

## СЕКЦИЯ 2. МЕХАНИКА ГРУНТОВ КАК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА СОВРЕМЕННОЙ ГЕОТЕХНИКИ

УДК 691.32.008.6

### МЕХАНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С ОСНОВАНИЕМ

**Балыш А.В.** маг. техн. наук,  
**Сернов В. А.** канд. техн. наук, доцент  
(Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь)

На различных стадиях формирования и работы ствола буронабивной сваи её взаимодействие с грунтами основания изменяется. Зарубежными исследователями E. Di Biago, J.A. Roti, C.S. Otero, S. Uriel [1, 2] было установлено, что для свежего бетона начиная с некоторой глубины характер давления бетонной смеси на стенки скважины отклоняется от гидростатического давления жидкости данной плотности, что объясняется внутренним трением бетонной смеси и трением о стенки грунта. После твердения бетона это радиальное давление бетона уменьшается. Но не исчезает полностью.

В последующей фазе, когда ствол сваи воспринимает и передает на грунты основания внешнюю нагрузку, как показали опыты, проведенные D. Mohan [3], усилия по длине сваи распределяются неравномерно и характер этого распределения зависит от степени нагружения сваи.

Анализ графиков показывает, что смещение пикового значения сил трения по боковой поверхности с увеличением внешней нагрузки происходит вниз. После достижения максимальных значений касательные напряжения убывают по направлению к пяте сваи. И чем больше внешняя нагрузка, тем стремительнее они уменьшаются.

Как показали результаты работы, проведенной Г.С. Колесником и И.Ш. Фазуллиным [4], характер распределения касательных напряжений по боковой поверхности одиночных свай зависит и от соотношения продольной жесткости материала самих свай (рис. 3).

В качестве моделей использовались упругая и жесткая сваи – резиновая и стальная соответственно. Из рисунка 3б видно, что для жесткой сваи характерно равномерное распределение касательных напряжений по длине сваи, поскольку в любое поперечное сечение при приложении нагрузки получает одинаковое перемещение в силу несжимаемости материала сваи. В реальных условиях для свай характер распределения касательных напряжений будет промежуточным по сравнению с данными двумя моделями.

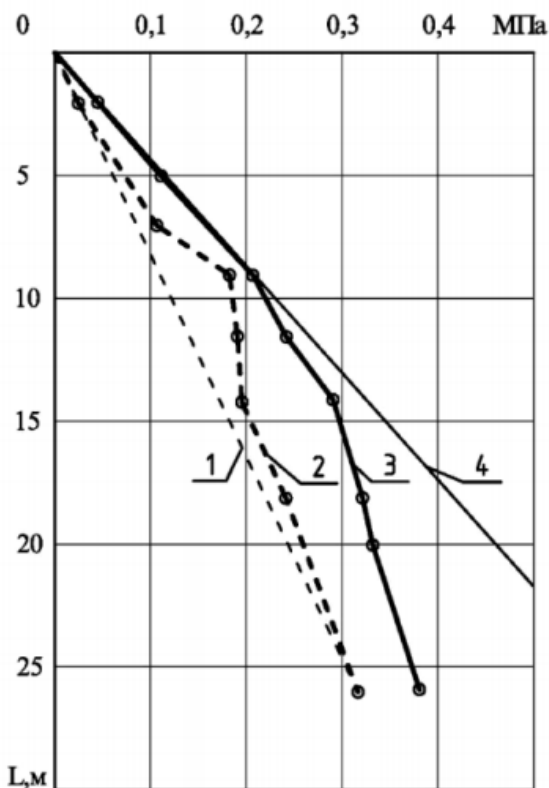
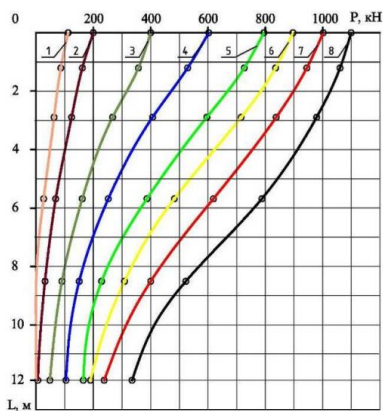
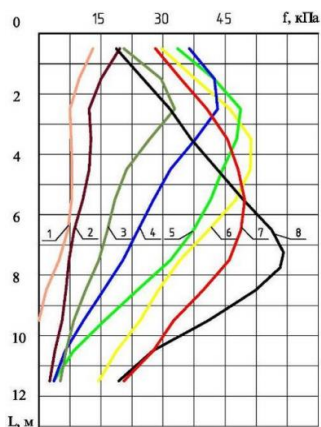


Рис. 1. Зависимость давления на стенки скважины от глубины по [48]:  
 1 – гидростатическое давление жидкости с плотностью 1,2 г/см³; 2 – давление бетона на грунт после 24 ч; 3 – давление бетонной смеси на грунт;  
 4 – гидростатическое давление жидкости плотностью 2.3 г/см³



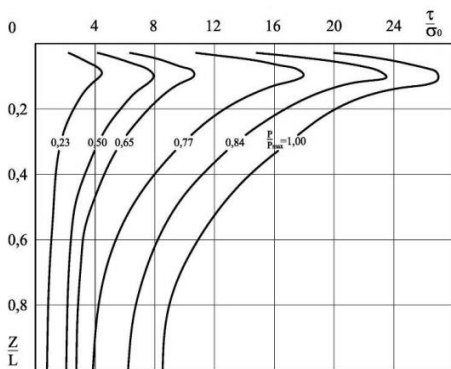
*a*



*б*

Рис. 2. Эпюры распределения внутренних усилий в буронабивной свае  $L=12$  м при разных уровнях нагружения согласно:

*a* – распределение осевого усилия по длине сваи для разных значений внешней нагрузки; *б* – изменение касательных напряжений по боковой поверхности с глубиной; 1–8 – при  $P=100,200,400,600,800,900,1000,1100$  кН



*a*



*б*

Рис. 3. Эпюры и изополя касательных напряжений для упругой и жесткой свай [4]:

*a* – эпюры касательных напряжений по длине упругой сваи; *б* – изополя касательных напряжений для жесткой и упругой свай, полученные поляризационно-оптическим методом

Согласно проведенным экспериментальным исследованиям [5] с маломасштабными буронабивными сваями было установлено, что при достижении сваей предельного состояния по грунту глубина активной зоны ниже торца составляет около двух её диаметров и двух диаметров в сторону от оси сваи. При этом срыв сваи происходил не по контакту «грунт – бетон», а на расстоянии 3 – 6 мм от ее поверхности.

Из рисунка 4 видно, что глубина сжимаемой толщи увеличивается с возрастанием нагрузки на сваю [5].

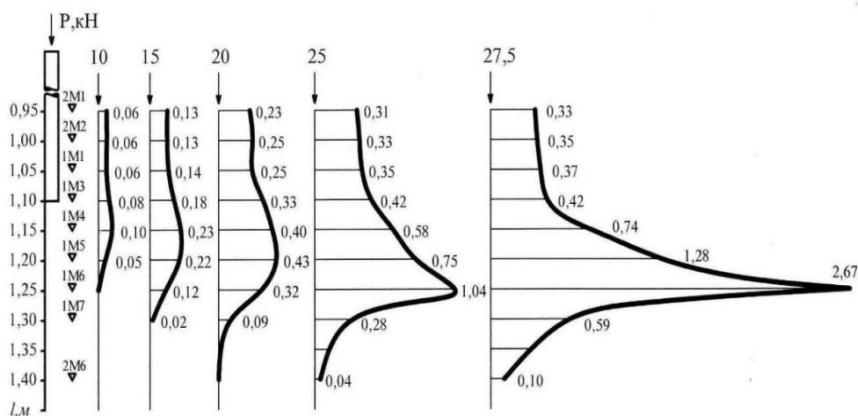


Рис. 4. Эпюры перемещения грунта основания в вертикальном сечении на расстоянии 50 мм от сваи в зависимости от приложенной нагрузки [5]

В работе [6] рассматривается геомеханическая модель взаимодействия одиночной длинной сваи с однородным и многослойным основанием, которая представлена в виде цилиндра диаметром  $D=2b$  и длиной  $L>b$ , внутри которого размещена свая диаметром  $d=2a$  и длиной  $l>20d$  (рисунок 5а-в). Отличительной особенностью данной модели является то, что осадка сваи от действия сил трения по её боковой поверхности определяется по схеме взаимодействия сваи с грунтовым цилиндром ограниченных размеров. Последовательно рассматриваются два состояния: в первом случае отсутствует реакция на уровне нижнего конца сваи (рисунок 5б), во втором – отсутствуют силы трения по боковой поверхности (рисунок 5в). Из условия равенства осадок нижнего конца  $S_0$  сваи и боковой повер-

ности  $S_{\delta}$  и из условия равновесия  $P_c = P_o + P_{\delta}$  определяются значения  $P_o$  и  $P_{\delta}$ .

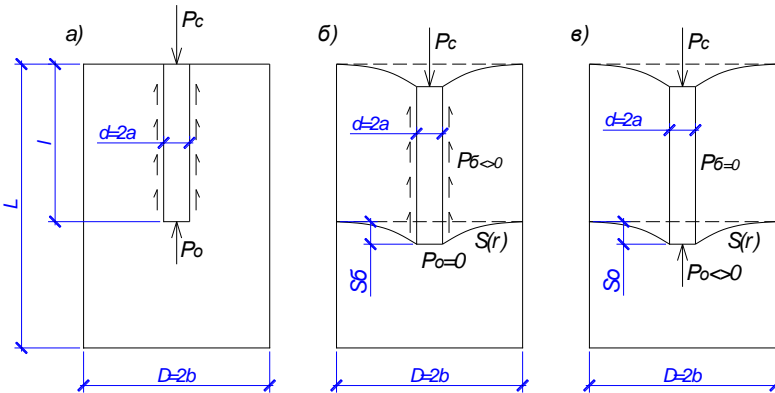


Рисунок 5 – Геомеханическая модель взаимодействия одиночной сваи с однородным грунтовым массивом ограниченных размеров по [6]:  $a$  – расчётная схема;  $b$  – первое состояние (отсутствует реакция грунта у нижнего конца сваи);  $в$  – второе состояние (отсутствуют силы трения по боковой поверхности сваи)

В случае однородного (однослойного) основания сила трения по боковой поверхности сваи  $P_{\delta}$ , сила реакции грунта под нижним концом сваи  $P_o$ , а также значение осадки  $S_c$  согласно [6] определяются по формулам

$$P_{\delta} = \frac{P_c}{1 + \beta_1}, \quad (1)$$

$$P_o = P_c \frac{\beta_1}{1 + \beta_1}, \quad (2)$$

$$S_c = \frac{P_c}{1 + \beta_1} \cdot \frac{\ln(b/a)}{2\pi l G}, \quad (3)$$

где  $P_c$  – нагрузка на оголовок сваи, кН;

$b$  – радиус грунтового цилиндра, в пределах которого силы трения затухают, м;

$a$  – радиус ствола сваи, м;  
 $l$  – длина сваи, м;  
 $G$  – модуль сдвига, Па;

$$\beta_1 = \frac{2a}{\pi l(1-\nu)K(l)} \ln\left(\frac{b}{a}\right);$$

$K(l)$  – коэффициент, учитывающий глубину вдавливания жёсткого круглого штампа от поверхности земли.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Di Biagio E., Roti J.A. Earth pressure measurements on a braced slurry trench wall in soft clay // Proc. 5<sup>th</sup> European Conf/ on SMFE, Madrid, Spain, 1972.
2. Uriel S., Otero C.S. Stress and strain beside a circular trench wall // Proc. Int. Conf. SMFE, Tokyo, Japan, 1977, vol.1, pp. 781 – 788.
3. O’Neill M.W., Resse L.C. Behaviour of axially loaded drilled shafts in Beaumont clay. Research Report 89.8. Center for Highway Research. The University of Texas at Austin. Austin, Texas, 1970. – 749 pp.
4. Колесник, Г.С. Определение несущей способности свай по результатам статического зондирования: дис. ... канд. наук. – Одесса, 1971. – 150с.
5. Глазачев, А.О. Исследование взаимодействия вертикально нагруженных буронабивных свай с основанием и их расчет с использованием статического зондирования: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2014. – 187с.
6. Динь Хоанг Нам. Взаимодействие длинных свай с грунтом в свайном фундаменте: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.02/ Динь Хоанг Нам. – Москва, 2006. – 163 с.