

**Сеськов В.Е.**, канд. техн. наук, доцент, заведующий научно-исследовательским отделом, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск

**Кравцов В.Н.**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией научно-исследовательского отдела, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск

## **УПРОЧНЕНИЕ ГРУНТОВ ГРУНТОБЕТОННЫМИ СВАЯМИ УПЛОТНЕНИЯ**

## **HARDENING THE GROUND WITH SOIL-CEMENT COMPACTING PILES**

### **Аннотация**

*В статье приводятся основные результаты по исследованию, разработке и внедрению эффективного способа усиления оснований и фундаментов грунтобетонными сваями уплотнения, обеспечивающего снижение затрат материалов и труда по сравнению с традиционными методами до 50%.*

### **Abstract**

*The main results on investigation, development and introduction of the efficient method of strengthening the basements and foundations with soil-cement compacting piles are shown. The method shown provides the materials and labor inputs reduction up to 50% comparing to the conventional methods.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В связи с выходом указа Президента Республики Беларусь № 405 «О некоторых мерах по строительству жилых домов (квартир) в сельскохозяйственных организациях» малоэтажное строительство на селе и индивидуальном секторе приняло в республике значительный размах. Однако указанная застройка имеет достаточно высокую стоимость. Поэтому повышение эффективности производства и качества работ, внедрение прогрессивных решений фундаментов при возведении таких объектов является важной задачей, особенно в фундаментостроении, т.к. затраты труда, времени и стоимости на их возведение достигают 30—40%, превышая аналогичные расходы для многоэтажного гражданского и промышленного строительства. Не менее важная задача возведения гражданских и промышленных сооружений на неудобьях, слабых грунтах, свалках, не используемых ранее для этих целей, так как отвод пахотных земель под эти цели в настоящее время законодательно ограничен.

Поэтому успешное решение задач быстрого и эффективного развития фундаментостроения в этих случаях требует разработки и внедрения в практику строительства новых эффективных материалов, конструкций, методов, способов производства работ и их проектирования, обеспечивающих снижение себестоимости продукции и придания ей новых потребительских качеств в современных рыночных условиях строительного производства.

В области фундаментостроения это в первую очередь связано с разработкой и внедрением новых эффективных конструкций фундаментов, учитывающих особенности грунтов Республики Беларусь и обеспечивающих экономию материальных и трудовых ресурсов. Особенно это актуально для малонагруженных зданий и сооружений, на долю фундаментов которых приходится до 30% всех затрат на возведение объекта.

В грунтовых условиях Республики Беларусь для них может использоваться свыше 100 видов различных фундаментов. Однако отсутствует один приоритетный (монолитный или сборный) вид фундамента, обеспечивающий максимальную эффективность. Каждый вид имеет свою область рационального применения.

Наиболее эффективны в рассматриваемых условиях свайные фундаменты [1—4], так как обеспечивают снижение материальных и трудовых затрат по сравнению с плитными фундаментами до 30—50% (последнее для специфических грунтов) за счет сокращения земляных работ до 90%, ручного труда до 50% и др., за счет практически полной механизации и индустриализации работ нулевого цикла и др. В то же время, самым дешевым материалом для этих целей является грунтобетон.

Ниже в статье приводятся отдельные моменты по исследованию и внедрению свай из грунтобетона для упрочнения грунтов.

## **МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОБЕТОНА И ГРУНТОВ, УПРОЧНЕННЫХ ГРУНТОБЕТОННЫМИ СВАЯМИ**

Анализ существующих методов усиления оснований фундаментов (таблица 1) показал, что наиболее дешевыми и эффективными способами улучшения свойств грунтов являются его уплотнение, укрепление сваями и армирование. Поэтому в РУП «Институт БелНИИС» при участии ОАО «Стройкомплекс» и ООО «ОиФК» разработан способ и конструкция закрепления (армирования) грунта мелкозаглубленными грунтобетонными сваями уплотнения (микросваями). Этот метод особенно эффективен, когда необходимо исключить нежелательное вибродинамическое воздействие на существующие сооружения и инженерные сети, имеющее место при использовании традиционных

строительных виброударных технологий и методов работ в стесненных условиях городской застройки.

Отличительной особенностью предлагаемого решения является использование для изготовления грунтобетонных свай (СГБ) легкого стандартного оборудования для возведения нулевого цикла, имеющегося в строительных организациях республики, а также учет грунтовых особенностей Беларуси.

По результатам выполненных экспериментальных и теоретических исследований установлены оптимальные режимы и параметры процесса устройства свай СГБ на основе разработанного оборудования.

Таблица 1

**Рациональные области применения способов усиления фундаментов оснований**

Метод усиления основания	Область применения метода в зависимости от типа грунта			
	гравий	песок	пыль	п/глинистый
	Размеры фракций, мм			
	10—2	2—0,05	0,05—0,005	<0,005
Механическое уплотнение	—————			
Виброуплотнение, в т. ч. взрывом	—————			
Укрепление сваями	—————			
Уплотнение обжатием, пригрузкой	—————			
Химическое закрепление	—————			
Закрепление вяжущими	—————			
Армирование грунта	—————			

Монолитные сплошные СГБ по технологии устройства подразделяются:

— на изготавливаемые циклическим способом — укладкой предварительно приготовленной грунтобетонной или песчаной смеси (влажной или сухой) в заранее выштампованные бурораздвижным способом скважины с последующим послойным ее уплотнением трамбовкой или вибратором;

— на изготавливаемые непрерывным способом — штамповкой скважины вибро-бурораздвижным органом с одновременным ее заполнением грунтобетонной эмульсией и уплотнением при извлечении рабочего органа из грунта и повторным его погружением в уложенную смесь. Эмульсия в зону укладки подается через полую штангу рабочего органа.

При возведении фундаментов из грунтобетона рекомендуется применять сухой способ, так как отпадает необходимость в приготовлении и транспортировке водоцементной эмульсии. Это позволяет упростить и удешевить технологический процесс, отказаться от такого дефицитного оборудования, как бетоно- или растворосмесители, растворобетононасосы, дозаторы и др. Кроме того, повышается надежность системы, так как устраняется вероятность засорения подающих эмульсию шлангов, баков и вентилях затвердевшим цементом, отпадает необходимость в их постоянной промывке после каждого цикла работ, по сравнению с традиционными буроньекционными технологиями существенно упрощается установка и процесс для изготовления фундаментов.

Оборудование для изготовления свай по вышеуказанным схемам представляет собой технологический комплекс, состоящий из установки для изготовления скважин и вспомогательного оборудования, и применяется в двух вариантах в виде подвижного агрегата или переносной треноги. Установка для изготовления скважин СГБ по первому варианту состоит из базовой машины с крутящим моментом на вале отбора мощности не менее 2,4 кН·м (например, трактор «Беларусь», ЮМЗ и др.) и навесного оборудования, в виде направляющей (краново-буровой или вибропогружаемой) штанги и съемного рабочего буровиброраздвижного органа диаметром 150—300 мм и длиной до 3 м. Вспомогательное оборудование (смеситель) служит для изготовления грунтобетонной смеси и подачи ее в зону укладки.

Второй вариант легкой переносной установки разработан на треноге, где скважинообразователь имеет диаметр 25—120 мм с уширением (при необходимости) в верхней части до 250 мм и длину 1500—2000 мм. Расход грунтобетона на изготовление одной микросваи — 0,023—0,03 м<sup>3</sup>, производительность установки 40—200 микросвай в смену, в зависимости от их размеров и варианта оборудования.

Устройство скважин для штампованных грунтобетонных свай производится вдавливанием разрабатываемого грунта в стенки скважин при вращении или вибропогружении цилиндрического органа (лидера  $\varnothing$ 120—150 мм) с одновременной его принудительной подачей вниз со скоростью 6—14 мм/оборот. Готовые скважины заполняются предварительно изготовленной грунтобетонной смесью из местного грунта строительной площадки.

Для фундаментов применяется грунтобетон, представляющий собой искусственный конструктивный каменный материал, полученный в результате твердения однородной по составу смеси из природного грунта, цемента и воды.

В состав грунтобетона кроме перечисленных компонентов при соответствующем обосновании могут также входить известь, золы горючих сланцев, бурых углей, измельченные шлаки с повышенным содержанием кремнезема и специальные добавки, целью введения которых является улучшение свойств грунтобетона, снижение расхода цемента (без снижения качества), регулирование сроков схватывания и твердения материала, улучшение прочностных и деформационных свойств.

После отвердения грунтобетонной смеси полученный материал соответствует бетону класса по прочности на сжатие  $B_{cc}5$  —  $B_{cc}20$  [5].

Грунтобетон, используемый для фундаментостроения, должен иметь достаточно надежные прочностные и деформативные характеристики и быть морозостойким (долговечным).

Учитывая это, в БелНИИС основной упор при исследовании грунтобетона был сделан на изучение его прочностных свойств и морозостойкости. Исследования проводились на смесях с различным содержанием цемента при изменяющейся плотности и влажности по стандартной методике на кубах-образцах  $100 \times 100$  мм [6].

В качестве исходного материала для изготовления грунтобетонных образцов применялся песок из гг. Гомеля, Могилева и Минска разной крупности, а также супесь и суглинок (Минский район). В качестве вяжущего использовался портландцемент М400-500 Волковысского цементного завода с началом схватывания более 2 ч, активностью  $528 \text{ кг/см}^2$ , тонкостью помола 0,008 (12%). Влияние количества цемента на прочность грунтобетона исследовалось в интервале добавок к грунтовой массе от 5 до 40% при добавках воды от 5 до 30%. Цемент в грунтовую массу вводился в сухом состоянии и перемешивался с ней. После добавления воды смесь снова тщательно перемешивалась и укладывалась в стандартные формы по методике ГОСТ 10180 с уплотнением различной степени. Прочность и морозостойкость образцов оценивалась через 6,28 и 90 сут. нормально-влажностного (влажные опилки) хранения и в воде, по данным их испытаний согласно указаниям ГОСТ 10180 и ГОСТ 10060.

Исследованиями установлено, что качество грунтобетона из грунтов Белорусского региона определяется:

1. Генезисом и его гранулометрическим составом. Оптимальному составу удовлетворяют грунты с содержанием глинистых фракций (диаметром менее 0,05 мм) не более 30%; пылеватых (0,005—0,05 мм) — 15—90%; песчаных (0,5—2 мм) — не более 70% по массе. Максимальной прочностью обладают смеси следующего состава: глинистые частицы с фракциями до 0,005 мм — 5—30% от веса воздушно-сухого грунта; пы-

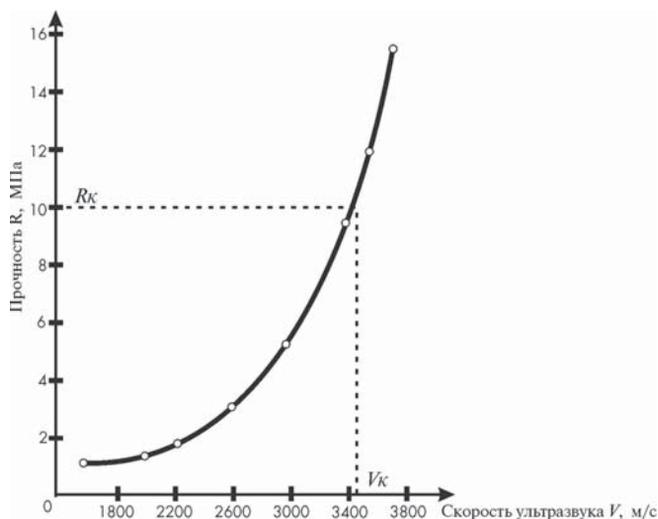
леватые с фракциями 0,05—2 мм не более 75%. Водородный показатель таких грунтов должен быть не менее 6, содержание водорастворимых солей и гумуссированных веществ не более 3%.

2. Количеством и минералогическим составом вяжущего. При введении в грунт гидравлического вяжущего портландцемента (шлакопортландцемента) не ниже М400 и схватыванием до 2 ч после изготовления, прочность полученного материала повышается с увеличением дозировки. Дозировки вяжущего определяются опытным путем с учетом генезиса, его гранулометрического состава и свойства самого вяжущего. Для обеспечения требуемой прочности они должны составлять 0,15—0,25 т/м<sup>3</sup> для несущих свай и 0,05—0,10 т/м<sup>3</sup> для ненесущих свай геомассивов.

3. Влажностью грунтобетонной смеси. Для обеспечения эффективности уплотнения грунтобетонной смеси и заданной прочности расход воды на 1 м<sup>3</sup> смеси рекомендуется в пределах 0,12—0,18 м<sup>3</sup>.

Кроме того, в РУП «Институт БелНИИС» была проведена работа по разработке метода ультразвукового контроля свайных фундаментов из грунтобетона.

Проверка опытным путем тарировочной кривой (рис. 1), полученной экспериментально-теоретическим способом для грунтобетона производственных составов (на основе песков РБ средних и мелких)



**Рисунок 1.** Тарировочная кривая «V-R» для контроля прочности грунтобетонных свай, возводимых в песчаных грунтах Беларуси (песок средний и мелкий)

показала, что расхождения между вычисленными значениями скоростей и измеренными не превышают 15%. Кривая построена согласно указаниям [7]. Кубики с разбросом прочности более 5% отбраковывались.

Общее аналитическое выражение полученной кривой имеет вид:

$$R_{сж} = 0,88V_p^4 - 2,5V_p^2 + 5,3,$$

где  $V_p = \frac{L}{t}$  — расчетная скорость ультразвука ( $L$  — база прозвучивания, мм;  $t$  — время прозвучивания, с).

Для упрощения дефектоскопии и расчета прочности на сжатие в натуральных одностипных сваях (конструкциях) составлялись таблицы «время-прочность» («число делений по шкале — прочность»), исключаящие расчеты скорости в производственных условиях, если их база прозвучивания (размеры) не отличаются более чем на 1%.

Проведенные лабораторные исследования подтвердили высокие физические и химические свойства грунтов Белорусского региона и возможность их использования в качестве материала грунтобетонных фундаментов.

На втором этапе исследований выполнена проверка разработанного оборудования и вибро-бурораздвижной технологии устройства свай в натуральных условиях на 5-ти опытных площадках (ОП1-ОП5) размером от 12×12 до 25×25 м с 3—5-ю участками от 30 до 50 свай, выполненных по сетке от 300×300 до 800×800 мм. На каждой площадке проводились испытания грунта до устройства и после устройства свай лабораторными и полевыми методами с использованием динамического зонда, испытаний штампом и контролем характеристик грунтов лабораторными методами.

К рассмотрению приняты: мелкозаглубленные набивные грунтобетонные сваи в выштампованных вибро-бурораздвижным способом скважинах диаметром от 100 до 250 мм и длиной 1,5—3 м.

В общей сложности было изготовлено 800 опытных скважин и до 50 грунтобетонных свай в разных грунтах и по разной технологии. Штамповка скважин производилась с помощью навесного бурового оборудования к трактору «Беларус» и автомобилю ЗИЛ130 со съемным скважинообразующим наконечником  $\varnothing 120, 150, 200$  и 250 мм.

Анализ результатов исследований показывает, что прочность уплотненных оснований после применения предлагаемого способа в песчаных и пылевато-глинистых грунтах, при оптимальном шаге свай повышается в 3—5 раз и достигает  $P_d=5-10$  МПа.

Для проверки результатов лабораторных исследований по подбору грунтобетонных смесей из опытных свай на ОП2, ОП4 и ОП5. Через 10, 30 и 90 суток после их изготовления были вырезаны кубики 100×100 мм с интервалом по длине 0,5 м. После обмера и взвешивания выпиленные образцы были испытаны на сжатие по методике ГОСТ 101180. Результаты исследования цементогрунта натуральных свай с ОП5 даны в таблице 2.

В процессе откопки свай были также выполнены исследования по определению зоны уплотнения грунта вдоль их ствола.

Таблица 2

**Пример паспорта испытания грунтобетона опытной свай на ОП5**

Характеристика грунта основания	Интервал отбора образцов по длине свай	Дозировка цемента марки М400 по глубине, %	В/Ц	Номер образца	Размеры образца, см	Плотность при естественной влажности, кг/м <sup>3</sup>	Сопротивление осевому сжатию R <sub>сж</sub> , МПа	Коэффициент однородности
Супесь пластичная: $\rho = 2010 \text{ г/см}^3$ $\rho_d = 1800 \text{ г/см}^3$ $c = 0,018 \text{ МПа}$ $\varphi = 22^\circ$ $E = 10 \text{ МПа}$ Пылевато-глинистые фракции: $< 0,1 \text{ мм} - 15\%$ $< 0,01 \text{ мм} - 25\%$	0—500	20	0,8	1	10,3x10,4x9,8 (h)	2077	4,68	0,84
	500—1500	15	0,8	2	10,8x10,4x9,6 (h)	2048	1,92	0,6
	1500—2500	10	0,8	3	10,4x10,5x9,9 (h)	2045	2,03	0,65
<i>Примечание:</i> 1. Скважина изготовлена бурораздвижным способом $\varnothing 250 \text{ мм}$ . 2. Образцы вырезаны из свай в возрасте 90 дней.								

Зона определялась следующим образом. После испытания основания свай зондированием и штампом грунт вокруг них послойно снимался и для каждого уровня определялись плотность, влажность и динамическое сопротивление грунта. На каждом уровне проведено 5 испытаний грунта зондированием с отбором проб для контроля плотности и влажности в лабораторных условиях стандартными методами. Точки, соответствующие границе зоны деформирования на каждом уровне, определялись по изменению графика  $\rho = f(l)$  и  $p_d = f(l)$  (где  $l$  — расстояние точки испытания от грани свай, шаг испытаний 100—200 мм). В тех местах, где найденные величины  $\rho$  и  $p_d$  не отлича-

лись, от их природных значений более чем на  $0,1 \text{ кг/см}^3$  устанавливалась граница деформируемой зоны относительно оси сваи. Для песчаных грунтов указанная зона составила  $1,5-2d$ , а для пылевато-глинистых  $1-1,5d$ .

## ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно констатировать:

1. Сваи, длиной до 3000 мм и диаметром до 300 мм из грунтобетона, обеспечивают восприятие нагрузки по грунту и материалу, не превышающей 200 кН. Тело свай по длине достаточно однородно (см. табл. 2), без пустот и раковин, при этом условия твердения в грунте оказывают благоприятное влияние на получение материала необходимой прочности, которая на сжатие соответствует классу бетона В7,5—В15 при расходе цемента  $100-300 \text{ кг/м}^3$  и В1,5—В5 при расходе цемента  $50-100 \text{ кг/м}^3$ .

2. Грунтобетонные сваи, изготовленные по вышеописанной технологии, надежны и пригодны для усиления оснований фундаментов существующих сооружений и упрочнения слабых грунтов с доведением их свойств до требуемых (устройством геомассивов) под новое строительство. Экономия материалов и стоимости при этом составляет не менее 50% по сравнению с традиционными буроинъекционными технологиями усиления фундаментов.

## Список цитированных источников

1. *Сеськов, В.Е.* Тенденции развития и опыт применения прогрессивных фундаментов в условиях Беларуси / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов, В.Н. Лях // Строительная наука и техника. — 2007. — № 5(14). — С. 131—142.
2. *Кравцов, В.Н.* Пути повышения эффективности фундаментостроения в условиях Беларуси / В.Н. Кравцов // Архитектура и строительство. — 2005. — № 6. — С. 120—123.
3. *Ильякевич, Л.Я.* Методика выбора и эффективность применения свайных фундаментов жилых зданий на водонасыщенных слоистых грунтах: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л.Я. Ильякевич; НИОСП Госстроя СССР. — М., 1978. — 24 с.
4. *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 Международного симпозиума, Минск, 9—11 ноября 2011 г. / РУП «Институт БелНИИС»; редкол.: М.Ф. Марковский [и др.]. — Минск, 2011. — С. 206—219.

5. Рекомендации по проектированию и устройству грунтобетонных свай в бурораздвижных скважинах. — Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2005. — 51 с.
6. *Сеськов, В.Е.* Упрочнение оснований методом вертикального армирования грунтобетонными микросваями в пробитых скважинах / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов, С.А. Якуненко // Актуальные проблемы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции (к 100-летию Б.И. Далматова): Сб. тр. НТК. — СПб.: СПб ГАСУ, 2010. — С. 295—300.
7. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: ГОСТ 17624-87. — Введ. 01.01.88. — М.: Госстандарт СССР. — 28 с.

*Получено 09.10.12 г.*