

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛИННЫХ СВАЙ-ОБОЛОЧЕК В КОНСТРУКЦИЯХ ГЛУБОКОВОДНЫХ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ И ШЕЛЬФОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Дубровский М.П., Гусейнов В.А.

Одесский национальный морской университет  
г. Одесса, Украина

**АНОТАЦІЯ:** Виконано аналіз умов роботи довгих паль-оболонок та їх несучої здатності з урахуванням утворювання «грунтової пробки». Визначені основні параметри «грунтової пробки», що сприяють підвищенню несучої здатності трубчастої палі на етапі експлуатації споруди.

**АННОТАЦИЯ:** Проанализированы условия работы длинных свай-оболочек и их несущая способность с учетом образования «грунтовой пробки». Определены основные параметры «грунтовой пробки», способствующие повышению несущей способности трубчатой сваи на этапе эксплуатации сооружения.

**ABSTRACT:** Working conditions of long tubular piles as well as their bearing capacity are analyzed regarding soil plug formation. Main parameters of “soil plug” are determined in order to increase bearing capacity of tubular pile at the stage of structure operation.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Свая-оболочка, глубина погружения, грунтовая пробка, несущая способность.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Для большинства случаев применения стальных трубчатых свай, которые являются в настоящее время одним из основных конструктивных элементов современных глубоководных воднотранспортных и шельфовых сооружений, можно отметить следующие характерные особенности:

- значительная длина, измеряемая в интервале от нескольких десятков до нескольких сотен метров в соответствии с глубиной воды в месте, где монтируется и эксплуатируется рассматриваемое сооружение;
- отсутствие регламентируемых нормативных рекомендаций по проектированию и расчету свайных оснований на столь длинных опорах (четкие требования соответствующих отечественных нормативных документов ограничены длинами свай в грунте до 35 м; для больших глубин погружения свай применяют различные приближенные подходы и методы);
- перераспределение соотношения компонентов несущей способности сваи по грунту с увеличением доли сил трения по боковой поверхности и уменьшением вклада сопротивления грунта под нижним концом опоры и работа сваи-оболочки, как правило, по схеме «свай-стойки»;
- существенное влияние на условия погружения сваи-оболочки и ее дальнейшую работу при восприятии эксплуатационной нагрузки так называемой «грунтовой пробки» у нижнего конца сваи в ее полости.

В последние годы в морских торговых портах Украины разворачивается строительство (или реконструкция) глубоководных перегрузочных терминалов для приема современных крупнотоннажных судов с большой осадкой в грузу (Южный, Ильичевск, Севастополь, Одесса). Не менее активно осуществляется освоение газовых месторождений на украинском континентальном шельфе (вблизи крымского побережья; акватория, прилегающая к острову Змеиный и др.). Ввиду перспективы реализации указанных проектов представляется актуальным исследование вопросов применения длинных свай-оболочек с учетом вышеупомянутой проблематики.

## **УЧЕТ ВЛИЯНИЯ «ГРУНТОВОЙ ПРОБКИ» ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДЛИННЫХ СВАЙ-ОБОЛОЧЕК**

Как известно, «грунтовая пробка» может оказывать как негативное (затрудняя погружение сваи до проектной отметки), так и позитивное (увеличивая несущую способность по грунту уже погруженной до проектной отметки опоры) влияние.

В этой связи в работе [1] предложено применять комплексный подход к использованию трубчатых свайных опор. В нем на первом этапе (погружение сваи) минимизируется (или исключается) негативный эффект от образования «грунтовой пробки», а на втором этапе при работе сваи в составе сооружения обеспечивается максимально возможная несущая способность сваи по грунту за счет использования «грунтовой пробки».

Задача минимизации (или исключения) влияния «грунтовой пробки» на первом этапе упомянутого комплексного подхода может быть решена применением инновационных технологических подходов при погружении сваи (например, метод, предложенный в работе [1]).

Эффективное использование несущей способности «грунтовой пробки» во втором этапе создания свайной опоры возможно при наличии достоверной информации об ее параметрах и условиях образования, полученной теоретическим или экспериментальным путем, что рассмотрено ниже.

Условия образования «грунтовой пробки», однако без специфики работы длинных свай, учитываются различными нормативными документами - как отечественными, так и зарубежными [2-6].

В связи с развитием добычи нефти и газа на шельфе мирового океана за рубежом большое внимание уделяется вопросам исследования и расчета свайных оснований применительно к условиям строительства и эксплуатации морских глубоководных платформ. В настоящее время разработано несколько нормативных документов по расчету свай для нефтегазопромысловых сооружений. Следует отметить нормы США [4] для проектирования забивных свай глубоководных стационарных платформ. Несущая способность таких трубчатых свай, погружаемых с открытым нижним концом, определяется с учетом сопротивления грунта под острием и трения по внутренней и внешней поверхности сваи. Расчеты по этим нормам дают хорошие результаты, однако при условии получения очень подробных прочностных характеристик грунтового основания, которыми проектировщики часто не располагают.

В голландском методе расчета свай несущую способность определяют по результатам статического зондирования с помощью стандартного конуса (метод СРТ). На комплексном использовании метода СРТ и полевых испытаний пробных свай базируются соответствующие рекомендации японских норм [5].

В соответствии с норвежскими нормами [6] составляющие несущей способности сваи по грунту определяются в соответствии с одним из трех рекомендованных нормами способов получения расчетных характеристик грунта.

Анализ известных исследований и обобщающих их рекомендаций позволяет выделить следующие обоснованные, на наш взгляд, подходы к определению влияния «грунтовой пробки» в полости трубчатой сваи при определении несущей способности опоры.

Несущую способность висячей сваи  $F_d$ , работающей на сжимающую нагрузку, определяют как сумму расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи  $F_R$  и на ее боковой поверхности  $F_f$ :

$$F_d = F_R + F_F = R \cdot A + f \cdot S, \quad (1)$$

где  $R$  – сопротивление грунта под нижним концом сваи;

$A$  – площадь опирания нижнего конца сваи;

$f$  – обобщенное сопротивление грунта по боковой поверхности сваи;

$S$  – площадь боковой поверхности сваи.

В соответствии с действующими нормативными документами [2, 3] для свай большего, чем 0,8 м диаметра, погружаемых в грунт более, чем на 35 метров, с открытым нижним концом, при определении  $F_R$  расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи принимают равным сопротивлению на глубине 35 м, а площадь опирания – равной площади поперечного сечения, определяемого по наружному диаметру сваи. Причем предполагается, что предельные значения  $F_d$  и  $F_f$  достигаются одновременно. Как представляется, это может иметь место только для относительно коротких и жестких свай. Работа же длинных и гибких свай в составе глубоководных гидротехнических сооружений принципиально не позволяет реализацию такого предположения.

Если обозначить через  $Z$  перемещение головы сваи под действием вертикальной нагрузки  $N_z$ , то работу сваи можно проиллюстрировать с помощью графика на рис. 1.

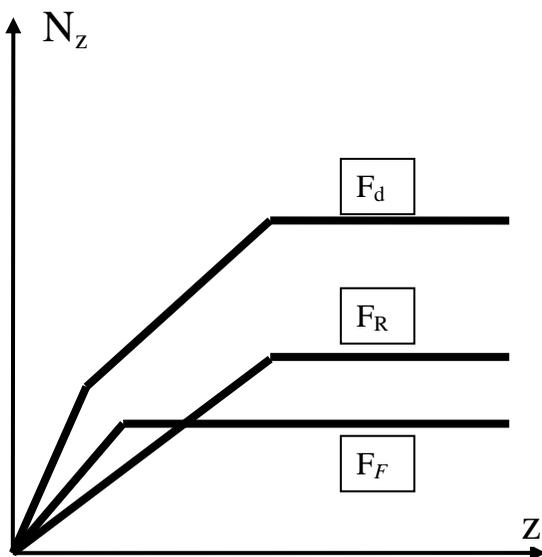


Рис. 1. График зависимости  $N_z = f(z)$

Предельное значение  $F_f$  достигается при  $Z = 0,01d$ , а предельное значение  $F_d$  - при  $Z = (0,05 \dots 0,1)d$ , где  $d$  - диаметр сваи.

К сожалению, в настоящее время отсутствуют достаточно надежные экспериментальные данные, позволяющие рекомендовать метод расчета несущей способности сваи по грунту с учетом того, что предельные сопротивления  $F_d$  и  $F_f$  не достигаются одновременно, и практические расчеты выполняются по формулам вышеупомянутых нормативных документов. Подобные по смыслу рекомендации даются и в зарубежной практике, а отличия заключаются лишь в том, каким образом учитываются те или иные факторы, влияющие на несущую способность сваи.

В связи с изложенным представляется обоснованным подход, основанный на оценке степени реализации «грунтовой пробки» или степени «закрытости» грунтом нижнего конца трубчатой сваи.

На основе анализа соответствующих многочисленных экспериментальных и теоретических исследований (например, работ [7, 8]), несущую способность грунта под острием трубчатой сваи-оболочки можно оценивать произведением  $\alpha F_R$ , в котором  $F_R$  отражает несущую способность сваи-оболочки с закрытым нижним концом, а  $\alpha$  – коэффициент «закрытия» нижнего конца сваи. При этом, если отношение глубины погружения сваи в несущий слой основания ( $L_b$ ) к внутреннему диаметру сваи-оболочки ( $d_i$ ) менее 5,  $\alpha = 0,16 (L_b / d_i)$ , а если  $L_b/d_i$  более 5, то  $\alpha = 0,8$ .

Результирующая несущая способность трубчатой сваи-оболочки в этом случае является суммой сопротивления грунта под кольцевой частью нижнего конца опоры  $R_k$  и трением грунта по внутренней поверхности оболочки  $R_{fi}$ . Тогда коэффициент «закрытия» нижнего конца сваи можно в аналитической форме выразить следующим образом:

$$\alpha = (R_k + R_{fi})/F_R. \quad (2)$$

С точки зрения практического применения выражения (2) наиболее важным, но и трудным моментом будет оценка компоненты  $R_{fi}$ , отражающей трение грунта по внутренней поверхности сваи-оболочки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в качестве основного критерия образования и оценки степени влияния «грунтовой пробки» на несущую способность трубчатой сваи рассмотрено отношение глубины погружения к диаметру сваи. В то же время, здесь в явном виде не отражено влияние свойств грунтового основания, что может привести к переоценке несущей способности грунта под острием сваи.

Как представляется, дальнейшее развитие исследований в рассматриваемой области целесообразно в направлении конкретизации влияния составляющей  $R_{fi}$ , отражающей физическое взаимодействие грунта с внутренней поверхностью сваи в зоне ее нижнего конца. Это позволит более полно и всесторонне учесть основные факторы работы длинной трубчатой сваи-оболочки при восприятии осевых сжимающих нагрузок и обоснованно применять формулу (2).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровский М.П. Совершенствование технологии устройства длинных свай-оболочек при строительстве и реконструкции глубоководных воднотранспортных и шельфовых сооружений / Дубровский М.П., Гусейнов В.А. // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. - Полтава: ПолтНТУ, 2013.
2. Свайные фундаменты: СНиП 2.02.03-85 / Минстрой России. — М.: ГП ЦПП, 1995. — 48 с.
3. Свайные фундаменты: СП 24.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 / Минрегионразвития РФ. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. - 90 с.
4. Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms: API RP2A WSD-2005 / American Petroleum Institute. - Dallas, Texas, 2005. - 277 p.
5. Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan / Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. - Daikousha, 2002. - P. 286-287.
6. Rules for design, construction and inspection of Offshore structures. Det Norske Veritas. - Oslo, 1992. - 186 p.
7. Nikola A. Plugging behaviour of driven and jacked piles in sand / A. Nikola, M.F. Randolph // Geotechnique 47(4). - 1997. - P.841 - 856.
8. Kikuchi Y. Mechanism of inner friction of an open-ended pile / Y. Kikuchi // Press-in Engineering 2011: Proceedings of Third IPA International Workshop in Shanghai. International Press-in Association. - 2011. - P. 65-83.

Статья поступила в редакцию 23.09.2013 г.