

УДК 624.131.2:624.154

## ИННОВАЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА НАБИВНЫХ СВАЙ ИЗ ГРУНТОБЕТОНА

канд. техн. наук, доц. В.Н. КРАВЦОВ  
(Институт БелНИИС, Минск)

Приводятся основные результаты по исследованию, разработке и внедрению инновационных конструкций, технологий устройства набивных свай уплотнения и способов упрочнения грунтов с использованием грунтобетона, обеспечивающих снижение себестоимости фундаментов по сравнению с традиционными их решениями не менее чем на 50%. Показано, что грунтобетон на основе песчаных и глинистых грунтов белорусского региона может успешно применяться для изготовления набивных свай уплотнения длиной до 6 м и диаметром от 160 до 600 мм как в виде несущих конструкций фундаментов, так и ненесущих для упрочнения грунта (геомассивы). При этом прочность грунтобетона после 28 суток твердения находится в пределах 5...15 МПа, морозостойкость – не ниже марки М 25...50 при расходе цемента (по экономическим соображениям), не превышающем 0,15...0,30, воды 0,1...0,18 т на 1 м<sup>3</sup> смеси. Плотность такого материала не менее 1,8 т/м<sup>3</sup>, а несущая способность свай из него по грунту до 300 кН. Для получения грунтобетона требуемой прочности и морозостойкости необходимо применять портландцемент или шлакопортландцемент марки не ниже М 400.

**Ключевые слова:** упрочняемый грунт, грунтобетон, вертикальное армирование грунта сваями уплотнения, исследования, несущая способность, технология, испытания, экономия.

**Введение и постановка задачи.** Анализ современной инвестиционной политики в Республике Беларусь показывает, что в новых экономических условиях преобладающим направлением развития строительного производства в рамках программ Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь на 2015–2020 годы становится ресурсосбережение и вложение больших финансовых средств в инновационные материалы, конструкции, технологии [1]. Учитывая это в РУП «Институт БелНИИС» разработаны инновационные конструкции набивных грунтобетонных свай уплотнения и технологии их изготовления, используемые как в качестве несущих элементов фундамента, так и ненесущих армоэлементов для упрочнения грунта способом вертикального армирования. Отечественная и зарубежная практика [2 и др.] свидетельствует, что фундаменты из грунтобетона являются менее затратными и достаточно надежными конструкциями, так как для них используется местный грунт как самый дешевый исходный материал. Не менее эффективны также предложенные способ и конструкция закрепления (армирования) грунта грунтобетонными армоэлементами из свай уплотнения (геомассивы) [3–5]. Этот метод особенно эффективен в стесненных условиях городской застройки, когда необходимо исключить нежелательное вибродинамическое воздействие на существующие сооружения и инженерные сети, имеющее место при использовании традиционных строительных виброударных технологий и методов работ, обычно применяемых в настоящее время для упрочнения грунта. В данной работе приводятся основные результаты выполненного в РУП «Институт БелНИИС» исследования по разработке инновационных конструкций свай уплотнения (в том числе из грунтобетона) и технологий их изготовления в рамках программ Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь [1 и др.].

**Итоговые материалы по исследованию, апробации работы и анализ ее результатов.** Основной задачей проведенных исследований являлась проверка конструктивных и технологических характеристик разработанных инновационных решений с использованием набивных свай уплотнения из грунтобетона (далее – свай СГ) и способов их реализации в производственных условиях. Параллельно решались задачи доводки оборудования, технологии возведения грунтобетонных свай уплотнения и геомассивов из них для целей массового внедрения результатов работы в практику строительства. В частности, отрабатывались такие вопросы:

- 1) *подбор* оптимальных составов грунтобетона для несущих и ненесущих свай СГ, устраиваемых в пробитых скважинах, по результатам лабораторных и полевых испытаний;
- 2) *оптимизация* конструкций штампов, лидеров-проходчиков (далее – лидеров), способов пробивки скважин на основе исследования характера работы рассматриваемых свай СГ в различных грунтах в полевых условиях (на опытных и производственных площадках);
- 3) *апробация* разработанных технологий, конструкций и оборудования в производственных условиях строительства.

Работы по пунктам 2 и 3 выполнены совместно с ООО «ОИФК» и ОАО «Стройкомплекс».

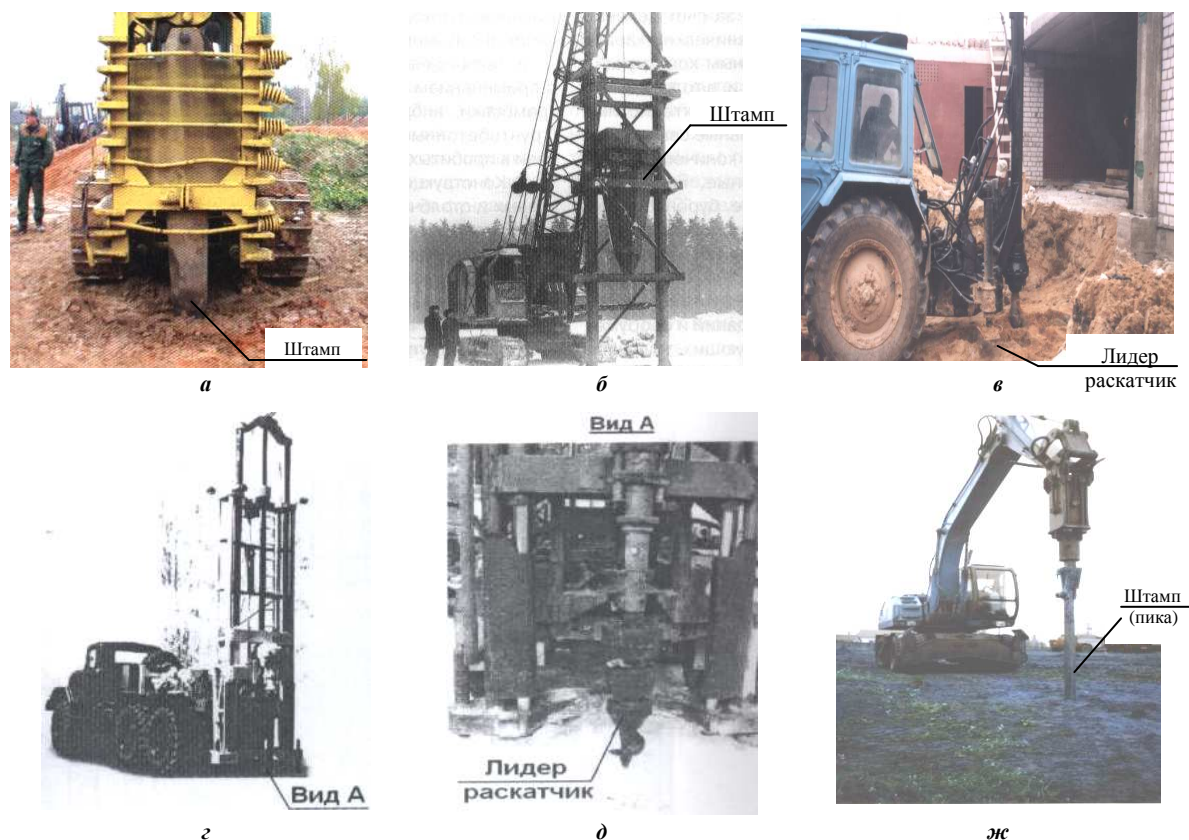
Разработаны и внедрены следующие конструкции набивных свай СГ в пробитых скважинах и технологии их устройства, в том числе для упрочнения грунта:

- а) *конструкции СГ*: ненесущие в пробитых скважинах для армоэлементов геомассивов; несущие в пробитых скважинах для свай и фундаментов из них;

б) технологии устройства СГ: *циклическая* – способ укладки предварительно приготовленной грунтобетонной или цементно-песчаной смеси (влажной или сухой) в заранее пробитые скважины с последующим послойным ее уплотнением трамбовкой или вибратором; *непрерывная* – способ одновременного устройства скважины пробивкой, заполнения ее грунтобетонной эмульсией под давлением с уплотнением рабочим органом (шнек, лидер) в процессе его извлечения из грунта и повторным его погружением в уложенную смесь (при необходимости ее доуплотнения). 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 оборудования, как бетоно- или растворосмесители, растворобетонасосы, дозаторы и др. Кроме того, повышается надежность системы, поскольку устраняется вероятность засорения подающих эмульсию шлангов, баков и вентилях затвердевшим цементом, отпадает необходимость в их постоянной промывке после каждого цикла работ. Существенно по сравнению с традиционными буронаблюдательными технологиями упрощается агрегат и процесс для изготовления свай (армоэлементов) СГ.

Исходя из имеющихся в строительных организациях техники и оборудования, разработаны следующие виды грунтобетонных свай СГ и технологии для их изготовления (рисунок 1): сваи СГТ (СГШ) – в вытрамбованных (выштампованных) штампом любой конфигурации скважинах, посредством его циклического сбрасывания с заданной высоты или забивки-задавливания (*а, б*); сваи СГБ – в бурораздвижных скважинах, образованных лидером-раскатчиком (*в, г*); сваи СГП – в проколотых трубой (стержнем) диаметром 80...120 мм скважинах (*ж*).



*а* – свая типа СГТ (СГШ), изготавливается с использованием установки на базе трактора с навесным оборудованием для рыхления грунта (рыхлитель заменен на пирамидальный штамп с поперечным сечением в оголовке до 500×500 мм длиной до 3 м); *б* – то же, установка на базе механического экскаватора (поперечное сечение штампа в оголовке до 1000×1000 мм, длина до 7 м); *в* – свая типа СГБ, установка на базе трактора «Беларус» с навесным оборудованием для бурения ям, в котором буровой шнек заменен на лидер-раскатчик диаметром 100...250 мм; *г* – то же, установка на базе автомобиля ЗИЛ 130 с навесным буровым оборудованием ЛБУ-50, в котором шнек заменен на лидер-раскатчик (*д*); *д* – вид (фрагмент) А лидера-раскатчика для установок (*в, г*); *ж* – свая типа СГП в проколотых трубой скважинах, установка на базе экскаватора ЕК-14 с навесным гидромолотом МГ 300 (пневмопробойником), в котором пика заменена на штампы из трубы диаметром 80...120 мм длиной до 6 м

Рисунок 1. – Общий вид типовых строительных машин, модернизированных для целей пробивки скважин в грунте при устройстве свай СГ

Разработанное оборудование представляет собой технологический комплекс, состоящий из установки для устройства скважин (см. рисунок 1) и вспомогательного типового оборудования для изготовления грунтобетона и его укладки в скважину. Установки для изготовления скважин свай СГ состоят: из базовой машины с крутящим моментом на вале отбора мощности не менее 2,4 кН·м или рабочим давлением в гидросистеме не менее 0,6 МПа (например, тракторы «Беларусь», ЮМЗ, экскаватор ЕК и др.) с навесным оборудованием в виде направляющей краново-буровой или гидроманипуляторной штанги и съемного рабочего буровибрационного органа диаметром 80...250 мм для свай СГБ, СГП или 300...500 мм для свай СГТ и СГШ, длиной 1,5...7 м (см. рисунок 1). Изготовление скважин для свай типа СГТ (СГШ) производится с использованием крановых и сваебойных установок (в первом случае – для вытрамбовки, во втором – выштамповки скважин).

При изготовлении небольших объемов грунтобетонных коротких свай СГ для сельских домов, коттеджей и др. возможен также вариант применения легкой ручной переносной установки с треногой, грузом и лебедкой. В этом случае сваежинообразователь имеет диаметр 25...120 мм и уширение (при необходимости) в его верхней части до 250 мм, длину 1500...2500 мм [7].

Расход грунтобетона на изготовление одной короткой сваи СГ составляет 0,023...0,03 м<sup>3</sup>. Производительность установок – 40...200 свай в смену, в зависимости от их назначения, размеров, варианта оборудования и свойств грунта.

Вспомогательное оборудование (раствор – бетономешалки, насосы, шланги и др.) служит для изготовления грунтобетонной (бетонной) смеси (эмульсии) и подачи ее в зону укладки.

Устройство скважин для свай СГ производится без выемки грунта за счет его вдавливания в их стенки посредством: а) вытрамбовки скважин при циклическом сбрасывании штампа сечением от 260×300 мм до 1000×1000 мм для свай СГТ или их штамповки при задавливании штампа усилием  $\geq 20$  кН, или забивке сваебойной установкой для свай СГШ; б) прокалывания скважин трубой (стержнем сплошного сечения)  $\varnothing 80...120$  мм для СГП и вибро-бурораздвижки грунта при вращении или вибропогружения цилиндрического лидера-сваежинообразователя со скоростью 6...14 мм/об с одновременной его принудительной подачей вниз давлением до 20 кН для свай СГБ. Готовые скважины заполняются предварительно изготовленной грунтобетонной смесью из местного грунта строительной площадки состава от 1:3 до 1:5 (цемент: грунт) согласно результатам лабораторных исследований в соответствии с методиками Рекомендаций [6; 7].

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 материала, снижение расхода цемента (без снижения качества), регулирование сроков схватывания и твердения смеси, улучшение ее прочностных и деформационных свойств. Грунтобетон, используемый для фундаментостроения, должен иметь достаточно надежные прочностные и деформативные характеристики и быть морозостойким (долговечным). Учитывая это, в РУП «Институт БелНИИС» основной упор при исследовании грунтобетонных свай СГ сделан на изучение прочностных свойств и морозостойкости их материала в лабораторных условиях с последующей верификацией полученных данных в натуральных условиях. Исследования в лаборатории [8; др.] проводились на смесях с различным содержанием цемента при изменяющейся плотности и влажности по стандартной методике на кубках-образцах размером (100×100) мм по ГОСТ [9; 10].

Для изготовления грунтобетонных образцов применялись пески, отобранные на территориях в районе Гомеля, Могилева и Минска, разной крупности, а также супесь и суглинки из Минского района. В качестве вяжущего использовался портландцемент М 400...500 Волковысского цементного завода с началом схватывания более 2 ч, активностью 528 кг/см<sup>2</sup>, тонкостью помола 0,008 (12%).

Влияние количества цемента на прочность грунтобетона исследовалось в интервале его добавок к грунтовой массе от 5 до 40% и количестве 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 суток нормально-влажностного (влажные опилки) хранения и в воде, по данным их испытаний согласно указаниям ГОСТ 10180 и ГОСТ 10060 [9; 10; др.].

Лабораторными исследованиями установлено, что качество грунтобетона из грунтов белорусского региона определяется [8; др.] показателями.

1. *Генезис и гранулометрическим составом грунта.* Оптимальному составу грунтобетонной смеси удовлетворяют грунты с содержанием глинистых фракций диаметром менее 0,005 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%

от веса воздушно-сухого грунта; пылеватые с фракциями до 0,05 мм – 20% и песчаные (0,2 мм) – не более 75%. Водородный показатель таких грунтов должен быть не менее 6, содержание водорастворимых солей и гумусированных веществ не более 3%.

2. *Количество и минералогический состав вяжущего.* В качестве вяжущего для грунтобетона следует использовать портландцемент (шлакопортландцемент) марки не ниже М 400 со сроком схватывания до 2 ч после затворения водой. Прочность грунтобетона напрямую зависит от дозировки вяжущего, которая определяется опытным путем с учетом свойств цемента, генезиса и типа (гранулометрического состава) грунта. Чем выше расход цемента, тем выше прочность материала. Для обеспечения требуемой прочности грунтобетона расход цемента должен составлять 0,15...0,25 т/м<sup>3</sup> для несущих и не менее 0,05...0,10 т/м<sup>3</sup> для ненесущих свай СГ.

3. *Влажность 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 т/м<sup>3</sup>.

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

На основе вероятностно-статистического метода математической обработки результатов испытаний материала грунтобетона (ГОСТ 20522 [11]) и основных положений теории надежности определены его расчетные характеристики на сжатие и растяжение (доверительная вероятность принята  $\alpha = 0,95$ )  $f_{cd,u}$ ,  $f_{ctd,u}$  и разработаны рекомендации по проектированию свай СГ, фундаментов и геомассивов из них [6; 7].

Расчетные сопротивления  $f_{cd,u}$ ,  $f_{ctd,u}$ ,  $f_{ctd,u}$  грунтобетона из оптимальных смесей для предельных состояний первой группы (с округлением) в зависимости от его класса по прочности на сжатие и осевое растяжение допускается назначать по таблице 1.

Таблица 1. – Расчетные сопротивления грунтобетона из оптимальных смесей

Вид сопротивления	Расчетные сопротивления тяжелого ( $D_{ц}$ 1800...2000) грунтобетона при его классе по прочности на сжатие МПа (кг/см <sup>2</sup> )					
	$C_{ц}$ 2/3,5	$C_{ц}$ 4/5	$C_{ц}$ 6/7,5	$C_{ц}$ 8/10	$C_{ц}$ 12/15	$C_{ц}$ 16/20
Сжатие осевое (кубиковая прочность) $f_{cd,u}^k$	<u>1,90</u> 19,30	<u>2,70</u> 27,50	<u>4,00</u> 40,80	<u>5,00</u> 51,00	<u>8,00</u> 81,60	<u>10,00</u> 102,00
Сжатие осевое (призменная прочность) $f_{cd,u}$	<u>1,45</u> 14,70	<u>2,10</u> 21,00	<u>3,10</u> 31,00	<u>3,80</u> 38,80	<u>6,10</u> 62,00	<u>7,60</u> 77,60
Растяжение осевое $f_{ctd,u}$	<u>0,14</u> 1,45	<u>0,20</u> 2,10	<u>0,30</u> 3,10	<u>0,35</u> 3,55	<u>0,55</u> 5,65	<u>0,65</u> 6,65

*Примечания:* 1. Над чертой указаны значения в МПа, под чертой в кг/см<sup>2</sup>.  
 2. Нормативные сопротивления грунтобетона определяются умножением расчетных сопротивлений на коэффициент безопасности по бетону при сжатии и растяжении  $\gamma_f = 1,5$ .  
 3. Для грунтобетона из неоптимальных грунтовых смесей значения таблицы следует умножить на коэффициент  $f_{b1} = 0,8$ , а при эксплуатации в воде – на коэффициент  $f_{b2} = 0,9$ .  
 4. Ориентировочные значения модуля упругости для грунтобетона из природных грунтов белорусского региона допускается принимать  $E = 1 \cdot 10^3 \dots 20 \cdot 10^3$  МПа, коэффициента Пуассона – в пределах  $\nu = 0,1 \dots 0,2$ .

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

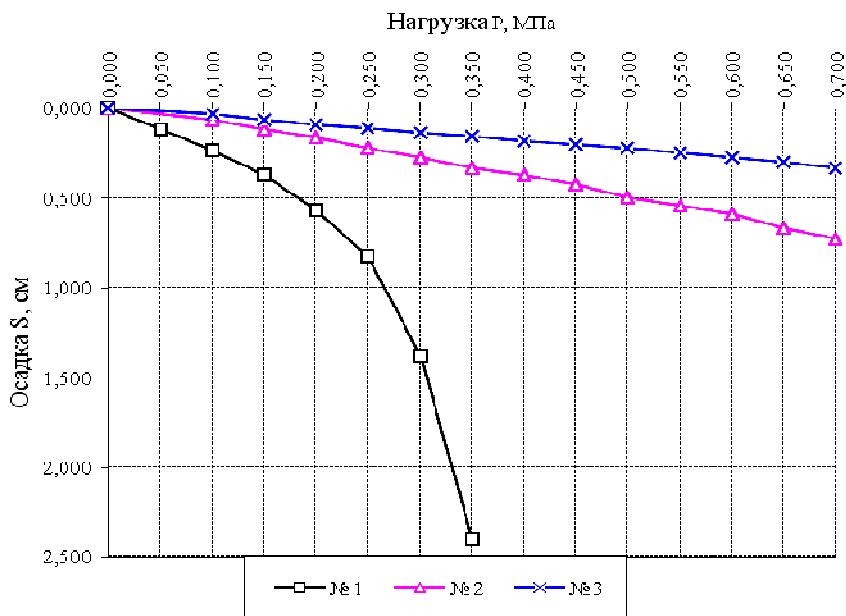
К рассмотрению приняты короткие набивные грунтобетонные сваи в скважинах диаметром от 100 до 500 мм и длиной 1,5...6 м, выполненных ударно-вибро-бурораздвижными способами.

В общей сложности было изготовлено 800 штук опытных скважин и до 50 штук грунтобетонных свай уплотнения в разных грунтах. Устройство скважин производилось с помощью навесного бурового оборудования к трактору «Беларус» (ямобур) и автомобилю ЗИЛ 130 со съёмным скважинообразующим бурораздвижным лидером диаметрами 120, 150, 200 и 250 мм (см. рисунки 1, в...д) или навесного гидропробойника к экскаватору ЕК 14 со съёмной пикой диаметром до 120 мм и вытрамбовкой пирамидальным штампом с размером оголовка 500×500 мм (см. рисунки 1, а, ж).

Анализ результатов исследований показал, что прочность армированных оснований после применения предлагаемого способа в песчаных и глинистых грунтах при оптимальном шаге свай СГ повышается, например, в случае использования свай СГБ не менее чем в 3...5 раз (рисунок 2).

Для проверки результатов лабораторных исследований по подбору грунтобетонных смесей из опытных свай на площадках 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 10180 [9]. Результаты исследования грунтобетона натуральных свай СГБ с ОП5 представлены в таблице 2.

В процессе откопки свай СГ были также выполнены исследования по определению их активной зоны (уплотнения грунта) вдоль ствола и под нижним концом.



1 – осредненная кривая  $s = f(P)$  неармированного основания;

2 – то же, вертикально армированного типовыми буронабивными сваями;

3 – то же, армированного инновационными набивными сваями СГБ в бурораскатанных скважинах

Рисунок 2. – Характерные осредненные графики  $s = f(P)$  испытаний штампом  $A = 2500 \text{ см}^2$  основания из грунтов по таблице 2, армированного сваями СГБ диаметром 120 мм на ОП5 (процент армирования 30% на  $1 \text{ м}^3$  грунта)

Таблица 2. – Пример паспорта испытания грунтобетона опытной сваи СГБ на ОП5 из натурального грунта неоптимального состава

Характеристика грунта основания	Интервал отбора образцов по длине сваи СГБ	Дозировка цемента марки М 400 по глубине, %	В/Ц	Номер образца	Средние размеры образца, см	Плотность при естественной влажности, кг/м <sup>3</sup>	Сопротивление осевому сжатию, $R_{сж}$ , МПа	Коэффициент однородности
Супесь пластичная: $\rho = 2010 \text{ г/см}^3$ , $\rho_d = 1800 \text{ г/см}^3$ , $c = 0,018 \text{ МПа}$ ; $\varphi = 22^\circ$ , $E = 15 \text{ МПа}$ ; Пылевато-глинистые фракции: < 0,1 мм – 15% < 0,01 мм – 25%	0...500	20	0,8	1...3	10,3×10,4×9,8 (h)	2077	4,68	0,84
	500...1500	15	0,8	4...6	10,8×10,4×9,6 (h)	2048	2,03	0,65
	1500...2500	10	0,8	7...10	10,4×10,5×9,9 (h)	2045	1,92	0,60
Примечания: 1. Скважина изготовлена бурораздвижным способом с диаметром лидера $\varnothing 250 \text{ мм}$ . 2. Образцы вырезаны из сваи в возрасте 90 дней.								

Зона уплотнения определялась следующим образом. После испытания основания, армированного сваями СГ зондированием и штампом, грунт вокруг них послойно снимался, для каждого уровня определялись его плотность, влажность и динамическое сопротивление погружению конуса зонда.

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:  $p = f(l)$  и  $\rho_d = f(l)$ , где  $l$  – расстояние точки испытания от наружной грани свай СГ. Шаг испытаний составлял 100...200 мм.

В тех местах, где найденные величины  $p$  и  $\rho_d$  не отличались от их природных значений более чем на 0,1 МПа или 0,1 кг/см<sup>3</sup>, устанавливалась граница деформируемой зоны относительно оси свай СГ.

Для песчаных грунтов указанная зона составила  $(1,5...2)d$ , а для пылевато-глинистых  $(1...1,5)d$ , где  $d$  – диаметр СГ, мм.

По итогам проведенных в РУП «Институт БелНИИС» исследований и разработанных на их основе инновационных конструкций и технологий устройства грунтобетонных свай СГ можно сделать следующие **выводы**:

1. Тело свай СГ по длине достаточно однородно (см. таблицу 2), без пустот и раковин, при этом условия твердения в необходимом грунте оказывают благоприятное влияние на получение материала необходимой прочности, который на сжатие соответствует классу бетона С<sub>ц</sub>4/5...С<sub>ц</sub>12/15 для оптимальных грунтовых смесей при расходе цемента 100...300 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует данным лабораторных исследований.

2. Сваи СГ длиной до 6000 мм и диаметром до 500 мм из грунтобетона на основе неоптимальной грунтовой смеси обеспечивают восприятие нагрузки по грунту и материалу от 100 до 200 кН в зависимости от размеров, технологии изготовления и состава грунтобетона, а при оптимальной грунтовой смеси и расходе цемента 250 кг/м<sup>3</sup> – до 300 кН.

3. Грунтобетонные сваи, изготовленные по разработанным технологиям, достаточно надежны и пригодны для малопогруженных (дома, коттеджи и др.) зданий, временных сооружений и упрочнения грунтов с доведением их свойств до требуемых (устройством геомассивов) как под новое строительство, так и при реконструкции эксплуатируемых объектов.

В заключение необходимо отметить, что экономия материалов и стоимости фундаментов при использовании свай СГ для возведения фундаментов и геомассивов составит не менее 50% по сравнению с традиционными буронабивными и готовыми сваями заводского изготовления, а также с традиционными виброударными технологиями упрочнения грунтов (укатка, трамбовка и др.) за счет использования в качестве одного из основных компонентов грунтобетона дешевого местного грунта и инновационных набивных свай уплотнения (СГТ, СГБ, СГП).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Основные направления социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы // Белорусский правовой портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravoby.info>. – Дата доступа: 27.11.2017.
2. Токин, А.Н. Фундаменты из цементогрунта / А.Н. Токин. – М. : Стройиздат, 1984. – 184 с.
3. Джоунс, К.Д. Сооружения из армированного грунта / К.Д. Джоунс ; пер. с англ. В.С. Забавина ; под ред. В.Г. Мельника. – М. : Стройиздат, 1989. – 280 с. ; Earth Reinforcement and Soil Structures / C.J. Jones. – Butter worth and C<sup>o</sup>. (Publishers) Ltd, 1985.
4. Мирсояпов, И.Т. Исследование прочности и деформируемости просадочных грунтовых оснований, армированных вертикальными элементами / И.Т. Мирсояпов, В.Р. Мустакимов // Взаимодействие сооружений и оснований: методы расчета и инженерная практика : тр. междунар. конф. по геотехнике. Т. 2. – СПб. : ПГУПС, 2005. – С. 40–45.
5. Легеченко, В.А. К вопросу определения приведенных деформационных характеристик армированных жесткими вертикальными элементами грунтовых оснований / В.А. Легеченко, В.Г. Шаповал, В.С. Андреев // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво / Полтавський нац. техн. ун-т імені Юрія Кондратюка ; редкол.: С.Ф. Пічугін (гол. ред.) [та ін.]. – Полтава, 2013. – С. 232–236.
6. Рекомендации по проектированию и устройству вертикально армированных оснований (геомассивов) для плитных фундаментов зданий и сооружений в грунтовых условиях Республики Беларусь : Р 1.02.133-2014. – Минск : Стройтехнорм, 2014. – 28 с.

7. Рекомендации по проектированию и устройству грунтобетонных свай в бурораздвижных скважинах. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2005. – 51 с.
8. Кравцов, В.Н. Исследование грунтобетона и его применение для изготовления свай и упрочнения грунтов / В.Н. Кравцов // Проблемы современного бетона и железобетона. Вып. 7 ; М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь ; РУП «Институт БелНИИС» ; редкол.: О.Н. Лешкевич (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – С. 53–64.
9. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам : ГОСТ 10180-2012. – Взамен ГОСТ 10180-90 ; введ. РБ 14.04.15. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2004. – 33 с. – (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
10. Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости : ГОСТ 10060.1-95. – Взамен ГОСТ 10060-87 ; введ. РБ 01.04.97. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2004. – 8 с. – (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
11. ГРУНТЫ. Методы статистической обработки результатов испытаний : ГОСТ 20522-2012. – Взамен ГОСТ 20522-96 ; введ. РБ 01.04.97. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2004. – 20 с. – (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).

Поступила 11.12.2017

## INNOVATIVE STRUCTURES AND INSTALLATION TECHNOLOGIES OF MOULDED-IN-PLACE SOIL-CONCRETE PILES

V. KRAVTSOV

*The article presents main results of the research, elaboration and implementation of innovative structures, installation technologies of moulded-in-place density piles and implementation of methods of soil strengthening with application of soil-concrete that reduces labor and materials costs. In comparison with traditional solution the presented ones reduce the costs up to 50%. It is shown that soil-concrete, based on sand and clay soils of Belarusian region, may be successfully used for the production of moulded-in-place density piles up to 6 m in length and from 160 to 600 mm in diameter. It may be used in load bearing structures of foundations as well as in nonbearing ones for soil strengthening (geomassive). In so doing after 28 days of hardening process the soil-concrete solidity is within the range of 5...15 MPa, frost-resistance – is not lower than grade M (25...50), while cement consumption (for economic reasons) does not exceed 0,15...0,30 tonne, water consumption does not exceed 0,1...0,18 tonne per 1 m<sup>3</sup> of mixture. The density of the material is not less than 1,8 t/m<sup>3</sup>, bearing capacity of soil-concrete piles is up to 300 kN. In order to get soil-concrete with the required characteristics of solidity and frost-resistance it is necessary to use Portland cement or Portland slag cement of grade not lower than M400.*

**Keywords:** *hardened soil, ground concrete, vertical reinforcement of soil density piles, research, bearing capacity, technology, testing, economy.*