



Фурсов Ю. В.



Юнис Башир Н.



Али Адил Халид

Фурсов Ю. В., к.т.н.,
доцент кафедры архитектуры зданий и сооружений
и дизайна архитектурной среды, Харьковский национальный
университет городского хозяйства им. В.А. Бекетова.

Юнис Башир Н., к.т.н.,
доцент кафедры строительной механики,
✉ docbasheer01@gmail.com ☎ +38 (093) 661 04 94;

Али Адил Халид, аспирант;
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры,
ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002.

Yu. Fursov, Ph.D.,
Associate Professor of the Department of Architecture of Buildings
and Structures and Design architectural environment, Kharkiv National
University of Urban Economy named after V.A. Beketov.

N. Yunis Bashir, Ph.D.,
Associate Professor of the Department of Structural Mechanics,
✉ docbasheer01@gmail.com ☎ +38 (093) 661 04 94.

Ali Adil Khalid, PhD student;
Kharkiv National University of Construction and Architecture,
st. Sumskaaya, 40, Kharkov, 61002

ТРУБЧАТЫЕ БЕТОННЫЕ БУРОВИБРОВАКУМИРОВАННЫЕ СВАИ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**БЕТОННІ ТРУБНІ ПАЛІ, ВИГОТОВЛЕНІ ВІБРАЦІЙНО-ВАКУУМІРОВАНІМ СПОСОБОМ
ДЛЯ МАЛОПОВЕРХОВОГО БУДІВНИЦТВА**

CONCRETE PIPE BORED PILES MANUFACTURED BY VIBRATION-VACUUMING FOR LOW-RISE CONSTRUCTION

Аннотация. Разработаны новые конструктивные решения возведения экономичных фундаментов, основанные на технологии формирования пустотелых буронабивных свай из высокопрочного мелкозернистого бетона. В соответствии с проведённым расчётом по прочности бетона для разработанной в ХНУБА сваи вышеуказанного размера расход бетона по сравнению со сваем Страуса может быть уменьшен с 0,21 м³ (сплошная свая) до 0,05 м³ (свая ХНУБА), т.е. уменьшение в 4 раза.

Значительное снижение расхода материала показывает экономическую эффективность устройства в грунте тонкостенных свай.

Ключевые слова: трубчатые сваи, фундамент, бетон, малоэтажные здания, несущая способность.

Анотація. Розроблено нові конструктивні рішення зведення економічних фундаментів, які засновані на технології формування пустотілих буронабивних палей з високоміцного дрібнозернистого бетону. Відповідно до проведеного розрахунку міцності бетону для розробленої в ХНУБА палі вищевказаного розміру, витрата бетону в порівнянні з палею Страуса може бути зменшена з 0,21 м³ (суцільна палея) до 0,05 м³ (палея ХНУБА), тобто зменшення в 4 рази. Значне зниження витрат матеріалу показує економічну ефективність тонкостінних палей.

Ключові слова: трубчаста палі, фундамент, бетон, малоповерхові будівлі, несуча здатність.

Abstract. New constructive solutions have been developed for the construction of cost-effective foundations based on the technology of forming hollow bored piles from high-strength fine-grained concrete. The using of the new pile foundations in low-rise construction allows to reduce construction costs by 50 % and reduce the volume of earthworks, reduce concrete consumption.

Key words: pipe piles, foundation, concrete, low-rise buildings, bearing capacity.

Постановка проблеми

В настоящее время в Украине ощущается значительный дефицит жилья, обветшал жилищный фонд. Остро стоят проблемы жилья для молодых семей и военнослужащих. Не менее важны вопросы строительства жилья в сельской местности и для развивающегося фермерского движения, с повышением уровня жизни человек стремится обеспечить комфортные условия проживания. Учитывая, что платежная способность основной массы населения на сегодняшний день остается низкой, необходимо изыскивать новые способы строительства, которые бы снижали технико-экономические показатели. На текущий момент есть необходимость создания технологий строительства, способствующих решению жилищной проблемы с ориентировкой на дешевое, доступное для большинства граждан жилья, с учетом последних достижений строительной

науки, строительного материаловедения и опыта возведения жилья как в Украине, так и за рубежом. Одним из проблемных направлений является снижение трудоемкости и повышение прочности конструкций подземной части, в частности, свайных фундаментов.

Анализ исследований и публикаций

Впервые технологию устройства набивных свай предложил в 1899 г. киевский инженер А.Э. Страус [1]. Устраивали скважины в грунте, заполняли бетонной смесью и ручным трамбованием уплотняли бетон (железобетон) (рис. 1). Из-за значительной трудоемкости такие сваи имели ограниченное применение. В 1935 г. Л.М. Пешковский предложил для жилищного строительства внедрять буронабивные сваи длиной 3÷6 м, а для бурения скважин использовать передвижные

лёгкие буровые станки. Такие сваи в бывшем СССР применялись ограниченно вплоть до 60-х гг. XX в., тогда как при строительстве крупных заводов и предприятий в основном применяли буронабивные сваи.

За рубежом (США, Германия, Япония) область применения набивных свай охватывает 40÷60 % работ по возведению фундаментов. Работы научно-исследовательских организаций показали перспективность расширенного применения набивных свай, а экономические расчёты показали, что применение коротких буронабивных свай взамен ленточных фундаментов на объектах малоэтажного строительства снижает объёмы земляных работ в 2 раза и позволяет на 40÷50% снизить стоимость фундамента [3–6].

Среди программных задач для совершенствования конструктивных решений свайных работ, направленных на расширение области применения в малоэтажном строительстве, основными являются:

- повышение несущей способности свай;
- применение коротких набивных свай длиной 2,5÷6 м;
- создание специализированных организаций, производящих полный комплекс работ по устройству фундаментов.

В свое время авторы исследований [2, 4, 7] актуализировали вопросы повышения эффективности возведения фундаментно-подвальной части зданий. Оптимизационные тенденции [8] можно охарактеризовать стремлением снизить материалоемкость при повышении несущей способности свайных конструкций.

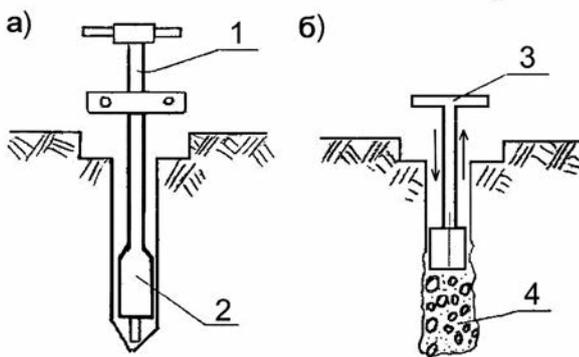


Рис. 1. Буронабивная свая А.Э. Страуса: а) устройство скважины в грунте; б) заполнение скважины бетоном и уплотнение трамбованием; 1 – ручной бур; 2 – желонка; 3 – ручная трамбовка; 4 – бетон

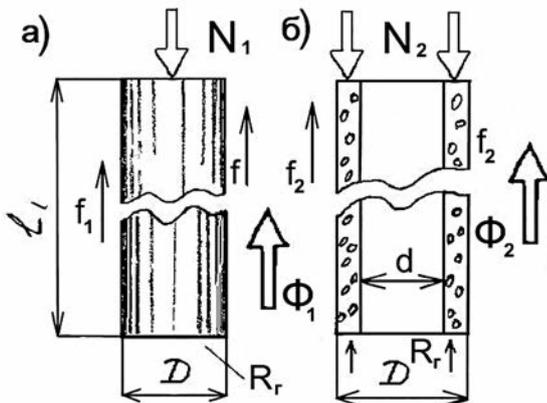


Рис. 2. Действие внешних сил на сваю:
1) сплошная бетонная свая;
2) полая свая ХНУБА

Цель исследований

Рационализация свайных конструкций малоэтажных зданий с возможностью перехода от сплошных к пустотелым сваям через снижение материалоемкости, повышение прочности и плотности бетона.

Изложение основного материала

В соответствии с нормами [2] для изготовления буронабивных свай рекомендован бетон класса С15. На рис. 2, а представлены силы, действующие на цилиндрическую висячую сваю, несущая способность которой определяется:

$$\Phi = \Phi_{бок} + \Phi_{тор}, \quad (1)$$

где $\Phi_{бок}$ – сопротивление сдвигу свай, как следствие её заземления в грунте силой f , направленной вдоль оси, тс/м²,

$$\Phi_{бок} = Ul_1f, \quad (2)$$

U – наружный периметр сечения сваи, м;

l_1 – средняя длина заземленной части сваи, м.

$$\Phi_{тор} = S_{тор}R_3, \quad (3)$$

$\Phi_{тор}$ – сила упора торца сваи в грунт, тс/м²;

$S_{тор}$ – площадь сечения внизу сваи, м²;

R_3 – сопротивление грунта.

От веса сооружения свая нагружена вертикальной силой N . Для нормальной работы основания необходимо соблюдение условия $\Phi \geq N$.

Кроме того, что свая должна без деформаций по грунту воспринимать усилие N , материал сваи также должен выдерживать нормальное напряжение b_b от силы N :

$$b_b = N / S_b \quad (4)$$

S_b – площадь сваи, на которую опирается часть сооружения (сила N).

Необходимо условие $b_b < R_b$, где R_b – расчётное сопротивление бетона на сжатие.

Рассмотрим сваю диаметром $d = 0,3$ м длиной $l_1 = 3,0$ м, грунт-суглинок $f = 0,25$ кг/см², $R_3 = 0,3$ кг/см². $\Phi_{бок} = 0,25 \cdot 28200 = 7050$ кг, $\Phi_{тор} = 211$ кг, $\Phi = 7050 + 211 = 7261$ кг.

При нагрузке $N = \Phi = 7261$ кг нормальное напряжение на бетонный стержень составляет:

$$b_b = \Phi / S \quad (5)$$

$$b_b = 7261 \text{ кг} / 706 \text{ см}^2 = 10,3 \text{ кг/см}^2.$$

Для принятого класса С15 расчётное сопротивление бетона $R_b = 85$ кг/см², таким образом только 12% расчётной прочности «работает» в конструкции сваи, и имеет место «запроектированный» перерасход бетона, и для экономного расходования материала необходимо обеспечить полную загрузку бетона. Для рекомендуемого класса бетона С15 достаточная прочность по бетону сваи обеспечивается при её поперечном сечении:

$$S_{дост} = \Phi / R_b \quad (6)$$

Для рассматриваемого случая:

$$S_{дост} = 7261 \text{ кг} / 85 \text{ кг/см}^2 = 85,5 \text{ см}^2.$$

Теоретически для уравнивания двух показателей несущей способности сваи по грунту и сопротивления сваи по материалу рациональной конструкцией является пустотелая тонкостенная цилиндрическая свая (рис. 2, б). Например, для сваи длиной 3,0 м, диаметром 300 мм достаточная толщина стенки 20 мм.

В соответствии с проведённым расчётом по прочности бетона для разработанной в ХНУБА сваи вышеуказанного размера расход бетона по сравнению со сваем Страуса может быть уменьшен с 0,21 м³ (сплошная свая) до 0,05 м³ (свая ХНУБА), т.е. уменьшение в 4 раза.

Значительное снижение расхода материала показывает экономическую эффективность устройства в грунте тонкостенных свай. Что выдвигает соответствующие требования к бетону, в частности, по предельно допустимой крупности щебня (1/3 толщины стенки), т.е. может быть использован только мелкозернистый бетон. Уплотнение такой смеси отличается от технологии, принятой для обычного бетона. Для нового типа свай разработана новая технология возведения тонкостенных свай, обеспечивающая формирование пустотелой части сваи.

В подготовленную скважину в грунте 2 на дно укладывается бетонная смесь 3. Укладывается перфорированный конусный стержень (ядро) 1 из металла или полимера вертикально на бетонную смесь. Сверху находится фильтр 4 из ткани или другого подобного материала. Ядро 1 выполнено таким образом, что соотношение d_1/d_2 на 1 м длины сваи составляет 10÷15 мм, т.е. в виде усеченного конуса. Внутри данного конуса находятся вибраторы 5 для уплотнения бетонной смеси и шланг 6 для откачивания лишней воды. Шланг 6 через кран 7 подсоединяется к насосу. Литая бетонная смесь 3 укладывается в пространство между стержнем 1 и стенкой скважины 2, уплотняется вибраторами 5, вода откачивается через кран 8 в течение 1÷5 мин в зависимости от диаметра сваи. Конусный стержень 1 поднимается вертикально с помощью подъемных устройств.

Экспериментально установлено, что наибольшая эффективность достигается при формировании свай методом вибровакуумирования с удалением из свежеложенной бетонной смеси до 30% лишней воды. В результате такой обработки бетонная смесь уплотняется, что, в свою очередь, увеличивает физико-механические свойства.

Лабораторные исследования на модели ($d_n = 0,14$ м, $d_a = 0,1$ м) показали, что мелкозернистый бетон на гранитном

отсеве ($\phi p = 0,1\div 5$ мм) при В/Ц= 0,38÷0,40 соответствуют классу С35. В производственных условиях были изготовлены опытные сваи диаметром 400 мм, длиной 4 м. Была испытана несущая способность сваи по грунту и по материалу. Кубиковая прочность бетона 46,9 МПа. В табл. 1 представлены данные о величине сопротивления f боковой поверхности свай.

Фундаменты на предложенных сваях могут найти применение в малоэтажном строительстве.

Предложенное решение позволяет:

- использовать жесткие мелкозернистые бетонные смеси с относительно недорогими заполнителями (гранотсев и местные пески);
- применение для уплотнения бетона прессования, что дополнительно обеспечивает укрепление зоны контакта бетона и стенки грунтовой скважины;
- применение модифицированного бетона, который обеспечивает при необходимости очень быстрое схватывание бетонной смеси, что предотвращает разрушение в условиях увлажнения водонасыщенными грунтами.

Выводы

Разработаны новые конструктивные решения возведения экономичных фундаментов, основанные на технологии формирования пустотелых буронабивных свай из высокопрочного мелкозернистого бетона. Применение данных свайных фундаментов в малоэтажном строительстве позволяет на 50 % снизить стоимость строительства и снизить объемы земляных работ, уменьшить расход бетона и использовать местные пески и отсева производства щебня.

Таблица 1.

Сопротивление на боковой поверхности свай

Показатель	Вид набивной сваи		
	ДБН	свая Страусса	свая ХНУБА
Сопротивление на боковой поверхности f , кг/см ²	0,25	0,34	0,54

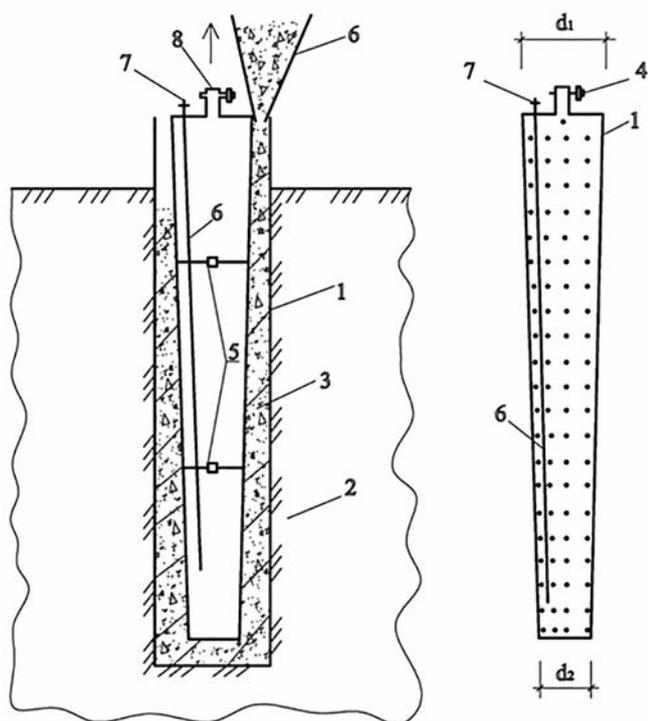


Рис. 3. Технология формирования полый набивной сваи ХНУБА

Литература:

1. Wrana B. Lectures on Foundations, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2015.
2. Tomlinson M.J. Pile Design and Construction Practice. Viewpoint Publications. London, 2008.
3. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Київ : Мінрегіон України. 2018. 42 с.
4. Патент 2637 UA. E02D5/38, E02D7/00. Пристрій для формування трубчастих конструкцій з бетонних сумішей.
5. Беленький С.Б. Проектирование и устройство свайных фундаментов. Москва : Высшая школа, 1983. 328 с.
6. Барский Б.Л., Вандоловский А.Г., Черниговский В.А. Прессованные трубчатые сваи. Строительство трубопроводов. 1991. №4. С. 33–34.
7. Люлько А.О., Черниговский В.А. Повышение эффективности свайных фундаментов под малоэтажное строительство. Науковий вісник будівництва : зб. наук. праць. Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ. 2009. Вип. 52. С. 109–112.
8. Шумаков И.В., Микаутадзе Р.И., Ляхов И.И. Оптимизационные тенденции в прогнозировании продолжительности строительства. Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ. 2018. Вип. 1(91). С. 115–120.