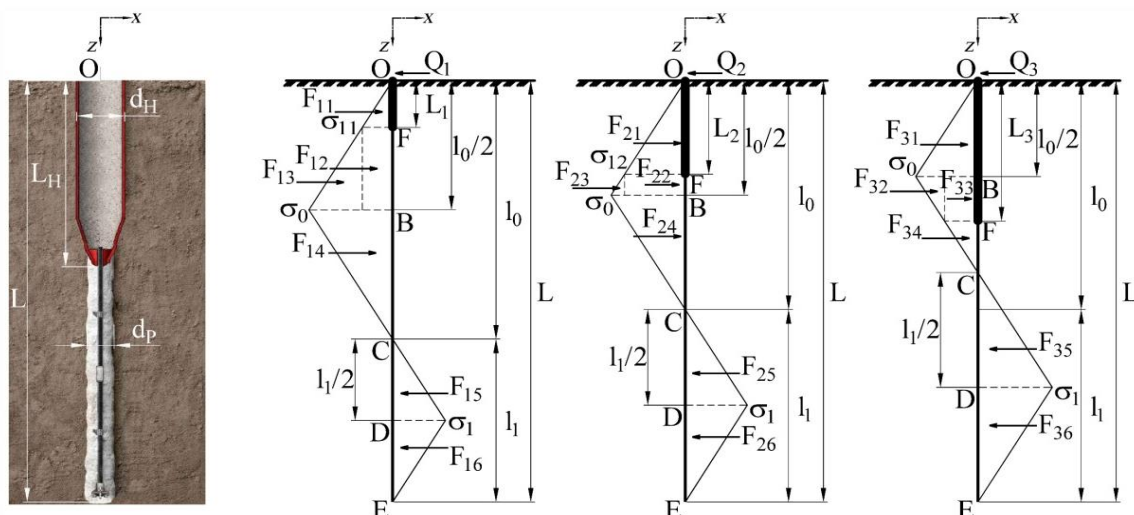


Рис. 10. Расчетная схема исследуемых БИС с ТВШ для определения сопротивления при действии горизонтальной нагрузки:

a – обозначения геометрических параметров сваи; *б, в* – расчетные схемы для свай с оголовками длиной $L_H = 1,0$ и $2,0$ м; *г* – для $L_H = 3,0$ м

Предельная горизонтальная нагрузка определяется из системы уравнений статического равновесия:

$$\begin{cases} \sum F = 0 \\ \sum M_C = 0 \end{cases}, \quad (8)$$

где $\sum F$ — равенство горизонтальных сил, выраженных через реакции пассивного давления грунта, действующих на сваю, кН; $\sum M_C$ — равенство моментов горизонтальных сил относительно точки поворота *C*, кНм.

Реакции грунта F_i определяются по участкам эпюры контактного давления как произведение площади соответствующей геометрической фигуры на характерный поперечный размер элемента — диаметр ствола сваи d_P или оголовка d_H . Такой подход позволяет перейти от распределённого давления к эквивалентным сосредоточенным реакциям грунта.

При составлении уравнения моментов горизонтальных сил относительно точки поворота *C* реакции грунта, соответствующие простым геометрическим фигурам, умножаются на плечи сил, определяемые как расстояния от центров тяжести этих фигур до точки поворота оси сваи.

В зависимости от длины сталебетонного оголовка L_H рассматриваются различные расчетные схемы. Для свай без оголовка, а также для свай с различной длиной оголовков выражены системы уравнений, позволяющие определить предельную горизонтальную нагрузку и положение точки поворота:

– для свай без оголовка:

$$\begin{cases} A_P \frac{l_0^2 - l_1^2}{2} = Q \\ \frac{A_P}{4l_0} (l_0^3 + l_1^3) = Q \end{cases} \quad (9)$$

– для свай с оголовком длиной $L_H < 3,0$ м:

$$\begin{cases} (A_H - 2A_P + 1)L_H^2 + l_0(A_P - 1)L_H + \frac{1}{2}(l_0^2 - l_1^2) = Q \\ \frac{1}{l_0} \left[(A_H - A_P) \left(l_0 L_H^2 - \frac{2}{3} L_H^3 \right) + \frac{A_P}{4} (l_0^3 + l_1^3) \right] = Q \end{cases} \quad (10)$$

– для свай с оголовком длиной $L_H = 3,0$ м:

$$\begin{cases} A_H \left(3L_H^2 - 2l_0 L_H + \frac{l_0^2}{2} \right) + A_P \left(l_0 L_H - L_H^2 - \frac{l_1^2}{2} \right) = Q \\ \frac{A_H}{6l_0} (2l_0^3 - 9l_0^2 L_H + 18l_0 L_H^2 - 8L_H^3) + A_P \left(\frac{2L_H(l_0 - L_H)^2}{3l_0} + \frac{l_1^3}{4l_0} \right) = Q \end{cases} \quad (11)$$

Для упрощения записи вводятся множители A_H и A_P , кН/м²:

$$A_H = \frac{\gamma \xi d_H}{2}, \quad (12)$$

$$A_P = \frac{\gamma \xi d_P}{2}, \quad (13)$$

где d_H – диаметр сталебетонного оголовка; d_P – диаметр ствола сваи.

Решение задачи выполняется итерационным подбором положения точки поворота l_0 в системах уравнений (9)–(11). Расчет считается завершенным при выполнении условия равенства значений горизонтальной силы, полученных из уравнений равновесия (8).

Результаты исследований

Проведенные расчеты и испытания показали, что наличие сталебетонного оголовка существенно повышает сопротивление свай горизонтальным нагрузкам. Для исследуемых конструкций свай с оголовками длиной от 1 до 3 м в рамках расчета по разработанному аналитическому методу увеличение сопротивления свай при действии на нее горизонтальной силы составило от 1,2 до 4,5 раз соответственно по сравнению со сваями без оголовка.

Полученные результаты подтверждают эффективность применения сталебетонных оголовков для повышения сопротивления БИС с ТВШ горизонтальным нагрузкам и могут быть использованы при проектировании фундаментов зданий и сооружений, испытывающих такие виды воздействий.

В результате проведенных натурных, экспериментальных и численных исследований предложена и запатентована новая конструкция свай для использования при строительстве фундаментов зданий и сооружений на

площадках при доминирующем действии расчетных горизонтальных нагрузок, разработана технология устройства буроинъекционной сваи в слабых грунтах с соблюдением выполнения ее наиболее важных технических параметров, проведены натурные испытания исследуемых свай на действие вертикальных и горизонтальных нагрузок, установлено влияние длины оголовка на увеличение сопротивления сваи действующей горизонтальной нагрузке, разработан аналитический метод расчета предельной горизонтальной нагрузки на сваю с учетом устройства в ее верхней части сталебетонного оголовка.

Разработанные технические решения были внедрены в практику строительства при возведении здания в г. Сочи на площадке с высокой сейсмичностью в 9 баллов.

Обсуждение и выводы

Разработанная и внедренная конструкция буроинъекционной сваи со сталебетонным оголовком, предназначенная для работы в условиях доминирующего действия горизонтальных нагрузок, в том числе на слабых пылеватоглинистых грунтах и в сейсмических районах, получила достаточное расчетное и экспериментальное обоснование. Конструкция предусматривает устройство в верхней части сваи усиливающего оголовка из полрой металлической трубы, что позволяет снизить изгибные деформации и повысить несущую способность сваи по двум группам предельных состояний. Экспериментальные исследования показали, что применение оголовка увеличивает сопротивление горизонтальной нагрузке в 2,5–4,5 раза, и вертикальной сжимающей нагрузке — на 20 % – 28 % (для исследованных длин свай), что обеспечивает возможность сокращения количества свай в свайном поле и повышения экономической эффективности строительства.

Проведенные численные и аналитические исследования подтвердили эффективность разработанного решения и выявили зависимость несущей способности сваи от длины сталебетонного оголовка. Установлено, что увеличение длины оголовка с 1 до 3 м приводит к росту сопротивления сваи при действии горизонтальной нагрузки на 50 % – 80 %, а результаты расчетов и натурных испытаний показали расхождение не более 15 %. Разработан аналитический метод расчета несущей способности буроинъекционной сваи со сталебетонным оголовком, позволяющий определять предельно допустимую горизонтальную нагрузку с учетом геометрических параметров конструкции.

Практическое внедрение разработанных свай подтвердило достоверность полученных результатов и высокую эффективность предложенных технических решений.

Список источников

1. Micropile Design and Construction Reference Manual for NHI Course 132078 / P. J. Sabatinia [et al.]; U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. – Washington, D.C., 2005. – 436 p. – (Publication No. FHWA NHI-05-039).
2. Коновалов, П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий / П. А. Коновалов; ВНИИТПИ. – 4-е издание, переработанное и дополненное. – М.: ВНИИТПИ, 2000. – 318 с. – ISBN 5-93803-002-1. – EDN XWUYTJ.
3. Патент № 2761795 С9 Российская Федерация, МПК E02D 5/46. Способ возведения буронабивной сваи повышенной несущей способности для строительства в сейсмических районах: № 2021107589: заявл. 22.03.2021: опубл. 26.01.2022 / М. Б. Мариничев, П. А. Ляшенко, В. В. Денисенко [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина».
4. Патент № 2855305 С1 Российская Федерация, МПК E02D 5/46. Способ устройства анкерной сваи повышенной несущей способности для строительства фундаментов зданий в сейсмических районах: заявл. 04.02.2025: опубл. 30.01.2026 / М. Б. Мариничев, И. Г. Ткачев, И. Г. Азов [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина».
5. Патент № 2256748 С2 Российская Федерация, МПК E02D 27/12, E02D 27/16. Свайный фундамент и способ возведения свайного фундамента: № 2003118775/03: заявл. 23.06.2003: опубл. 20.07.2005 / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина».
6. Патент № 2378454 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/14. Способ возведения свайно-плитного фундамента: № 2008133436/03: заявл. 14.08.2008: опубл. 10.01.2010 / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина».
7. СП 24.13330.2021 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 / АО «НИЦ «Строительство» – НИИОСП им. Н.М. Герсевича – М., 2023. – 113 с.
8. Полищук, А. И. Основания и фундаменты, подземные сооружения / А. И. Полищук, М. Б. Мариничев. – 3-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Издательство АСВ, 2023. – 558 с. – ISBN 978-5-4323-0372-1.
9. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 1040 с.
10. Мариничев, М. Б. Особенности расчета и конструирования свайных фундаментов высотных зданий в сложных грунтовых условиях / М. Б. Мариничев, П. А. Ляшенко, В. В. Денисенко, И. Г. Ткачев // Свайные фундаменты: тенденции, проблемы и перспективы развития: Презентации и тезисы докладов II международной научно-практической конференции, Москва, 09–10 сентября 2020 года. – М.: Международная ассоциация фундаментостроителей, 2020. – С. 44-103.

© Азов И. Г., Мариничев М. Б.,
Ляшенко П. А., Денисенко В. В., 2026