

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРУБЧАТЫХ СВАЙ С ГРУНТОМ

Бугаев В.Т., Бугаева С.В., Гоменюк А.О. (*Одесский национальный морской университет*)

**Дано описание экспериментальной установки для изучения взаимодействия сваи-оболочки с грунтом. Приведены некоторые результаты испытаний трубчатой сваи на осевую нагрузку.**

В последнее время в транспортном и портовом гидротехническом строительстве находят широкое применение стальные трубчатые сваи с наружным диаметром  $0,8 \div 1,5$  м и толщиной стенки  $10 \div 15$  мм для устройства свайного основания причальных сооружений эстакадного типа, подкрановых путей, экранирования больверков, при реконструкции и для усиления эксплуатируемых сооружений и др.

Применение стальных трубчатых свай с открытым нижним концом без последующей выемки грунта из их полости способствует сокращению объемов и сроков производства строительных работ, расходов материалов за счет более рациональной работы таких свай.

Из-за отсутствия общегосударственных и ведомственных нормативных документов по расчету стальных трубчатых свай с открытым нижним концом единственной возможностью установления их несущей способности является способ статических испытаний в полевых условиях, требующих дорогостоящего технологического оборудования, оснастки и длительного времени их проведения. Основные требования к проведению статических и динамических испытаний свай изложены в ГОСТ 5686 – 95 [1] и СНиП 3.02.01 – 87 [2]. С учетом требований этих документов могут быть определены частные значения предельного сопротивления сваи, по которым производится статическая оценка ее несущей способности по грунту.

Учитывая актуальность проблемы, на кафедре теоретической и прикладной механики ОНМУ разработана, изготовлена и испытана установка для исследования взаимодействия сваи-оболочки с грунтом, на которую выдан Патент Украины [3].

В основу изобретения поставлена задача создания устройства для изучения взаимодействия сваи-оболочки с грунтом, обеспечивающего возможность разделения сил сопротивления грунта, действующих на сваю-оболочку при ее погружении или извлечении из грунта, осевыми



нагрузками, на составляющие по внутренней и наружной боковым поверхностям и по кольцевому торцу низа сваи, а также установления по глубине распределения нормального давления и сил трения по наружной боковой поверхности сваи-оболочки.

Экспериментальная установка включает: грунтовый лоток; модель сваи-оболочки специальной конструкции; устройство для создания осевой нагрузки при погружении модели в грунт и ее извлечении из грунта; измерительную и регистрирующую аппаратуру.

Грунтовый лоток имеет размеры: высота – 115 см, ширина – 75 см, длина – 80 см. Боковые стенки лотка выполнены из листов полированного стекла толщиной 15 мм, опирающиеся на металлический каркас. Задняя стенка разборная и состоит из отдельных досок толщиной 40 мм, которые устанавливались по концам в предусмотренные направляющие. Такая конструкция позволяет легко опорожнять лоток от песка и определять угол естественного откоса, который, как известно, для сухого песка равен углу внутреннего трения.

Передняя стенка лотка выполнена в виде жесткой металлической плиты, которая закреплена сверху с двух сторон шарнирными опорами. По оси плиты на расстоянии 12 см от дна лотка установлена третья шарнирная опора, закрепленная к каркасу лотка. Эта плита выполняет роль подпорной стенки. Для получения эшюры давления грунта на стенку, по ее оси в предусмотренные гнезда вмонтированы датчики давления с шагом 15 см по высоте. Конструкция датчиков разработана на кафедре МРПВПиТЭ ОНМУ и описана в работе [4]. Для изучения кинематики перемещения частиц песка при погружении или извлечении из грунта модели сваи на боковой стенке наклеена сетка с ячейками  $5 \times 5$  см.

Основным элементом установки является модель сваи-оболочки специальной конструкции [3], которая включает корпус 1, состоящий из набора цилиндрических звеньев определенной высоты с проточками по торцам, соединенных между собой с внутренней стороны тремя, равномерно расположенными по кругу, плоскими скобами с одним удлиненным и другим круглым отверстиями по концам 2. Скобы, изготовленные из листовой стали толщиной 0,5 мм, закрепляются с помощью болтов 3 одним концом к верхнему цилиндрическому звену, а другим – к нижнему с возможностью продольного смещения. На наружной плоскости каждой скобы наклеены тензорезисторы для измерения в них растягивающих усилий, определяющих силы трения грунта по наружной боковой поверхности каждого звена. В каждом звене по середине его высоты предусмотрено гнездо для установки датчиков давления грунта на боковую поверхность звена. Внутри корпуса 1 соосно помещен полый цилиндрический сердечник 4, на наружной поверхности которого наклеены тензорези-



сторы 5 для измерения давления грунта на внутреннюю поверхность цилиндрического сердечника. Снизу модели сваи-оболочки смонтирован штамп кольцевого сечения 6, жестко соединенный с грунтозащитным кожухом в форме стакана. Кроме того, корпус 1 и цилиндрический сердечник 4 вставлены в проточки штампа 6 с возможностью их продольного перемещения. Возможные конструктивные решения формы подошвы штампа показаны на рис.1. По верху модели предусмотрена нагрузочная площадка 7, соединенная с корпусом и сердечником соединительным болтом 8. Площадка, кроме того, крепится к корпусу болтами 9. Соосность корпуса 1 и сердечника 4 обеспечивается предусмотренными проточками на штампе 6 и нагрузочной площадке 7 диаметрами равными внутренним диаметрам корпуса и сердечника.

На рис. 1 показан продольный разрез модели сваи-оболочки.

Перед погружением в грунт модели корпус 1 и сердечник 4 скрепляются через нагрузочную площадку 7 соединительным болтом 8, кроме того, корпус крепится болтами 9 к нагрузочной площадке. Производится подключение датчиков к регистрирующей аппаратуре и их балансировка. После погружения модели сваи-оболочки в грунт удаляется соединительный болт 8 и производится испытание модели осевой нагрузкой в четыре этапа.

На первом этапе производится загрузка площадки 7 вдавливающей, возрастающей ступенями нагрузкой. При этом происходит погружение в грунт только корпуса, сердечник и штамп остаются неподвижными. После каждой ступени нагружения и стабилизации перемещений корпуса, фиксируется нормальное давление грунта на оболочку с помощью датчиков 10 и суммарная сила трения по наружной поверхности корпуса. Этот процесс производится до касания кольцевого выступа нагрузочной площадки 7 с верхним торцом цилиндрического сердечника 4. Момент касания фиксируется включением индикаторной лампочки. Таким образом, на первом этапе грунт взаимодействует только с наружной поверхностью корпуса модели сваи-оболочки.

Далее удаляются болты 9, отсоединяется корпус от нагрузочной площадки 7, вступает во взаимодействие нагрузочная площадка 7, цилиндрический сердечник 4 и штамп 6, приступают к выполнению испытаний модели во втором этапе. На площадку 7 прикладывается ступенями, определенной интенсивности, вдавливающая нагрузка. После каждой ступени нагружения измеряются давление грунта на цилиндрический сердечник, силу трения по его внутренней поверхности и сопротивлением грунта по подошве штампа. Нагружение доводится до их расчетной предельной несущей способности. В этих



испытаниях корпус модели 1 остается неподвижным. В ходе проведения этого этапа испытаний определяются давление грунта и силы трения по внутренней поверхности цилиндрического сердечника 4 и давление грунта по подошве штампа кольцевого типа 6.

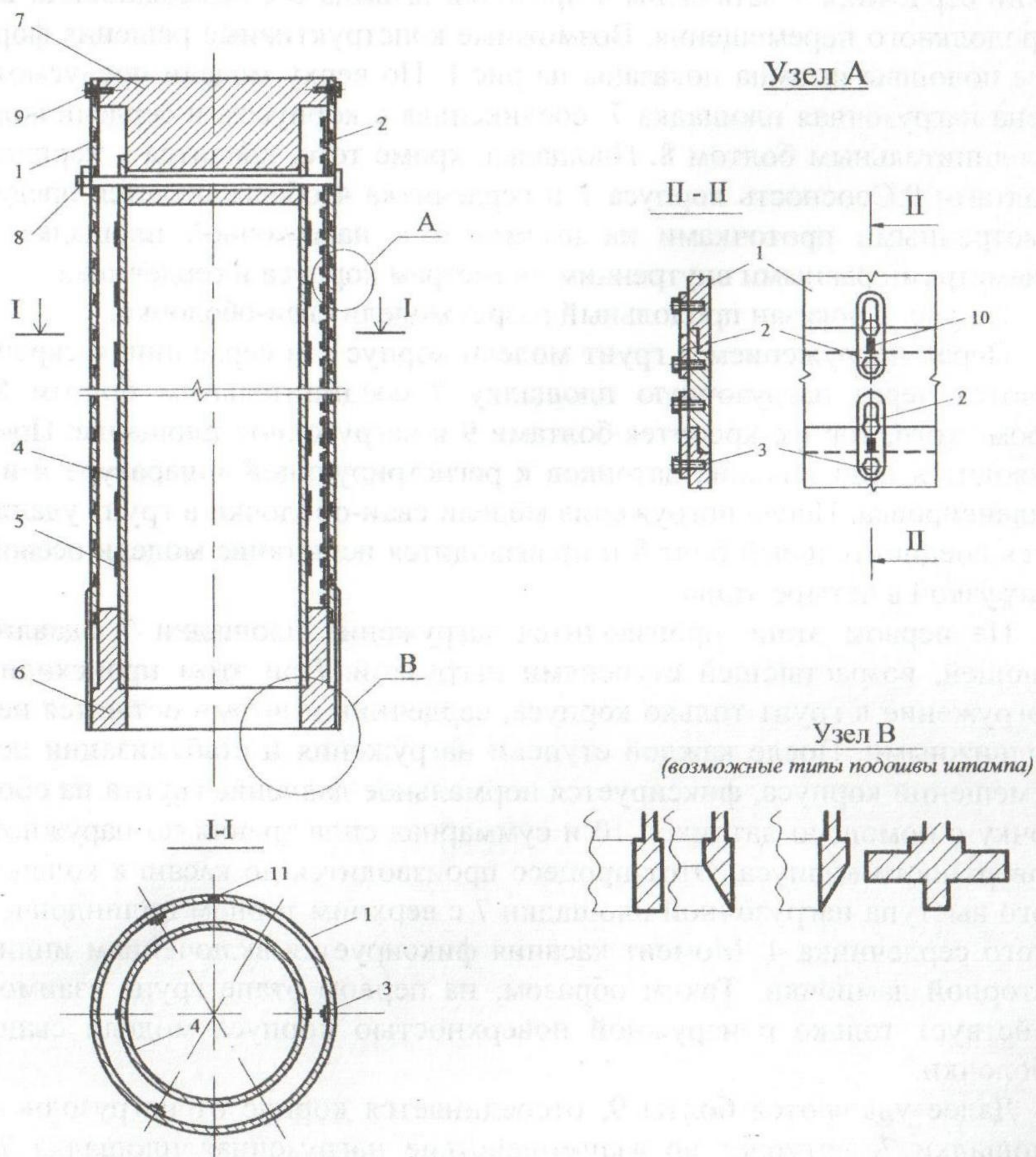


Рис. 1 Продольный разрез модели сваи-оболочки: 1 – корпус; 2, 3 – плоские скобы и болты для их крепления; 4 – цилиндрический сердечник; 5, 10 – тензорезисторы; 6 – штамп; 7 – нагрузочная площадка; 8 – соединительный болт; 9 – болты для крепления корпуса к нагрузочной площадке; 11 – датчики давления грунта



Для разделения сопротивления грунта, действующего по внутренней поверхности цилиндрического сердечника и подошве штампа, на составляющие проводят третий этап испытаний модели в такой последовательности. Нагрузочная площадка снимается. В предусмотренные отверстия в верхней части цилиндрического сердечника для соединительного болта 8 закрепляется скоба, которая соединяется с помощью троса с механизмом для создания осевой выдергивающей нагрузки. В этих испытаниях корпус модели и штамп остаются неподвижными.

После подготовки модели и оборудования к испытанию, к верхнему концу сердечника прикладывается ступенями осевая выдергивающая нагрузка. В ходе испытаний, после каждой ступени нагружения, измеряется давление грунта на цилиндрический сердечник суммарная сила трения по его внутренней поверхности, а также и его вертикальные перемещения.

На четвертом этапе определяются величины и распределение нормального давления грунта и сил его трения по высоте наружной поверхности корпуса модели при ее извлечении из грунта осевой нагрузкой.

Вначале вступает в работу первое звено корпуса 1, которое перемещается вверх под действием возрастающей выдергивающей осевой силы на длину удлиненного отверстия в плоских скобах первого звена (около 4 мм). Фиксируется нормальное давление грунта с помощью датчика 5 и сила трения по наружной поверхности первого звена датчиками 10. При этом цилиндрический сердечник и штамп остаются неподвижными.

При дальнейшем увеличении выдергивающей нагрузки в работу включается второе звено и перемещается вместе с первым звеном вверх на величину удлиненных отверстий в плоских скобах второго звена. Измеряются нормальное давление грунта и его силы трения по наружным поверхностям первого и второго звеньев.

Затем при увеличении выдергивающей нагрузки в работу вступает третье звено и перемещается вверх на величину удлиненных отверстий в плоских скобах третьего звена вместе с первым и вторым звеньями и т.д. до полного извлечения корпуса модели из грунта.

Проведенные предварительные методологические испытания предложенной модели сваи-оболочки показали ее надежную работоспособность.



### **Вывод**

Таким образом, предложенная модель сваи-оболочки позволяет исследовать взаимодействие грунта с оболочкой отдельно: определять нормальное давление грунта на внешнюю поверхность сваи-оболочки, сопротивление грунта по наружной и внутренней боковым поверхностям и нижнему торцу, а также устанавливать распределение по глубине погружения модели нормального давления грунта и его сопротивление по наружной поверхности сваи-оболочки.

Результаты испытаний на такой модели позволяют более полно оценить совместную работу сваи-оболочки и взаимодействующего с ней грунта, и эффективно использовать современные методы расчета сооружений, это приведет к оптимальному решению и снижению материалоемкости свайных фундаментов.

### **Литература**

1. ГОСТ 5686 – 94 Грунты. Методы полевых испытаний свай. /Госстрой России. – М., Стандарты – 1996. – 49 с.
2. СНиП 2. 02. 03. – 85. Свайные фундаменты. /Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР – 1986. – 48с.
3. 3.Патент Украины № 77317 от 17. 11. 2006. /В.Т.Бугаев, С.В.Бугаева/.
4. П.И.Яковлев. О некоторых вопросах методики экспериментальных исследований давления грунта на стенку. Научные труды «Гидротехника», вып. II. – Транспорт. М. – 1964. – С. 79 – 87.