

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ УСТРОЙСТВА
РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СВАЙ НА ИХ ТЕХНИКО-
ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

Кравцов В.Н., канд. техн. наук, доцент
(РУП «Институт БелНИИС», Белорусский национальный техниче-
ский университет, г. Минск, Беларусь)

Даны результаты экспериментальных исследований различных конструкций, технологии устройства современных набивных (последнее поколение) и стандартных готовых заводского изготовления свай в песчаных грунтах и выполнена технико-экономическая оценка их эффективности в зависимости от основных показателей эффективности (стоимость, трудоемкость, качество, условия строительства).

Results of experimental researches of various designs, technology of the device of modern stuffed (the last generation) and standard ready factory production of piles in sandy soils are given and the technical and economic assessment of their efficiency depending on the main indicators of efficiency (cost, labor input, quality, conditions of construction) is executed.

Анализ экспериментальных данных /1, 2 и др./ показывает, что дополнительное уплотнение грунтов значительно увеличивает их несущую способность. Поэтому в грунтовых условиях белорусского региона наиболее эффективны такие конструкции фундаментов, устройство которых приводит к существенному дополнительному уплотнению основания. К ним, в первую очередь, относятся фундаменты из свай уплотнения: готовых (забивных) стандартных призматических, пирамидальных и набивных в пробитых скважинах /3, 5 и др./. Ранее выполненные технико-экономические исследования показали /5/, что на основные критерии эффективности фундаментов (стоимость, трудоемкость, качество) существенное влияние ока-

зывает технология изготовления свай. Для оценки этого фактора в РУП "Институт БелНИИС" проведены сравнительные опытные работы по устройству различных типов вышеуказанных свай в песках, как наиболее распространенных основаниях в белорусском регионе /6 и др./ и сравнительная экономическая оценка полученных результатов.

Опытные площадки (ОП 1 и ОП 2) располагались на намытом массиве в пойме р. Днепр (микрорайон №4, в районе дома №9 по ул. Островского в г. Могилеве) с верхним слоем из переотложенного (насыпного) песка. Основание сверху-вниз представлено насыпным песком, преимущественно средним, мощностью 3-4,5 м ^① и ^② (рис. 1), в верхней и нижней зонах – рыхлым^①, а в средней зоне средней плотности^②. К моменту исследования возраст отсыпки насыпного песка составлял 3-4 года. Верхний слой песка подстилается растительным слоем мощностью 20-30 см. Ниже залегают алювиальный песчаный грунт^③ с чередованием слоев песка мелкого, среднего, крупного и гравелистого с преимущественным распространением мелкого песка. Подстилающие грунты, в основном, средней плотности с наличием линз и прослоев рыхлых грунтов (см. рис. 1).

Согласно данным, ранее выполненным исследованиям /3, 4 и др./, к рассмотрению приняты: короткие набивные сваи в вытрамбованных (варианты 1 и 2) и буровых скважинах (вариант 5), а также микросвайные фундаменты (вариант 4) по Пособию П 19-04 к СНБ 5.01.01-99 /6/ (как наиболее экономически эффективные) и стандартные (забивные) сваи (как наиболее массовые изделия) по ГОСТ 19804.1 сечением 200x200 мм (250x250 мм), длиной 3-5 м (вариант 3, принятый за эталон), устраиваемые без прорезки верхнего рыхлого слоя. (Далее сваи по вариантам 1...5 обозначаются – "сваи №1...№5").

Набивные вытрамбованные сваи №1 и №2 изготавливались длиной до 2,2 м как в предварительно отрытом котловане под дом №9 (ОП 1), так и за его пределами (ОП 2) в различных местах намывной территории в песке различной крупности, от рыхлого до плотного. В общей сложности было изготовлено 12 опытных свай №1 и №2 по разной технологии. Вытрамбовка скважин производилась с помощью навесного оборудования к трактору С100 со свободным сбрасыванием штампа-трамбовки пирамидальной формы (рис. 16) массой 3 т с фиксированной высотой падения 2 м (рис. 2).

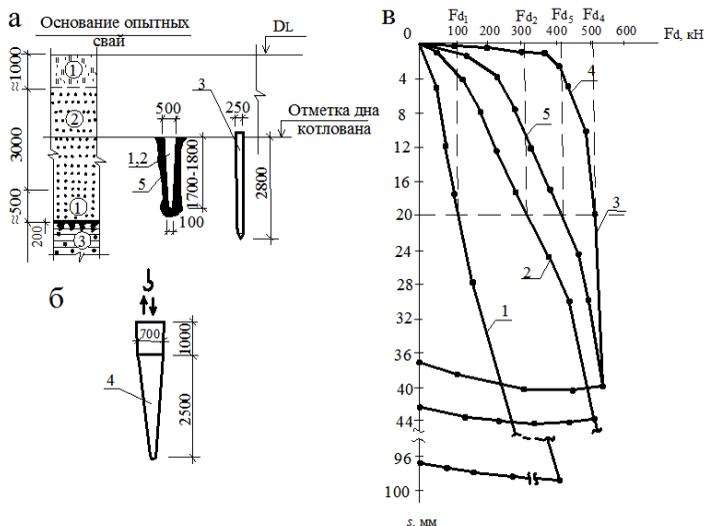


Рис. 1 Характеристики опытных свай, основания (а), штампа (б), и результаты испытаний (в):
 1-3 – номера опытных свай по табл. 1; 4 – штамп-трамбовка для изготовления вытрамбованных свай №1 и №2; 5 – глиняная рубашка

В процессе устройства первых опытных вытрамбованных свай (4 скважины) было установлено, что, начиная с глубины погружения штампа 1-1,5 м, происходит разрушение структурной связности песка обрушение стенок скважин, а дальнейшее его трамбование (даже при доувлажнении) к положительному результату не приводит. Полости получаются неправильной формы глубиной не более 1,2 м. В связи с этим последующие опытные сваи изготавливались с использованием глины и щебня по следующим двум технологическим вариантам. По первому варианту (для свай №1) в начале вытрамбовывали скважину глубиной около 1 м, засыпали в нее послойно глину и щебень; довытрамбовывали полость глубиной 1,2-1,5 м. Снова засыпали глину и щебень с повторным трамбованием заполнителя. Выше описанный цикл работ обеспечивал получение полости глубиной не более 2-2,2 м. Для этого требовалось 10-15 сбрасываний штампа, дополнительно 0,3-0,4 м³ глины и 0,2 м³ щебня. Вместе с тем наблюдалось существенное поднятие грунта во-

круг скважины (на 10-15 см) с ярко выраженным его выпором в стороны от нее и разуплотнением песка в угловых зонах пробитой полости. Поэтому скважин глубиной более 1,7 м с требуемым качеством их стенок – получить не удалось.



Рис. 2. Общий вид оборудования (слева) и вытрамбованной скважины (справа)

Последующие работы (4 опыта) проведены по скорректированной технологии (вариант 2). Скважина для свай №2 трамбовалась до полного обрушения ее стенок. Затем ее верхнюю часть послойно заполняли песком и щебнем и снова трамбовывали до полного обрушения ее стенок. Указанный цикл работ повторялся до получения скважины глубиной 1,8 м с уширенной щебеночной пятой. Для этого требовалось 22-25 сбрасываний штампа (15 мин), 0,1 м³ щебня и 0,25 м³ глины, что существенно меньше, чем по первому варианту. При этом не наблюдалось поднятия поверхности грунта и его выпора в стороны. Однако и в данном случае не удалось добиться качественных скважин глубиной более 1,8 м.

В дальнейшем после модернизации штампа и навесного оборудования за счет скругления его острых углов и уменьшения высоты сбрасывания удалось достичь проектной глубины скважины – 2,2 м

удовлетворительного качества (см. рис. 2). Однако, это было сопряжено со значительным увеличением трудоемкости, расходов щебня и глины.

В процессе опытного изготовления свай 1 и 2 определяли также горизонтальные перемещения грунта и минимальное расстояние между скважинами. С этой целью четыре из них были вытрамбованы на расстоянии друг от друга (1, 2, 3 и 5) м. Было установлено, что минимальное расстояние между готовыми полостями должно быть не менее (2,5 – 3) м. В этом случае не наблюдается подвижек стенок ранее вытрамбованных скважин и разрыхления грунта в зоне уплотнения. Допустимо также устраивать скважины через одну с последующим возвращением к пропущенным местам или с применением вкладышей.

Сваи, изготовленные по вариантам 1 и 2, испытаны статической вдавливающей нагрузкой по методике СТБ 2242-2011 /8/. Свая по варианту 1 отличается от сваи по варианту 2 тем, что глиняная "рубашка" у нее имеется не только вдоль боковой поверхности, но и под ее пятой, а также отсутствием дополнительного объема грунта, втрамбованного в пяту и стенки скважины. Размеры свай № 1 и № 2 идентичны: ширина по верху 500 мм, длина (1700-1800) мм. Для сравнения рядом с ним погружены и испытаны также забивные сваи сечением (300 × 300) мм стандартной номенклатуры, забитые без затруднений, дизель-молотом С-330 на глубину (2,5-4) м. Испытания всех свай выполнены по методике, регламентируемой СТБ 2242-2011 /8/. Результаты испытаний приведены на рис. 1.

Установлено, что сваи 2 в вытрамбованных скважинах изготовленные по варианту 2 в переотложенном (насыпном) песке среднем и мелком могут использоваться под нагрузку не более 300 кН. При этом сваи № 1 по варианту 1 не отвечают требованиям надежности из-за деформативной глиняной рубашки вдоль боковой поверхности и под ее острием, снижающей их несущую способность по сравнению с вариантом 2, в 2,8 раза, а с забивными сваями № 3 – до 4 раз.

Результаты выполненного технико-экономического сравнения различных типов испытанных свай по методике, приведенной в /5/, даны в таблице 1. Анализировались также данные о работе микро-

свайных фундаментов (оголовки $70 \times 90 \times 50$ (h) см, $l = 1500$ мм) в аналогичном мелком песке (пойма реки Горынь, г. Давид-Городок) в возрасте 1 года приведенные в работе Ляха В.Н. /9/, а о работе буронабивных свай (диаметры ствола 500, пяты 700 мм, $L = 3$ м) № 5 в среднем песке (пойма реки Сож м-н № 5 г. Гомель) приведенные в /1/. Сравнительный технико-экономический анализ исследуемых набивных свай различных типов, устраиваемых в песчаном основании, сведен в таблицу 1.

Анализ таблицы 1 показывает, что с технико-экономической точки зрения предпочтительны набивные сваи уплотнения, в вытрамбованных (вариант №2) и выштампованных (вариант №3) скважинах по пособию /7/ (см. таблицу 1), а с индустриальной и технологической – готовые сваи №3.

Однако, при изготовлении свай №1 и №2 в пробитых скважинах по /7/ из-за разрушения стенок полостей, требуется дополнительное вытрамбование глины и щебня, а для выштампованных микросвайных (№4) и буронабивных (№5) свай с вытрамбованной пятой – в первом случае, устройство опалубки оголовка, а во втором – использование обсадных труб. Поэтому их стоимость и трудоемкость значительно увеличиваются и становятся сопоставимыми с аналогичными показателями стандартных призматических готовых (забивных) свай № 3. Причем, если для готовых свай отбросить заводские затраты на изготовление – то их применение в песках во всех случаях, в технико-экономическом плане, сопоставимо или выше по эффективности с набивными сваями всех типов. При этом, в сложных грунтовых условиях и при отрицательных температурах в зимний период эффективны также готовые сваи; для малоэтажного строительства с наибольшими нагрузками и прочным верхним слоем основания, готовые сваи малого сечения по всем основным показателям эффективности (расход бетона, трудоемкость, всепогодность, качество и др.) – самые эффективные.

Таблица 1

технико-экономическое сравнение эффективности различных типов свай, изготовленных по разным технологиям в песчаных основаниях (в базовых ценах 2006 г.)

| Тип, марка свай, и допускаемая на них нагрузка F_u , полученная из опыта, кН | Показатели (критерии) эффективности | | | | |
|--|-------------------------------------|---|---|------------------------|--|
| | Объем бетона С15/20, м ³ | Объем щебня (числитель) и глины (знаменатель), м ³ | Расход арматуры приведенный к классу А1, кг | Трудоемкость Т, ч-д. | Коэф. Эффективности по /10/, $Z = \frac{N_{100}}{\Pi \times T}$, руб. х ч-д на 100 кН нагр. |
| 1. В вытрамбованной скважине свая № 1 (вар.1) по /7/ СТ 1,7.50.10 П $F_u = 91$ кН, $F_d = 108$ кН (см. рис. 1) | 0,20 | $\frac{0,1}{0,3}$ | 2,52 | 0,76 (0,27) | 6,52 (20,6) |
| 2. То же, свая №2 (вар. 2) $F_u = 250$ кН; $F_d = 300$ кН (см. рис. 1) | 0,20 | $\frac{0,2}{0,4}$ | 2,52 | 0,80 (0,27) | 5,82 (20,60) |
| 3. Готовая (забивная) свая стандартной номенклатуры (эталон) №3 СЗ-25, L = 3м, $F_u = 347$ кН, $F_d = 416,6$ кН (см. рис. 1) | 0,18 | - | 13,56 | 0,67 [0,37] | 4,75 [12,47] |
| 4. Микросвайный фундамент по /7/ СШ1,5.15-3М70.90 В, нагрузка по /9/: $F_u = 425$ кН, $F_d = 510$ кН (см. рис. 1) | 0,27 | -- | 2,01 | 0,44 (0,35) | 9,89 (14,90) |
| 5. Бурунабивная с вытрамбованной пятой СБ 3.50.70 П, по /7/, нагрузка по /1/ $F_u = 1083$ кН $F_d = 1300$ кН (см. /1/) | 0,77 | - | 14,39 | 0,61 | 5,90 |
| 6. Уровень значимости показателей эффективности при технико-экономической оценке свай, % | До 20 | 5 | 5 | До 20+ стоимости до 20 | 30 (сезонность, оборудование, время изготовления и др.) |
| Примечание. В круглых скобках приведены данные без учета затрат на щебень и глину для свай № 1, № 2 и опалубку свая № 3; в квадратных – без учета заводских затрат (для свай №3). $F_u = \frac{F_d}{1,2}$, где F_d – см.рис. 1 (для свай №№1-4), а также /9/ (для свай № 4) и /1/ (для свай № 5). N_{100} – нагрузка на сваю от здания, равная 100кН; Π – приведенные затраты, в данном случае, равные себестоимости устройства свай, определенной по методике /5/. | | | | | |

Выводы

Сравнительные испытания и технико-экономический анализ различных типов свай показали, что с экономической точки зрения для песков наиболее предпочтительны фундаменты из набивных свай "уплотнения" в пробитых скважинах по П19-04 /7/, а с промышленной и технологической – готовые заводского изготовления (забивные), особенно призматические малого сечения до (250×250) мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахиров, В.Б. Опыт применения буронабивных свай в Белорусской ССР / В.Б. Шахиров, К.Н. Раткевич. – Минск : БелНИИНТИ, 1976. – 67 с. – (обзорная информация. Серия : Строительство).
2. Крутов, В.И. Фундаменты в вытрамбованных котлованах / В.Н. Крутов, Ю.А. Багдасаров, И.Г. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1985. – 164 с.
3. Сеськов, В.Е. Эффективные конструкции свайных фундаментов для строительства в условиях БССР / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов // Обзорная информация. Серия 67.11.29. – Минск : Белорусский НИИНТИ и ИТЭИ Госплана БССР, 1986. – 50 с.
4. Сеськов, В.Е. Тенденция развития и опыт применения прогрессивных фундаментов в условиях Белоруссии / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов, В.Н. Лях // Строительная наука и техника. – 2007. – № 5(14). – С. 131 – 142.
5. Кравцов, В.Н. Принципы оптимального проектирования и пути повышения эффективности железобетонных фундаментов в грунтовых условиях Республики Беларусь / В.Н. Кравцов, Н.В. Сорока // Проблемы современного бетона и железобетона: Материалы III Междунар. Симпозиума (Минск, 9-11 ноября 2011 г.). в 2 т. Т 1. Бетонные и железобетонные конструкции / МАиС Республики Беларусь. РУП "Институт БелНИИС"; редкол.: М.Ф. Марковский (председатель) [и др.]. – Минск : Минсктиппроект, 2011. – С. 206 – 221.
6. Колпашников, Г.А. Инженерная геология : Учебное пособие / Г.А. Колпашников. – Минск : УП "Технопринт", 2004. – 134 с.

7. П19-04 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство фундаментов из свай набивных с уплотненным основанием. – Минск : МАиС РБ : РУП «Стройтехнорм», 2006. – 88 с.

8. СТБ 2242-2011. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. – Введ. 01.07.2012. – Минск: Стройтехнорм, 2012. – 37 с.

9. Лях, В.Н. Экспериментальные исследования работы набивных микросвайных фундаментов в намывных грунтах // Фундаменты на искусственных основаниях в условиях Белорусской ССР : Сб. тр. ИСиА. – Минск: МАиС РБ, 1986. – С. 30 – 35.

10 ТКП 45-5.01-254-2012 Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования»: – Введ. 05.01.2012. – Минск: МАиС РБ, 2012.– 102 с.

УДК 624.131.52

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИСЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГРУНТОВ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ ПЕРУКСУСНО-СИЛИКАТНЫМИ РАСТВОРАМИ

Левенко А. М., ассистент

(Харьковский национальный университет городского хозяйства
имени А. Н. Бекетова, г. Харьков, Украина)

В современном мире вопросы загрязнения окружающей среды стоят очень остро. В последнее время они стали выходить на первое место в мировых отношениях и при сотрудничестве различных мировых хозяйственных деятелей. В странах выделяются значительные средства как на мероприятия по предотвращению загрязнения окружающей среды, так и на борьбу с их последствиями.

Загрязнение грунтов – один из наиболее опасных видов деградации земель. Это связано с рядом причин. Многие загрязняющие вещества способны к дальнему переносу от локальных источников загрязнения и к глобальному рассеянию. Концентрация их в различных природных средах регионов, удаленных от крупных промышленных центров, имеет тенденцию роста, и это не может не настораживать.