

## К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВДАВЛИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Матус Ю.В., Кушак С.И., Шутяк А.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

**Розглянуті результати дослідного проектування, виготовлення та впровадження на конкретному будівництві конструкції стенду з підпорними сталевими балками постійного поперечного перерізу для випробовування втискуючим навантаженням, яке дорівнює 600 тс, буронабивних пайль діаметром 1,0 м.**

В Украине в настоящее время в связи с тем, что центр тяжести строительства в городах смещен на возведение зданий повышенной этажности, широкое распространение получили свайные, тяжело нагруженные фундаменты, что обусловило актуальность и практическую важность проблемы разработки универсального оборудования (испытательных стендов), оптимальной конструкции, для испытания буронабивных свай большого диаметра ( $\geq 600$  мм) вдавливающей нагрузкой  $\geq 600$  тс.

При статических испытаниях буронабивных свай по стандартной методике ДСТУ [1] применяют в основном способ их загрузки при помощи гидравлических домкратов и стальных упорных балок, соединенных с анкерными сваями. Количество анкерных свай зависит от их сопротивления на выдергивание и значения вдавливающей нагрузки на испытываемую сваю. Вследствие значительных нагрузок на сваю, принимаются сварные, стальные упорные балки той или иной конструкции постоянного или переменного поперечного сечения. Многообразие имеет место и в конструктивном решении других деталей и отдельных конструкций стендов [2].

Проблема разработки оптимальной конструкции стендов не стала еще сферой пристального внимания как инженеров-испытателей свай, так инженеров-механиков и конструкторов стальных конструкций. Об этом, в частности, свидетельствует отсутствие в последнее время как самих исследований, так и публикаций по данной проблеме.

Не решены вопросы оптимального выбора, как конструкций стальных упорных балок, так и других элементов и деталей испытательных стендов.

Цель статьи - разработка варианта оптимальной конструкции оборудования (испытательного стенда с упорными стальными балками постоянного сечения) для испытания буронабивных свай диаметром 1,0 м вдавливающей нагрузкой 600 тс на основе опытного проектирования, изготовления, проведения пуско-наладочных работ и результатов внедрения опытного испытательного стенда при испытании свай применительно к условиям конкретного строительства.

В соответствии с заданием заказчика, разрабатываемое оборудование должно было обеспечить возможность проведения испытания свай на вдавливающую нагрузку усилием 506 тс на объекте строительства 25-ти этажного здания.

Свайное поле высотной части здания - сплошное, имеет сложную форму в плане и вписывается в прямоугольник с размерами в осях  $50,0 \times 45,2$  м. Оси продольного и поперечного рядов пересекаются под углом  $30^\circ$ . Шаг свай по продольной и поперечной осям соответственно - 2,0 и 1,8 м.

Сваи буронабивные, диаметром 1,0 м и длиной 30,0 м. Продольная арматура каркаса сваи - 20 стержней диаметром 32 класса АIII. Защитный слой продольной арматуры - 72 мм.

Был подобран комплект силового оборудования отечественного производства - оборудование компании «ГИДРУМ» (г. Донецк), состоящий из двух домкратов Д320В160П (грузоподъемностью 320 тс каждый), насоса с электроприводом НЭ63Р-1-24-1 (давление на выходе 63 МПа), коллектора и шлангов высокого давления; разработаны чертежи испытательной установки (стенда) применительно к свайному полю объекта при крестовом расположении четырех анкерных свай, т.е. с двумя стальными, поэтажно расположенными, упорными балками.

Конструкция стенда была изготовлена заказчиком при авторском надзоре и по чертежам, разработанным научно-исследовательской лабораторией «Основания, фундаменты и подземные сооружения» Института геотехники им. В.Н. Голубкова Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

Испытательный стенд конструктивно состоит из стальных сварных конструкций: упорных балок (2 шт.), анкерных плит (4 шт.), анкерных тяг (40 шт.), поддомкратной плиты, подвижной и неподвижной реперных систем.

Общий вид стенда во время проведения испытания сваи представлен на рис. 1.



Рис. 1. Испытательный стенд с упорными стальными балками постоянного сечения для испытания буронабивных свай диаметром 1,0 м вдавливающей нагрузкой 600 тс

Материал листового проката – сталь класса С245 и сталь С255 по ГОСТ 27772-88, марки стали ВпсЗпс по ГОСТ 380-81. Сварку выполняли электродами Э42.

Упорная балка стенда – стальная, коробчатого сечения. С целью повышения устойчивости стенок коробчатой балки и общего сопротивления ее поперечного сечения крутящему моменту, возникающему при внецентренном приложении внешней нагрузки, балка снабжена наружными и внутренними вертикальными ребрами жесткости. В связи с тем, что размеры внутреннего пространства балки достаточно малы и не позволяют проводить работы по устройству внутренних ребер, было принято следующее конструктивное решение. Коробчатую балку собирали из двух одинаковых сварных полубалок двутаврового сечения с вертикальными, расположенными с двух сторон стенки, ребрами жесткости. Вертикальные стенки и горизонтальные полки каждой полубалки приняты сечением соответственно  $24 \times 900$  (h) и  $260 \times 40$  (h) мм.

Вертикальные ребра жесткости толщиной 12 мм и шириной 110 мм устанавливали по концам и по середине каждой полубалки на участках длиной 1,0 м с шагом 250 мм, на остальных участках – с шагом 1,0 м. В местах строповки балки, ребра жесткости имеют толщину 22 мм, а наружное ребро снабжено проушиной в виде пластины с отверстием.

При сборке смежные горизонтальные полки полубалок по всей их толщине соединяли между собой продольными сварочными швами. Зазор между смежными внутренними ребрами жесткости составил 16 мм.

После сборки двух двутавровых полубалок в коробку, поверху верхней и понизу нижней полок коробки располагали пластины  $560 \times 16$  (h) мм. Каждую пластину крепили к полкам двутавровых балок по краям двумя продольными сварными швами, а в середине – двумя рядами электрозаклепок (пробочными швами) диаметром 34 мм общим количеством 88 штук на каждую полку. Шаг электрозаклепок вдоль балки – 200 мм. Поперек балки заклепки устанавливали симметрично ее продольной оси на расстоянии, равном 85 мм. Торцы балок зашивали листами размером  $530 \times 980$  (h) и толщиной 22 мм.

Габариты упорной балки – длина 9100, высота 1012 и ширина 560 мм. Масса каждой балки составила 8291 кг.

Балки, в процессе монтажа стенда, устанавливали на необходимой высоте на опорах, собираемых из бетонных блоков.

По результатам пуско-наладочных работ, с целью снижения деформаций от местного смятия нижней полки домкратами, было принято целесообразным устройство внизу нижнего пояса коробчатой балки стенда наддомкратной плиты размером в плане  $520 \times 1000$  мм и толщиной 30 мм, соединенной на сварке с нижней пластиной балки и симметрично расположенной относительно осей балки в плане.

Анкерная плита – стальная, сварная, жесткая конструкция, состоящая из нижней плоской, круглой, радиусом, равным 1000 мм, в плане плиты толщиной 50 мм, усиленной вертикальными кольцевым, с наружным радиусом 530 мм и толщиной 20 мм, и радиальными, толщиной 25 мм, ребрами жесткости. Высота ребер жесткости принята, равной 250 мм. Поверху кольцевого ребра жесткости расположена круглая, толщиной 16 мм, пластина, выполняющая функцию верхней затяжки вертикального кольцевого ребра.

В нижней плите по окружности радиусом 410,8 мм через 18° центрального угла устроены десять отверстий (по пять с разных сторон симметрично относительно центральной оси плиты) диаметром 39 мм для пропуска анкерных тяг, соединяемых с арматурой анкерных свай.

В двух противоположных радиальных ребрах выполнены отверстия для строповки анкерной плиты.

Общая высота анкерной плиты – 316 мм. Максимальное расстояние от кромки верхней полки упорной балки до оси анкерной тяги составило 130 мм.

Масса анкерной плиты – 653 кг.

Анкерные тяги приняты из стержневой арматуры того же диаметра, что и продольная арматура свай. Концевики тяг и стыки тяг с арматурой свай приняты в простейшем варианте – с двухсторонними накладками из арматуры того же диаметра и класса. Каждую накладку прикрепляли к тяге или арматурному стержню каркаса свай двусторонними сварными швами.

Поддомкратная, распределяющая нагрузку от домкратов на голову свай, плита – стальная, сварная конструкция, состоящая из нижней круглой плиты радиусом 350 мм и толщиной 40 мм и краевого, вертикального ребра жесткости высотой 100 мм и толщиной 10 мм. В процессе испытаний свай поддомкратную плиту устанавливали на, расположенный на голове свай, слой уплотненного среднезернистого песка толщиной 20 мм.

К вертикальному ребру на сварке прикрепляли две петли из арматуры диаметром 14 мм, служащие для строповки поддомкратной плиты при монтаже стенда.

Масса поддомкратной плиты – 141 кг.

В процессе пусконаладочных работ, в вертикальном ребре поддомкратной плиты были устроены два отверстия типа «выгрыз» для пропуска шлангов, идущих от коллектора к домкратам.

Подвижная реперная система – стальная, сварная конструкция, состоящая из двух пространственных, с общей продольной осью, ферм пирамидальной формы, с треугольным поперечным сечением и обечайки, находящейся между ними.

Каждую пространственную ферму собирали из трех отдельных плоских элементов: горизонтальной фермы с крестовой решеткой и двух наклонных ферм с раскосной решеткой. Пояса, раскосы и стойки ферм изготавливали из арматурных стержней диаметром 16 мм из стали класса АIII. Пояса ферм соединяли с обечайкой.

Обечайка – труба с наружным диаметром 1120, высотой 500 и толщиной стенки 10 мм. Вверху обечайки расположено горизонтальное кольцевое ребро с наружным диаметром 1100, шириной 80 (размер целесообразно увеличить до 100 мм) и толщиной 10 мм, посредством которого реперная система опирается на голову испытываемой свай. К обечайке для строповки приварены четыре проушины в виде пластин толщиной 12 мм с отверстиями. Жесткое закрепление реперной системы на голове испытываемой свай осуществляли при помощи восьми болтов М24, расположенных на четырех вертикалях в плане и двух горизонтах по высоте.

Габариты реперной системы: длина – 6120, ширина 1120 и высота – 500 мм. Масса подвижной реперной системы – 334 кг.

Неподвижная реперная система состояла из двух п-образных стальных, забиваемых в грунт, небольших легких рам, к ригелю каждой из которых во время испытания крепили по одному прогибомеру. Прогибомер посредством струны соединяли со стержнем – острием одной из пространственных ферм подвижной реперной системы.

Суммарная масса конструкций испытательного стенда – 19,7 т. Удельная, по отношению к создаваемому усилию вдавливания на сваю, масса стенда составила 33 кг на 1 тс вдавливающей нагрузки.

Экспериментально замеренный при нагрузке 600 тс, максимальный относительный прогиб системы упорных балок составил 1/350 пролета, что практически совпало с его расчетным значением (допускаемое значение относительного прогиба 1/250 [1]). Установлено, что работа балок стенда происходит в упругой (линейной) стадии. Работа конструкций именно в этой стадии характерна для любого испытательного оборудования и является нормой.

### **Выводы**

1. Пуско-наладочные работы и опыт последующих производственных испытаний (свыше 20 буронабивных свай диаметром 1,0 м) на вертикальную вдавливающую нагрузку до 600 тс включительно подтвердили правильность принятых конструктивных решений, простоту, удобство и безотказность работы испытательного стенда, предложенной конструкции.

2. В перспективе дальнейших исследований с целью снижения стоимости самого стенда, так и испытаний свай, их трудоемкости и времени рекомендуется

– разработать оптимальные технологические и конструктивные схемы стендов в зависимости от диапазона изменения максимального значения вдавливающей нагрузки на испытываемую сваю, количества и схемы расположения анкерных свай и их диаметров;

– определить условия рационального применения стальных упорных балок постоянного и переменного поперечного сечения;

– выполнить, с целью снижения удельной массы стенда на 1 тс вдавливающей нагрузки, работы по отработке оптимальной конструкции стальных упорных балок и анкерных плит на основе использования результатов компьютерного моделирования их напряженно-деформированного состояния;

– разработать конструкцию инвентарных механических захватов для замены ими сварных соединений анкерных тяг с продольными арматурными стержнями каркасов анкерных свай, а также захватов, располагаемых на анкерных плитах и позволяющих производить начальную, выполняемую до испытания, предварительную подтяжку анкерных тяг;

– разработать конструкцию инвентарных монтажных стальных опор упорных балок стенда.

3. Предложенная конструкция испытательного стенда может служить базовой при разработке в дальнейшем стенда для испытания буронабивных свай большого диаметра на вдавливающую нагрузку до 1000 тс (10000 кН) включительно.

Работы по опытному проектированию, авторский надзор за изготовлением и внедрение испытательного стенда на 1000 тс может выполнить научно-исследовательская лаборатория «Основания, фундаменты и подземные сооружения» Института геотехники им. В.Н. Голубкова Одесской государственной академии строительства и архитектуры (контактный тел. (048) 720-68-41).

## **Summary**

**The results of the experimental planning, making and introduction on concrete building of construction of stand are considered with the persistent steel beams of permanent cross-sectional for a test the pressing loading, equal 600 t, borings piles by a diameter 1,0 m.**

## *Литература*

1. ДСТУ Б В.2.1-1-95 (ГОСТ 5686-94). Грунти. Методи польових випробувань палями. – Київ, 1997. – 57 с. 2. Перлей Е.М., Цукерман Н.Я. Трубчатые железобетонные сваи колодцы-оболочки. – Л.,: Стройиздат, 1969. – 199 с.