

ЛИТЕРАТУРА

1. Колпашников Г.А., Ромашко Д.В., Никитенко М.И. Особенности проявления опасных геологических процессов на территории Беларуси, их причины и последствия. Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Геотехника-Беларуси: наука и практика», №3-4, Минск, 2003, с. 267-272.
2. Колпашников Г.А., Ромашко Д.В., Ленкевич Р.И. Оценка степени риска в строительстве в связи с проявлением опасных геологических процессов. Вестник БНТУ, №2, 2002, с. 20-21.

УДК 624.138+624.154

Кравцов В.Н., Назаров Н.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУНТОБЕТОНА ДЛЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ И УПРОЧНЕНИЯ ГРУНТОВ

Отечественная и зарубежная практика свидетельствует о том, что сваи в выштампованных скважинах являются одними из наиболее эффективных конструкций, а грунтобетон – самым доступным, дешевым и достаточно надежным материалом для фундаментов [1, 2].

Учитывая это, в УП «Институт БелНИИС», ОАО «Стройкомплекс» и ООО «ОИФК» г. Минск, разработаны: конструкция набивных свай, технология их устройства и способ возведения геомассивов из упрочненных грунтов (армированных грунтобетонными сваями), отличающихся от известных решений повышенной удельной несущей способностью и обеспечивающих экономию и высокую производительность работ, по сравнению с ними до 50% (руководитель темы к. т. н. В.Е. Сеськов УП «Институт БелНИИС»). В частности, созданы и прошли опытную и производственную апробацию различные варианты оборудования для изготовления свай и геомассивов в бурораздвижных скважинах из грунтобетона. Гибкие технологические решения предлагаемых свай позволяют применять различные схемы их устройства в различных грунтовых условиях РБ с использованием съемных лидеров-проходчиков в комплекте с серийно выпускаемыми буровыми машинами (например, БМ202-205, УГБ и др.). По указанным разработкам создано и апробировано навесное оборудование.

Разработаны и внедрены следующие технология устройства и конструкция свай из грунтобетона в бурораздвижных скважинах (далее СГБ):

- геомассивы из упрочненного грунтобетонными сваями уплотнения грунта (ненесущие СГБ в вибро-бурораздвижных скважинах);
- набивные монолитные несущие сваи из грунтобетона в вибро-бурораздвижных скважинах и фундаменты из них.

Устройство скважин для штампованных грунтобетонных свай производится вдавливанием разрабатываемого грунта в стенки скважин при вращении или вибропогружении цилиндрического рабочего органа (лидера $\varnothing 120-300$ 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.

Основной задачей проведенных исследований являлась проверка конструктивных и технологических характеристик заявленных решений и способов их реализации в производственных условиях. Параллельно отрабатывались задачи доводки оборудования и технологии возведения свай и геомассивов для целей массового внедрения результатов работы, в частности:

- 1) подбор оптимальных составов грунтобетона для несущих и ненесущих свай, устраиваемых по бурораздвижной технологии;
- 2) опытные работы по оптимизации конструкций лидеров-проходчиков (далее «лидеров»), способов штамповки скважин и исследование характера работы рассматриваемых свай в различных грунтах;
- 3) апробация разработанных технологий конструкций и оборудования в производственных условиях строительства 5-ти объектов.

Работы по пп. 2 и 3 выполнены совместно с Н.С. Лобастовым, В.П. Лебедиком (ООО «ОИФК»); А.Я. Трусовым, В.А. Морочко (УИР ОАО «Стройкомплекс»).

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 кубках-образцах 100×100 мм.

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 2ч., активностью 528 кг/см², 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 7, 14, 28 и 90 сут. нормально-влажного (влажные опилки) хранения и в воде по данным их испытаний, согласно указаниям ГОСТ 10180 и ГОСТ 10060.

Результаты проведенных исследований подтвердили возможность использования грунтов Белорусского региона в качестве материала для изготовления фундаментов и позволили установить: эффективные составы смесей и область применения грунтобетона (таблицы 1,2, рисунки 1, 2).

Таблица 1 – Эффективная область применения фундаментов из грунтобетона

Тип фундамента	Область применения	
	по видам природных грунтов, используемых в качестве материала фундаментов	по нагрузке
Ненесущие сваи для упрочнения оснований (геомассивы) Ø100-200 мм	Песчаные и глинистые грунты Беларуси, не имеющие противопоказаний, указанных в таблице 2 (в т.ч. водонасыщенные)	Устанавливается расчетом, исходя из прочности используемого грунтобетона (таблица 4)
Свайные из несущих свай Ø200-300мм: длинной до 2 м длинной до 3 м	То же То же	$N \leq 30-50 \text{ кН}; H \leq 5 \text{ кН}$ $N \leq 30-70 \text{ кН}; H \leq 10 \text{ кН}$

Примечание. N, H - соответственно допускаемые вертикальная и горизонтальная расчетные нагрузки на сваю.

Таблица 2 – Классификация грунтов по степени пригодности для грунтобетонных смесей

Наименование показателя свойств и состава грунта	Степень пригодности грунта, характеристика	
	пригодны	непригодны
Вид грунта	Искусственные (намывные, насыпные), природные (песчаные, пылевато-глинистые) I и II категории по трудности разработки, оптимальные грунтовые смеси	Глины при числе пластичности $I_L \geq 0,17$; супеси, суглинки $0,02 \leq I_L \leq 0,12$; набухающие; пучинистые
Количество глинистых частиц, %	Не более 30 или улучшить введением добавок песка	Равно или более 30
Содержание легкорастворимых солей, %	Менее 4, сернокислых до 2	Равно или более 4, сернокислых равно или более 2
Содержание гумусированных веществ, %	До 6	Равно или более 6
Водородный показатель	Более 4	Равно или менее 4
Содержание крупнообломочных включений диаметром не более 40 мм, %	До 20	Более 20
Температура грунта	Более 3 ⁰ С	Менее 3 ⁰ С

Примечание. Окончательное решение о пригодности грунтов строительной площадки принимается на основании данных лабораторных исследований.

По результатам лабораторных, натурных исследований на опытных площадках, экспериментального проектирования и апробации на 5-ти объектах можно сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Установлено, что наиболее надежными прочностными характеристиками при минимальном расходе цемента обладает грунтобетон, приготовленный из смеси следующего оптимального состава в % от веса воздушно-сухого грунта:

пылеватые и глинистые частицы ($\leq 0,05$ мм)	20-40;
песчаные частицы (0,25-2,00 мм)	30-40;
песчаные частицы (0,25-0,05 мм)	20-40;
число пластичности (I_p)	0,02-0,12;
водородный показатель (рН)	более 6;
содержание солей, %	не более 2;
содержание гумусированных веществ, %	до 3.

Для грунтобетонных смесей следует применять портландцемент и шлакопортландцемент марок 400 и выше по ГОСТ 10178 и ГОСТ 22266 с началом схватывания не ранее 2 ч после изготовления в количестве (в скобках для несущих свай, геомассива), т/м³:

для песчаных грунтов	0,15-0,25 (0,05-0,10);
для пылевато-глинистых	0,20-0,30 (0,10-0,15).

2. Грунтобетон, приготовленный из грунтов Беларуси (таблица 2), представляет собой искусственный конструктивный каменный материал, полученный в результате твердения однородной по составу смеси из природного грунта, цемента и воды.

Применяемая для грунтобетона вода должна иметь водородный показатель более 6.

Болотные, сточные и технические воды (загрязненные щелочами, кислотами, маслами, солями и т.п.) применять не допускается. Расход воды на 1 м³ грунтобетона из оптимальной смеси 0,12-0,18 м³.

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 должно являться 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 $C_{ц}1,2/1,5 - C_{ц}16/20$ (верхний предел для оптимального состава грунтобетонной смеси).

3. Для фундаментов из грунтобетона рекомендуются следующие показатели качества материала:

а) класс по прочности на сжатие при марках по средней плотности:

$D_{ц}1600 - D_{ц}1800 : C_{ц}4/5 ; C_{ц}6/7,5 ; C_{ц}8/10 ;$
 $D_{ц}1900 - D_{ц}2000 : C_{ц}4/5 ; C_{ц}6/7,5 ; C_{ц}8/10 ; C_{ц}12/15 ; C_{ц}16/20$

б) класс по прочности на осевое растяжение:

$D_{ц}1800 - D_{ц}2000 : C_{ц,t}0,2 ; C_{ц,t}0,3 ; C_{ц,t}0,35 ; C_{ц,t}0,55 ; C_{ц,t}0,65 ;$

в) марка по морозостойкости: $F_{ц}25 ; F_{ц}35 ; F_{ц}50 ; F_{ц}75 ; F_{ц}100 ;$

г) марка по водонепроницаемости: $W_{ц}2 ; W_{ц}4 ;$

д) марка по средней плотности:

тяжелый грунтобетон - $D_{ц}1600 ; D_{ц}1800 ; D_{ц}1900 ; D_{ц}2000 .$

4. Грунтобетон из оптимальных смесей (см. п.1), применяемый для изготовления набивных несущих свай для сооружений II уровня ответственности в песчаных и пылевато-глинистых грунтах, после затвердения должен иметь следующие характеристики по прочности на сжатие кубов с высотой ребра 100 мм, МПа (не менее).

Через 7 дней	Через 14 дней	Через 28 дней
3,0	4,0	6,0

5. Минимальный класс по прочности на сжатие должен быть не ниже для геомассивов $C_{ц}2/3,5$, для несущих СГБ – не ниже $C_{ц}6/75$.

Средняя плотность для всех видов фундаментов должна быть не ниже $D_{ц}1600$, а прочности грунта основания не менее чем на 30% выше прочности природного грунта.

СГБ рекомендуется изготавливать переменной прочности по длине ствола, например, в верхней зоне (до середины) ненесущих свай – класса $C2/3,5$, а в нижней – класса $C1,5/2$.

6. Марки грунтобетона по морозостойкости и водонепроницаемости для сооружений II, III уровней ответственности должны соответствовать таблице 3.

Таблица 3 – Марки грунтобетона несущих фундаментов из оптимальных смесей по морозостойкости и водонепроницаемости

Условия работы		Марка грунтобетона, не ниже			
Характеристика режима	Среднемесячная зимняя температура наружного воздуха, град.	по морозостойкости		по водонепроницаемости	
		при уровне ответственности зданий и сооружений			
		II	III	II	III
Попеременное замораживание и оттаивание для отдельно стоящих фундаментов (вне здания)	До минус 10	75	35	Не нормируется	
То же, в здании при эпизодическом водонасыщении и в сухих грунтах.	До минус 10	35	Не нормируется		

Для фундаментов, возводимых в водонасыщенных грунтах, класс грунтобетона по прочности на сжатие, марки по средней плотности и морозостойкости должны быть на одну ступень выше рекомендуемых.

7. Расчетные сопротивления $f_{cd,u}$, $f_{cd,u}$, $f_{ctd,u}$ грунтобетона из оптимальных смесей для предельных состояний первой группы (с округлением) в зависимости от класса грунтобетона по прочности на сжатие и осевое растяжение допускается назначать по таблице 4.

Ориентировочное значение модуля упругости для грунтобетона из природных грунтов Беларуси составляет $1 \times 10^3 - 20 \times 10^3$ МПа.

Начальный коэффициент поперечной деформации грунтобетона (коэффициент Пуассона) для всех видов грунтобетона из смеси по п.1 допускается принимать равным 0,1-0,2.

Таблица 4 – Расчетные сопротивления грунтобетона из оптимальных смесей

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

Примечания: 1. Над чертой указаны значения в МПа, под чертой – в kg/cm^2 . 2. Нормативные сопротивления грунтобетона определяются умножением расчетных сопротивлений на коэффициент безопасности по бетону при сжатии и растяжении $\gamma_f=1,5$. Для грунтобетона из неоптимальных грунтовых смесей значения таблицы следует умножить на коэффициент $f_{b1}=0,8$, а при эксплуатации в воде $f_{b2}=0,9$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крутов В.И., Багдасаров Ю.А., Рабинович И.Г. Фундаменты в вытрамбованных котлованах. - М.: Стройиздат, 1985.-163 с.
2. Токин А.Н. Фундаменты из цементогрунта.- М.: Стройиздат, 1984.- 184 с.

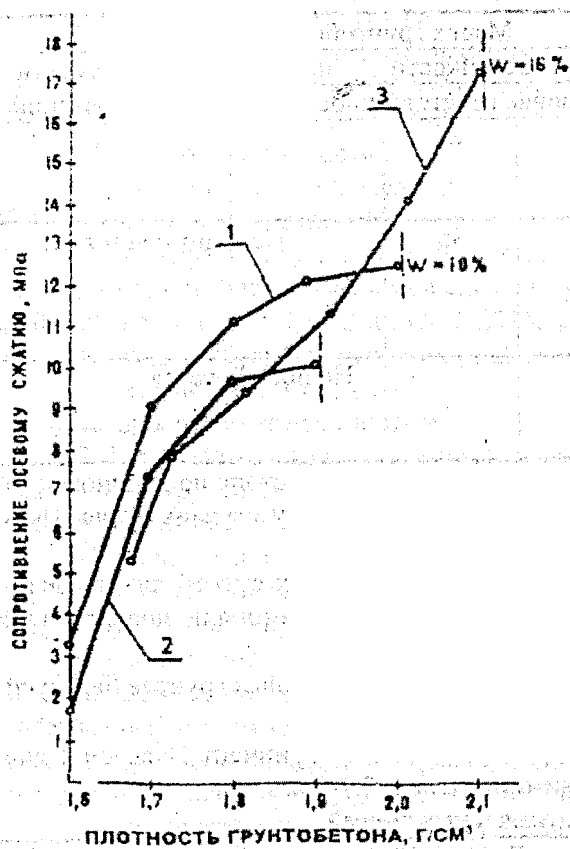


Рис.1. Зависимость прочности (в возрасте 90 дней) грунтобетона от плотности материала (цемент М400, расход 20%): 1 - песок средней крупности $d_{60}=0,35$; 2 - песок мелкий; 3 - суглинок (частицы $<0,5$ от 35 до 50%; $I_p=0,11$; $pH=8$); - максимальная плотность материала; W- влажность.

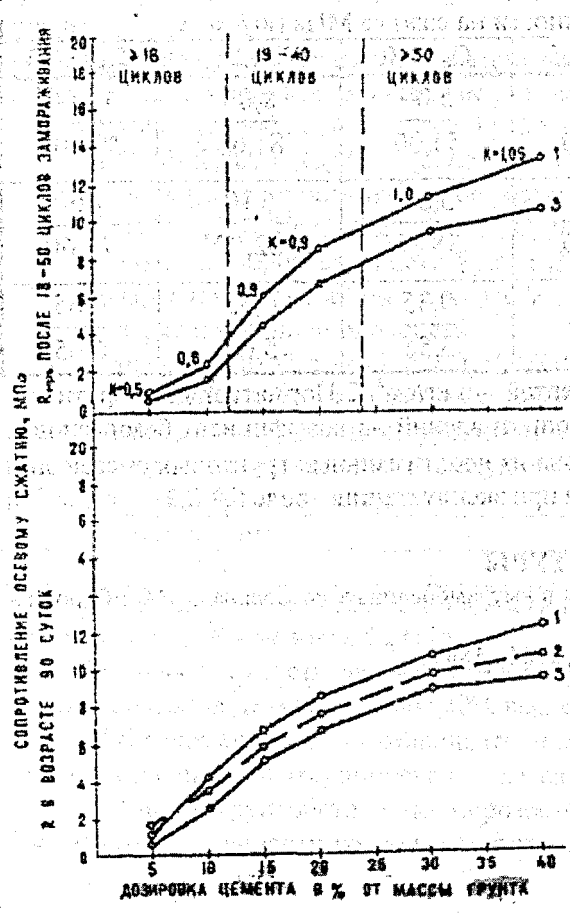


Рис.2. Изменение прочности грунтобетона ($\rho=1,8 \text{ г/см}^3$) из песка однородного мелкого и пылеватого в возрасте 90 дней от дозировок цемента, воды и при замораживании: 1 - песок мелкий, содержание воды 10% от массы грунта; 2 - то же, содержание воды 15%; 3 - песок пылеватый, содержание воды 10-12%; K - коэффициент морозостойкости, отношение $\frac{R_{мпт}}{R}$