

## Новая технология – «фундамент на трубогрунте»

*К.т.н., доцент ГОУ СПбГПУ Г.Я. Булатов\*, инженер А.Ю. Костюкова*

Основание зданий и сооружений является наиболее важной и определяющей системой в обеспечении надежности и долговечности сооружения при его эксплуатации. В общем объеме строительства устройство оснований и фундаментов имеет значительный удельный вес как по стоимости, так и по трудоемкости строительных работ. Поэтому необходимо производить рациональное проектирование оснований и фундаментов с рассмотрением всех возможных вариантов и их последующим технико-экономическим сопоставлением.

Свайные фундаменты получили широкое распространение в фундаментостроении. Они позволяют возводить здания и сооружения на слабых грунтах с недостаточной несущей способностью. Во многих случаях это единственный эффективный способ возведения сооружений в сложных инженерно-геологических условиях.

Территория строительства в районах Санкт-Петербурга в геологическом отношении представлена четвертичными отложениями: за насыпными грунтами идут пески – от рыхлых до средней плотности, толщиной от полутора до трех метров. Ниже находятся ленточные отложения со слабыми грунтами толщиной 10 – 12 метров. Затем – моренные пласты с хорошими прочностными свойствами. Еще ниже – кембрийские отложения, представленные твердыми глинами. Эти глины – хорошее основание для сооружений. Грунтовые воды располагаются на глубине 1,5 – 3 метра с амплитудой колебаний около метра.

Современные технологии возведения фундаментов предлагают устройство буронабивных фундаментов. Однако подобный способ в грунтовых условиях центральной части Санкт-Петербурга приводит к значительному увеличению сроков и стоимости строительства. Помимо этого, технология устройства буронабивных фундаментов в условиях исторической застройки может вызвать неравномерную осадку близлежащих зданий, трещинообразование и переход в аварийное состояние.

В последние годы широко возводились причальные сооружения на металлических сваях-оболочках, так как они имеют много достоинств. Стальные сваи лучше выдерживают динамические нагрузки и воспринимают большие изгибающие моменты по сравнению с железобетонными сваями.

Предлагаемая технология будет наиболее эффективна к применению в условиях акватории. Она основана на применении открытых снизу стальных трубчатых свай.

Об использовании стальных трубчатых свай подробнее см.: Булатов Г.Я., Костюкова А.Ю. Технология возведения фундаментов – «свая в трубе» // Инженерно-строительный журнал, №1, 2008. С. 33-37.

Технической задачей предложения было снижение расхода материалов и удельной трудоемкости работ.

Поставленная задача решена за счет того, что после погружения трубчатой сваи удаляют слабый грунт из её полости, выравнивают поверхность грунтового ядра, уплотняют его, укладывают (при необходимости) слой дренирующего материала с уплотнением и внутрь трубы устанавливают фундаментную колонну, передающую нагрузки от ростверка на грунтовое ядро («трубогрунт»).

Указанные признаки расширяют возможности применения трубчатых свай больших диаметров при использовании обычных строительных средств, а также обеспечивают щадящее воздействие на окружающую среду вследствие поэтапного устройства отдельных элементов сваи.

Сущность предложения поясняется чертежами: где на рис. 1 показан продольный разрез по трубчатой свае с внутренней колонной-фундаментом в виде стакана, на рис. 2 – то же, поперечный разрез. На рис. 3 – продольный разрез по трубчатой свае с внутренней центральной колонной, на рис. 4 – то же, поперечный разрез.

На рис. 1 и 2 представлена погруженная в грунт трубосвая 1 с частично срезанным грунтовым ядром 2, прикрытым дренажным слоем 3, например, крупнозернистого песка, на который установлена колонна 4 в виде стакана и ростверк 5. Верхняя часть трубосваи 1 может быть снята по разьему 9.

На рис. 3 и 4 представлена свая 1 с центральной колонной, состоящей из стойки 6, соединенной с фундаментной плитой 7 и с капителью-надколонником 8.

Рассмотрим работу предлагаемого способа, используя рис. 1 и 2.

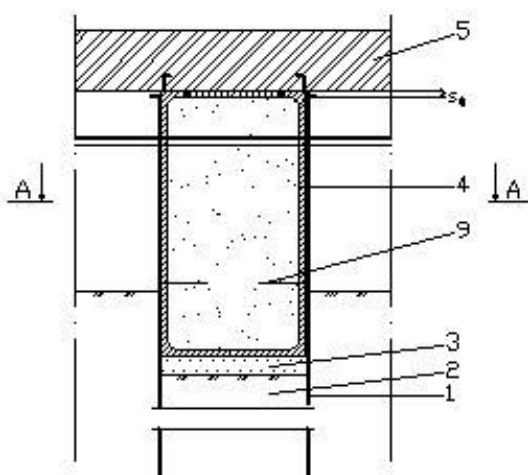


Рисунок 1

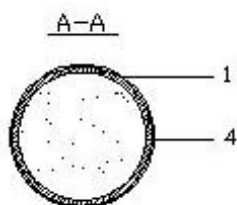


Рисунок 2

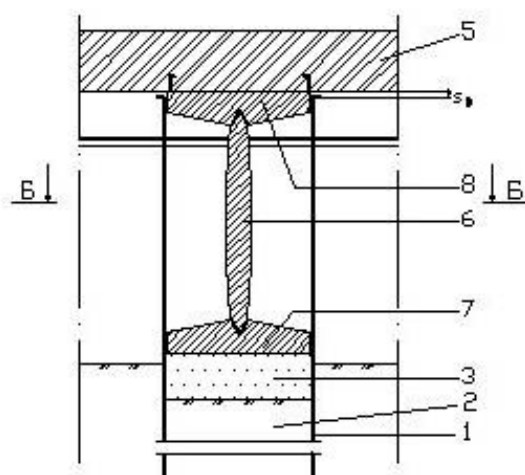


Рисунок 3

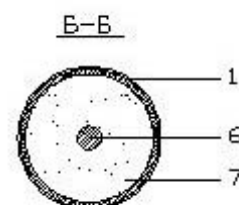


Рисунок 4

При погружении трубосваи 1 в её полость входит грунт в виде ядра 2 цилиндрической формы, поскольку свая легко прорезает толщу грунта основания своими тонкими стенками. При этом несущая способность её по грунту не будет высокой. Для повышения эффективности сваи 1 удаляют слабый грунт из её полости, выравнивают поверхность грунтового ядра 2, уплотняют его, укладывают дренажный слой 3 и устанавливают на него колонну-фундамент, при этом между ростверком 5 и сваем 1 выполняют зазор  $S_0$  на осадку фундаментной плиты. Колонну выполняют из нескольких элементов, в числе которых устанавливают домкрат, компенсируют осадку основания колонны, выполняют постоянную опору и выключают домкрат.

Вариантом способа может быть то, что колонну отливают на месте установки из твердеющего материала, например, из бетона, с антифрикционной изоляцией от трубосваи 1, а после выполнения колонны производят снятие верхней части трубосваи 1 до разъема 9 (рис. 1).

Предварительное уплотнение грунтового ядра 2 выполняют с передачей воздействия через колонну 4 и (или) трубосваю 1.

Уплотнение ядра 2 обеспечит уменьшение осадки основания колонны 4. Установка домкрата (на рис. не показан) между ростверком 5 и колонной 4 позволит компенсировать основную часть осадки основания колонны 4 и превратить устройство в безосадочный фундамент.

Работа способа с использованием рис. 3 и 4 идентична вышеизложенному. Особенностью является то, что на дренажный слой 3 устанавливают колонну, предварительно смонтированную из элементов 6, 7 и 8, или бетонируют ее на месте. Вариантом колонны-фундамента может быть и плито-свайная опора [1]. Полости колонны-фундамента можно заполнить, например, крупнозернистым песком.

Фундаментная плита 7 обеспечит полное заклинивание («запирание») грунтового ядра 2 в полости трубосваи 1 и превратит ее в квазимонолитную с площадью брутто опорного сечения на острие, что существенно повысит ее несущую способность по грунту.

### Расчет прочности материала трубчатой сваи и колонны

- I. Период момента окончания погружения сваи.
- II. Момент эксплуатации при наиболее неблагоприятном и тяжелом нагружении.

Рассмотрим каждый из этих случаев.

Продольную вертикальную сжимающую силу в материале трубчатой свай представим в следующем виде:

$$F_{дп} = F_d \cdot K_{дин}, \tag{1}$$

где  $F_d$  – несущая способность трубчатой сваи;

$K_{дин}$  – коэффициент динамичности при погружении сваи.

Коэффициент динамичности в первом приближении можно принять:

- 1,5 – при погружении молотом;
- 1,2 – при вибропогружении;
- 1,0 – при статическом задавливании.

Расчетная схема для определения напряжений в материале трубчатой сваи представлена на рис. 5.

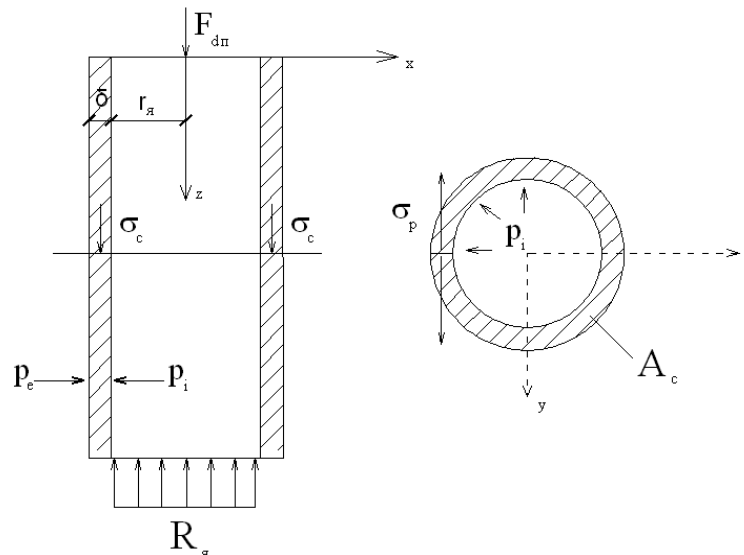


Рисунок 5. Расчетная схема для определения напряжений

Наибольшие вертикальные напряжения сжатия в трубчатой свае  $\sigma_c$  возникают при  $z = 0$ , и равны:

$$\sigma_c = F_{дп} / A_c, \tag{2}$$

$$\text{при } A_c = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \delta \text{ и } r = r_я + \delta, \tag{3}$$

где  $A_c$  – площадь сечения трубосваи (нетто);

$r_я$  – радиус грунтового ядра;

$\delta$  – толщина стенки трубы.

Наибольшие горизонтальные напряжения растяжения в трубчатой свае  $\sigma_p$  возникают при  $z = h_n$ , и равны:

$$\sigma_p = (p_i - p_e)r / \delta, \tag{4}$$

где  $p_i$  и  $p_e$  – горизонтальные давления грунта на стенку изнутри и снаружи;

$\delta$  – толщина стенки трубы;

$r_{я}$  – радиус грунтового ядра.

В свою очередь, в первом приближении можно записать

$$p_i = R_{я} \cdot \xi_i, \quad (5)$$

$$p_e = \sigma_x, \quad (6)$$

где  $R_{я}$  – удельное сопротивление проталкиванию грунта ядра внутрь полости трубы [2];

$\xi_i$  – коэффициент бокового давления;

$\sigma_x$  – давление грунта снаружи трубчатой сваи.

В простейшем случае получим:

1. Для сечения  $z = 0$  (голова сваи)  $\sigma_p = 0$  и  $\sigma_c = \sigma_{cmax}$ .

2. Для сечения  $z = h_n$  (на отметке подошвы трубы) при  $p_e = 0$  (в первом приближении, см. формулу 20) и  $\sigma_c = 0$  получим  $\sigma_{pmax} = (\xi_i \cdot R_{я} \cdot r_{я}) / (\delta)$ .

Продольную вертикальную сжимающую силу в материале трубосваи как функцию времени  $T$  (от начала ее погружения) представим в следующем обобщенном виде:

$$P_c(z, T) = P(z, T) - P_n(z, T) - P_{я}(z, T) - P_{cc}(z, T), \quad (7)$$

где  $P(z, T)$  – полная нагрузка от ростверка, относящаяся к одной свае;

$P_n(z, T)$  – нагрузка, воспринимаемая основанием плиты ростверка за пределами трубосваи;

$P_{я}(z, T)$  – то же, воспринимаемая грунтовым ядром сваи;

$P_{cc}(z, T)$  – нагрузка на дополнительные сваи или колонны, устанавливаемые внутри трубосваи;

$z$  – вертикальная координата, направленная вниз от подошвы ростверка, совпадающая с осью трубосваи (в последующих записях координаты  $(z, T)$  опустим).

Расчетная схема для определения напряжений в материале трубчатой сваи представлена на рис. 6.

Наибольшие вертикальные напряжения сжатия в трубчатой свае  $\sigma_c$  возникают при  $z = 0$ , и равны:

$$\sigma_c = P_c / A_c, \quad (8)$$

$$\text{при } A_c = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \delta \text{ и } r = r_{я} + \delta, \quad (9)$$

где  $A_c$  – площадь сечения трубосваи (нетто);

$r_{я}$  – радиус грунтового ядра;

$\delta$  – толщина стенки трубы.

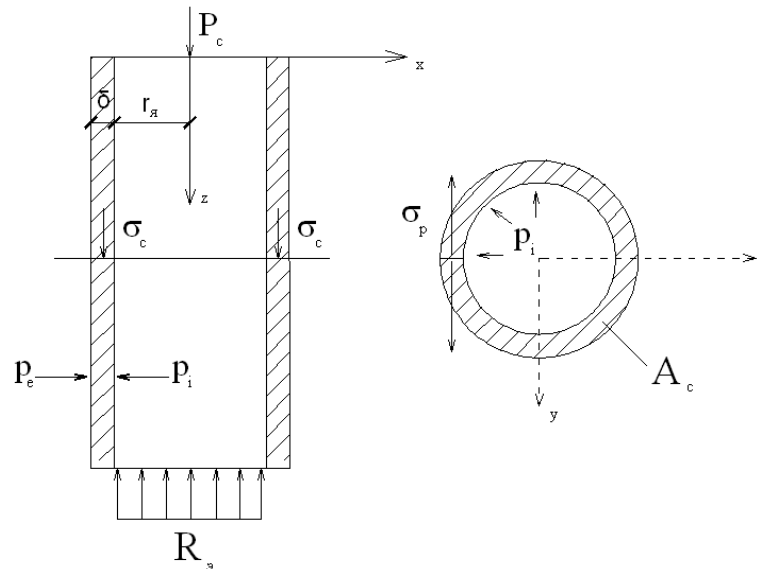


Рисунок 6. Расчетная схема для определения напряжений

Наибольшие горизонтальные напряжения растяжения в трубчатой свае  $\sigma_p$  возникают при  $z = h_n$ , и равны:

$$\sigma_p = (p_i - p_e) r / \delta, \tag{10}$$

где  $p_i$  и  $p_e$  – горизонтальные давления грунта на стенку изнутри и снаружи;

$\delta$  – толщина стенки трубы;

$r_я$  – радиус грунтового ядра.

В свою очередь, в первом приближении можно записать

$$p_i = R_3 \cdot \xi_i + \Delta p_{i \text{ доп}}, \tag{11}$$

$$p_e = \sigma_x, \tag{12}$$

где  $R_3$  – удельное сопротивление проталкиванию грунта ядра внутрь полости трубы [2];

$\xi_i$  – коэффициент бокового давления;

$\Delta p_{i \text{ доп}}$  – дополнительное горизонтальное давление грунта на стенку изнутри;

$\sigma_x$  – давление грунта снаружи трубчатой сваи.

Таким образом, ориентировочные расчеты показывают, что в качестве трубчатой сваи могут быть применены относительно тонкостенные стальные трубы, например, толщина стенки  $\delta$  может быть 8 мм, включая запас на коррозию в 1,5 мм.

Отметим следующие преимущества предлагаемых технических решений:

а) они позволяют создать свайные фундаменты с высокой несущей способностью с помощью обычных строительных средств при пониженной удельной трудоемкости работ;

б) способ относится к щадящим окружающую среду технологиям, поскольку предусматривается лишь погружение тонкостенных (режущих) трубчатых свай. Динамическое воздействие уплотнения грунтового ядра при этом локализуется полостью внутри сваи;

в) применение уплотняющих и домкратирующих устройств позволяет получить технологию возведения практически безосадочного фундамента.

**Литература**

1. Буштрук А.П. Возведение и расчет плитосвайного фундамента // Свайные фундамента в условиях слабых грунтов. Часть 1. – Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1966. С. 78-82.
2. Бугров А.К. Механика грунтов: Учеб. Пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007.
3. Гожа В. И., Наймарк О. С. Глубоководный причал комбинированной конструкции из стальных элементов. — СПб: «Судостроение», 2005 г.
4. Долинский А. А., Зайончковский В. И., Николаевский М. Ю., Рябинин А. В. Нетрадиционные конструкции фундаментов портовых складов, возведенных на слабых илистых грунтах прибрежно-морских отложений. / Сб. научн. тр. под ред. И. И. Сулейманова. К 120-летию ОАО «Ленморниипроект». — СПб.: «Судостроение», 2005 г., с. 324–330.
5. Прудентов А.И. Железобетонные сваи с грунтовым ядром. Л.: Стройиздат, 1971.
6. Рахаринуси А.П. Применение стальных трубчатых свай с открытым нижним концом в портовых гидротехнических сооружениях. Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.19 СПб., 1999.
7. СНиП 2.02.01-83\* «Основания зданий и сооружений».
8. СНиП 2.02.03.-85 «Свайные фундамента».
9. СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов».
10. Справочник проектировщика промышленных и гражданских зданий и сооружений: расчётно-теоретический / Под редакцией А.А. Уманского. – М.: Госстройиздат, 1960. 1040 с.
11. ТСН 50-302-96 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге».

\* *Георгий Яковлевич Булатов, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

*Тел. раб. 297-59-49*