

Пойта П.С., Шведовский П.В.

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РАБОТЫ И РАСЧЕТОВ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗАБИВНЫХ И БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ ИЗ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ И БЕТОНОВ НА НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ

**Введение.** В настоящее время в строительной практике распространены забивные сваи. Объем свай, изготавливаемых в грунте, не превышает 10,0...15,0% общего объема свайных фундаментов. Если учесть, что набивные сваи имеют целый ряд показателей, определяющих их преимущества перед забивными, то это настоятельно предопределяет необходимость более детального и всестороннего изучения их работы, совместно с грунтом основания, с целью более широкого практического применения.

Показателями, подтверждающими экономическую целесообразность применения буронабивных свай различных конструкций, являются:

- меньшая стоимость единицы объема;
- минимальная металлоемкость;
- большая несущая способность и др.

**Анализ и методика исследований.** Важнейшим резервом повышения эффективности буронабивных свай является совершенствование методов определения их несущей способности на стадии проектирования. По действующим нормам [1], несущую способность буронабивной сваи определяют по формуле:

$$F_d = \gamma_c \left( \gamma_{cR} RA + U \sum_{i=1}^n \gamma_{cf} R_{fi} h_i \right), \quad (1)$$

где  $\gamma_c, \gamma_{cR}$  и  $\lambda_{cf}$  – соответственно коэффициенты условий работы в грунте, под нижним концом сваи и на боковой поверхности сваи, кПа;  $R$  и  $R_f$  – соответственно расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи и расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта на боковой поверхности сваи, кПа;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;  $U$  – периметр сваи, м;  $A$  – площадь опирания сваи на грунт, м<sup>2</sup>.

Как отмечает Б.И. Далматов [2], определение несущей способности свай с использованием таблиц, приведенных в нормативных документах, нельзя считать точным.

Если ошибиться в определении показателя текучести  $J_L$  всего на 0,1, то результат, получаемый по формуле (1), может оказаться как завышенным, так и заниженным в 1,5 раза и более. А если учесть, что значения влажности на границе текучести  $W_L$  и влажности на границе раскатывания  $W_P$  определяются экспериментально с достаточно высокой погрешностью, то и табличные значения расчетного сопротивления грунта под нижним концом сваи  $R$  и расчетного сопротивления сдвигу боковой поверхности сваи по грунту  $R_{fi}$  являются весьма ориентировочными.

Экспериментальные исследования величин  $R$  и  $R_{fi}$  для буронабивных свай сечением от 27 до 100 см и длиной от 1,0 до 27,0 м, погруженных в различные грунты (пески, супеси, суглинки и глины), проведенные многими авторами [3, 4, 5, 6, 7, 8], свидетельствуют о том, что доля нагрузки, воспринимаемая боковой поверхностью сваи в предельном состоянии, колеблется от 50,0% до 96% и, в основном, составляет 72,0–85,0%.

Полученные данные свидетельствуют о том, что сопротивление грунта по боковой поверхности сваи, при оценке ее несущей способности, является определяющим в практических расчетах несущей способности свай.

Расчеты несущей способности буронабивных свай по действующим

нормативным документам, для различных грунтовых условий, погруженных в грунт на глубину от 3,0 до 10,0 м, показывают, что доля нагрузки, воспринимаемая за счет трения грунта по боковой поверхности сваи, составляет от 33,0% до 77,9% от ее несущей способности.

Таким образом, очевидно, что расхождение в результатах экспериментальных исследований и теоретических данных может быть от 1,5 до 2,5 раз. Условность принимаемых значений  $R$  и  $R_{fi}$  очевидна непосредственно из таблиц, в которых приведены их значения. К примеру, в таблицах приведены значения  $R$  и  $R_{fi}$  для различных песков средней плотности. Но средняя плотность грунтов определяется коэффициентом пористости, который может меняться от 0,55 до 0,7 (для песков средней крупности), 0,6–0,75 (песков мелких) и 0,6–0,8 (песков пылеватых).

Это означает, что величины  $R$  и  $R_{fi}$  должны иметь конкретные значения во всех диапазонах изменения коэффициента пористости. Тем более, никаких сомнений о взаимосвязи плотности грунта с его деформационными и прочностными характеристиками не возникает.

Отсюда следует, что вопрос совершенствования методов расчета несущей способности свай, как забивных, так и устраиваемых в грунте, является важным и актуальным. При этом задача определения расчетного сопротивления грунта по боковой поверхности сваи имеет приоритетное значение из всего рассмотренного круга проблем.

Сопротивление грунта по боковой поверхности ствола буровой сваи  $R_{fi}$  формируется за счет горизонтальных давлений, возникающих при изготовлении сваи и ее нагружении. Но при применении бетона на напрягающем цементе необходимо принимать во внимание и давление, передаваемое на окружающий грунт за счет эффекта самонапряжения. И если учесть, что радиальные деформации бетона в зависимости от его класса и состава достигают до 1,5% фактического диаметра буронабивной сваи, то весьма важным является вопрос сопротивления грунта давлению от самонапряжения бетона.

В большинстве работ, посвященных определению сопротивления грунта по боковой поверхности сваи [3, 6, 7], горизонтальные давления рекомендуется определять по формулам:

$$P_{26} = \frac{\mu}{1-\mu} \cdot P_6; \quad (2)$$

$$P_6 = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \left( 1 - \frac{4C_i}{\gamma_i d} \right), \quad (3)$$

где  $\gamma_i$  – удельный вес грунта  $i$ -го слоя в пределах мощности  $h_i$ , кН/м<sup>3</sup>;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $C_i$  – сцепление  $i$ -го слоя грунта, кПа;  $n$  – число разнородных слоев грунта в пределах от поверхности до глубины, на которой определяется  $P_6$ .

В песчаных грунтах при  $C=0$ , получим

$$P_6 = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i. \quad (4)$$

В связных грунтах, при диаметрах скважин, с которыми приходится встречаться на практике, в большинстве случаев  $P_6 < 0$ , и тогда давление  $P_2$  в расчет не принимается.

**Пойта Петр Степанович**, доктор технических наук, профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций, ректор Брестского государственного технического университета.

**Шведовский Петр Владимирович**, кандидат технических наук, зав. кафедрой геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

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

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Однако, при рассмотрении работы сваи, выполненной из бетона на напрягающем цементе, такой подход не оправдан. Из-за присутствия радиальных деформаций, и весьма значительных, любой грунт, в том числе и глинистый, включается в работу. И чем прочнее грунт, окружающий ствол сваи, тем эффект самоупрочнения будет выше. Следовательно, в данном случае более точным является определение давления  $P_2$ , как пассивного, по формуле

$$P_{2\phi} = \gamma h \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2) + 2C \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2), \quad (5)$$

где  $\phi$  – угол внутреннего трения грунта.

Если  $C=0$ , то получаем формулу для определения пассивного отпора сыпучего грунта.

Суммарное же давление, формирующее сопротивление грунта по боковой поверхности ствола сваи, будет равно:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (6)$$

где  $P_1$  – давления, возникающие при изготовлении сваи;  $P_2$  – давления, передаваемые на грунт в момент загрузки сваи;  $P_3$  – давления самоупрочнения бетона.

Учитывая, что на определенной глубине давление  $P$  будет равно  $P_{2\phi}$ , можно определить глубину, ниже которой эффективно применять бетон на напрягающем цементе, так как давление от грунта будет больше суммарного давления  $P$ , равного:

$$P = \gamma h \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2) + 2C \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2). \quad (7)$$

Отсюда

$$h = \frac{P - 2C \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)}{\gamma \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)}. \quad (8)$$

Принимая во внимание, что по данным Ф.К. Лапшина [5]

$$P_1 = 8,57d; \quad (9)$$

$$P_2 = \frac{4NE\mu_6}{(1+\mu)\pi d^2 E_6}, \quad (10)$$

а величину самоупрочнения бетона в соответствии с проведенными исследованиями можно определить по формуле:

$$P_3 = \frac{1000\delta}{d}, \quad (11)$$

где  $d$  – диаметр сваи, м;  $N$  – нагрузка, передаваемая на сваю, кН;  $\mu_6$  – коэффициент Пуассона бетона;  $E$  – модуль деформации грунта;  $\mu$  – коэффициент Пуассона грунта;  $E_6$  – модуль упругости бетона, МПа;  $\delta$  – перемещение стенок скважины под действием давления самоупрочнения бетона, мм, то подставив соответствующие значения давлений в (6) и решая относительно  $h$ , получим:

$$h = \frac{2}{\gamma d \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)} \times \left[ 4,28d^3 + 2000\delta - dC \operatorname{tg}(45^\circ + \phi/2) + \frac{2NE\mu_6}{(1+\mu)\pi d E_6} \right], \quad (12)$$

где  $h$  – расстояние от поверхности грунта до точки, в которой  $P=P_{2\phi}$ .

При наличии уровня грунтовых вод в пределах длины сваи необходимо дополнительно учитывать взвешивающее действие воды.

**Заключение.** Предложенное усовершенствование метода расчета несущей способности буронабивных свай из тяжелых бетонов и бетонов на напрягающем цементе позволяет успешно реализовать важнейший резерв повышения их эффективности как в области энергоматериалоемкости, так и удельной стоимости.

Знание величины глубины  $h$ , ниже которой горизонтальное давление грунта всегда больше суммарного давления, вызванного воздействием бетона на грунт при изготовлении сваи, внешней нагрузкой и самоупрочнением, и определяет оптимальную зону применения бетонов на напрягающем цементе.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основания и фундаменты зданий и сооружений: СНБ 5.01.01-99. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 1999. – 102 с.
2. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – 2-е изд. перераб. и дополн. – Л.: Стройиздат, Ленинградск. отделение, 1988. – 415 с.
3. Бахолдин, Б.В. Исследования сопротивления грунта по боковой поверхности свай: сб. докладов и сообщений по свайным фундаментам / Б.В. Бахолдин, Н.Т. Игонькин – М.: Стройиздат, 1968. – С. 82–88.
4. Работников, А.И. О роли сил трения в работе буронабивных свай. – В кн.: Основания и фундаменты. – Киев: Будівельник. – 1974. – Вып. 7. – С. 101–104.
5. Лапшин, Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям. – Изд-во Саратовского универс. – 1979. – 152 с.
6. Липовой, А.У. Исследование влияния напряжений в грунте по боковой поверхности сваи на сопротивление по нижнему торцу // Основания и фундаменты. – Киев: Будівельник, 1982. – Вып. 15. – С. 74–77.
7. Трофименков, Ю.Г. Совершенствование методов определения несущей способности свай // Труды VIII Международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению. – М.: Стройиздат. – 1973. – С. 206–209.
8. Jsmael, N.F., Al-Sanad H.A. Uplift capacity of borad piles in caloar-eous soils // Journ. of Geotech. Enq. – 1986. – V. 112. – № 10. – P. 928–940.

Материал поступил в редакцию 08.02.12

POUYA P.S., SHVEDOVSKY P.V. In this article some work characteristics and calculations of bearing strength of precast, drilled and cast-in-place piles of heavy-weight concrete and concrete of self-stressing cement are given.

The work characteristics and calculations of bearing strength of piles are analyzed. The calculated dependence allowing increasing efficiency of pile application is offered.

УДК 624.15+624.131.6:551.5

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

## ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ ГРУНТОВ В ПРОЦЕССЕ ПОГРУЖЕНИЯ ЗАБИВНЫХ СВАЙ НА ИХ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

**Введение.** Как отмечено в наших исследованиях [1], при погружении свай в грунтовом массиве происходят разнообразные процессы,

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

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

Строительство и архитектура