

**Кравцов Владимир Николаевич**, канд. техн. наук, доцент,  
заведующий лабораторией, РУП «Институт БелНИИС»,  
г. Минск (Беларусь)

**Vladimir Kravtsov**, PhD in Engineering Science, associate professor,  
Chief of the Laboratory,  
«Institute BelNIIS», RUE, Minsk (Belarus)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУНТОБЕТОНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАЙ И УПРОЧНЕНИЯ ГРУНТОВ**

## **RESEARCH OF SOIL-CONCRETE MATERIAL AND ITS APPLICATION FOR THE PRODUCTION OF PILES AND SOIL STRENGTHENING**

### **АННОТАЦИЯ**

*Представлены результаты изучения прочностных свойств и морозостойкости грунтобетона в зависимости от дозировки цемента, плотности смеси, вида грунта и др.*

*На основании полученных результатов установлено, что увеличение дозировок цемента с 5% до 30% приводит к повышению прочности на сжатие  $R_{сж}$  образцов грунтобетона на 70-90%.*

*При этом значения  $R_{сж}$  в возрасте 90 суток в среднем в 1,5-2,5 раза выше значений  $R_{сж}$  в возрасте 28 суток. Следует подчеркнуть, что образцы, находившиеся на хранении в воде, имеют наибольшие значения  $R_{сж}$ . Из этого можно сделать вывод, что устройство свай из грунтобетона в водонасыщенных грунтах наиболее благоприятно. Существенное влияние на прочность грунтобетона оказывает плотность образца. За счет увеличения плотности можно добиться снижения расхода цемента до 50%. Плотность грунтобетона является также основным фактором повышения морозостойкости материала.*

*Значения  $R_{сж}$  во многом зависят от свойств используемого грунта, в частности от гранулометрического состава. Например, при равных исходных условиях (расход цемента, воды, плотность смеси и т.п.) прочность грунтобетона на основе пылеватых песков в 1,5 раза ниже, чем на основе песка средней крупности или суглинка.*

*Грунтобетон как на основе песка, так и глинистого грунта (супесь, суглинок) – морозостойкий материал. Морозостойкость, как и прочность, увеличивается во времени и зависит от расхода цемента. 35 циклов “замораживания-размораживания” для всех видов исследуемых грунтов обеспечивается при расходе цемента не менее 10% (к весу воздушного сухого грунта).*

Не менее 50 циклов достигается для грунтобетонных материалов из песка средней крупности, супеси и суглинка при дозировке цемента 15-20%, а из песка пылеватого – 25%.

При дозировке цемента меньше 15% для всех видов образцов после 20-30 циклов наблюдалось уменьшение плотности образцов на 5-10%, а прочности на сжатие – на 20-40% (в зависимости от вида грунта).

На основе проведенных исследований в лабораторных и полевых условиях по апробации на производстве при возведении свай разработаны технические, конструктивные и проектные требования к грунтобетону при изготовлении свай (прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, расход материалов, способы устройства, контроля качества и приемки). Экономия составит до 50%.

## **ABSTRACT**

*The results of the research of soil-concrete strength characteristics and frost resistance depending on concrete gauging, mixture density, soil type etc. are presented in the article.*

*According to the results it has been stated that the rise of concrete gauging from 5% to 30% leads to the compressive strength improvement  $R_{сжк}$  of soil-concrete samples by 70-90%.*

*Thus the value of the indicator  $R_{сжк}$  at the age of 90 days on average is 1,5-2,5 times higher of the value of the indicator  $R_{сж}$  at the age of 28 days. It's necessary to highlight that the samples, that have been preserved in water, show the most high value of the indicator  $R_{сжк}$ . This leads to the conclusion that the arrangement of soil-concrete piles in water-deposited soils is favorable. The density of a sample has the essential influence on soil-concrete strength. Increasing density it is possible to reduce the expenditure of cement up to 50%. Soil-concrete density is the basic factor that influences the increase of frost-resistance of the material.*

*The value of the indicator  $R_{сжк}$  depends mostly on soil characteristics, in particular – on grain size composition. For example, under equal initial conditions (expenditure of cement, water, mixture density and so on) the strength of soil-concrete made on the basis of sandy silt is 1,5 times lower than the one made on the basis of medium coarse sand or sandy clay.*

*The soil-concrete made on the basis of sand, clay-bearing soil (sandy soil, sandy clay) is a frost resistant material. Frost resistance as well as density increases through time and depends on cement expenditure. 35 cycles of “frosting-defrosting” for all types of the soils under research are provided with the cement expenditure at the amount of no less than 10% (to the weight of airy dry soil). No less than 50 cycles are achieved for the soil-concrete materials made of medium coarse sand, sandy soil and sandy clay with the concrete gauging at the level of 15-20%, for the ones made of sandy silt – 25%.*

*With concrete gauging lower than 15% the decrease of sample density by 5-10% and of compressive strength – by 20-40% (depending on the type of soil) was observed for all types of samples after 20-30 cycles.*

*In terms of the research carried out in laboratory and real-life conditions of testing on the factory floor during piles erection, technical, constructive and design requirements to soil-concrete used for piles production (strength, water resistance, frost resistance, expenditure of materials, methods of arrangement, quality and acceptance control) are elaborated. Economy up to 50%.*

**Ключевые слова:** грунтобетон, плотность, морозостойкость, прочность, фундамент, рекомендации, экономия

**Keywords:** soil-concrete, density, frost resistance, strength, foundations, recommendations, saving

## **ВВЕДЕНИЕ**

Вопросы снижения ресурсоемкости строительного производства являются ключевыми в настоящее время. В связи с этим специалистами отдела оснований и фундаментов РУП «Институт БелНИИС» проведена работа по исследованию и разработке технологии изготовления фундаментов из набивных грунтобетонных свай уплотнения (в т.ч. выштампованных, вытрамбованных, раскатанных и др.) для грунтовых условий Республики Беларусь, т.к. грунтобетон в настоящее время является одним из наиболее дешевых материалов [1], а сваи уплотнения – наиболее эффективными [2].

Известно, что грунтобетон как материал является искусственным камнем эквивалентным бетону, для изготовления которого используется дешевый местный грунт, и он может применяться для фундаментов, если его прочность находится в пределах 5-10 МПа, морозостойкость не ниже класса С8/10 для упрочнения грунта и С12/15 – для конструкций свай, при расходе цемента (по экономическим соображениям), не превышающем 0,15-0,30 т на м<sup>3</sup>.

К основным исходным параметрам процесса изготовления грунтобетона, существенно влияющим на качество свай, согласно опытным данным относятся:

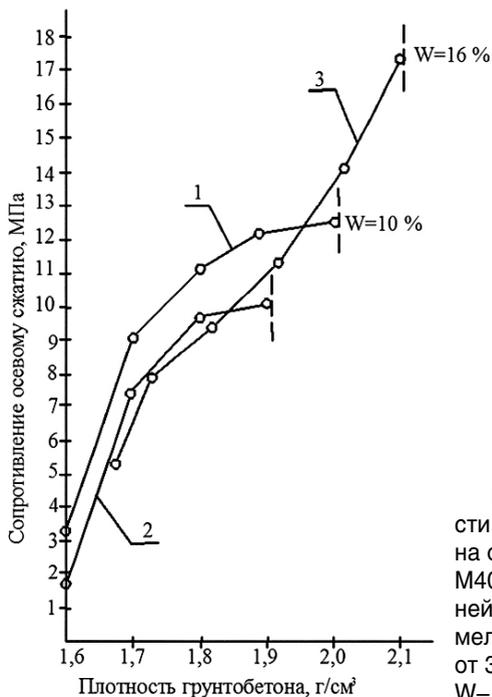
- исходные характеристики грунта (плотность, влажность, грунтосостав);
- дозировка компонентов грунтобетонной смеси (вода, цемент);
- технологический режим изготовления свай (частота вращения смесителя, скорость его погружения, количество проходок и степень уплотнения смеси).

Ниже в статье приводятся результаты выполненных исследований и их апробации в производственных условиях при изготовлении свай и упрочнении низкопрочных грунтов грунтобетонными армоэлементами из свай уплотнения, устраиваемых в проколотых скважинах (вытрамбованных, выштампованных, раскатанных и др.).

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной упор при исследовании грунтобетона был сделан на изучение его прочностных свойств и морозостойкости, как основных параметров, определяющих качество свай. Исследования проводились на смесях с различным содержанием цемента при изменяющейся плотности и влажности по стандартной методике на кубах-образцах 100x100 мм.

В качестве исходного материала для изготовления грунтобетонных образцов применялся песок из Гомеля, Могилева и Минска разной крупности, а также супесь и суглинок (Минский район). В качестве вяжущего использовался портланд-цемент М400-500 Волковысского цементного завода с началом схватывания более 2 ч., активностью 528 кг/см<sup>2</sup>, тонкостью помола 0,008 (12%).



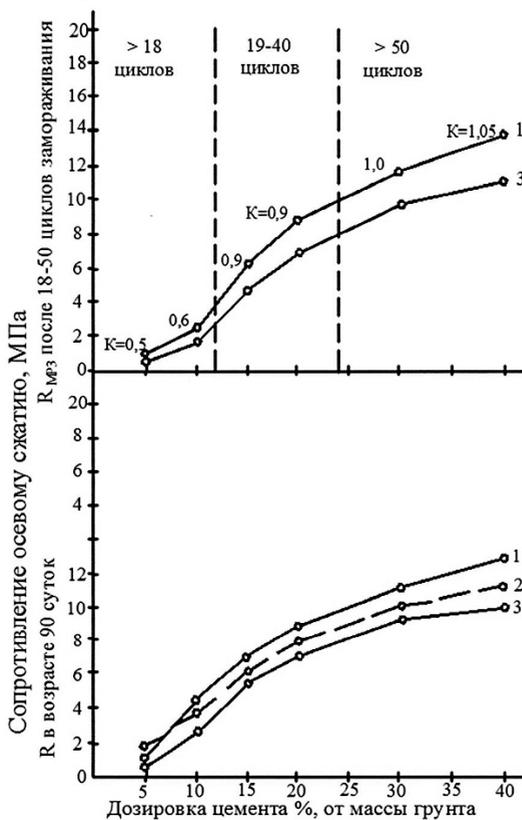
**Рисунок 1.** Зависимость прочности (в возрасте 90 суток) грунтобетона от плотности материала (цемент М400, расход 20 %): 1 – песок средней крупности  $d_{60} = 0,35$ ; 2 – песок мелкий; 3 – суглинок (частицы < 0,5 от 35 до 50 %;  $I_p = 0,11$ ;  $pH = 8$ ); W – влажность

Влияние количества цемента на прочность грунтобетона исследовалось в интервале добавок к грунтовой массе от 5 до 40% при добавках воды от 5 до 30%.

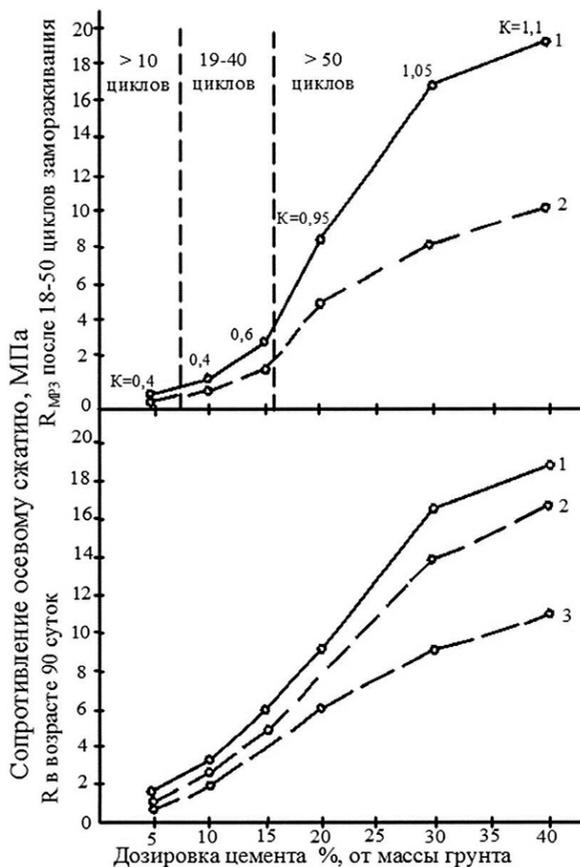
Цемент в грунтовую массу вводился в сухом состоянии и перемешивался с ней. После добавления воды смесь снова тщательно перемешивалась и укладывалась в стандартные формы по методике ГОСТ 10180 с уплотнением различной степени.

Прочность и морозостойкость образцов оценивалась через 28 и 90 суток нормально-влажностного (влажные опилки) хранения и в воде по данным их испытаний, согласно указаниям ГОСТ 10180 и ГОСТ 10060.

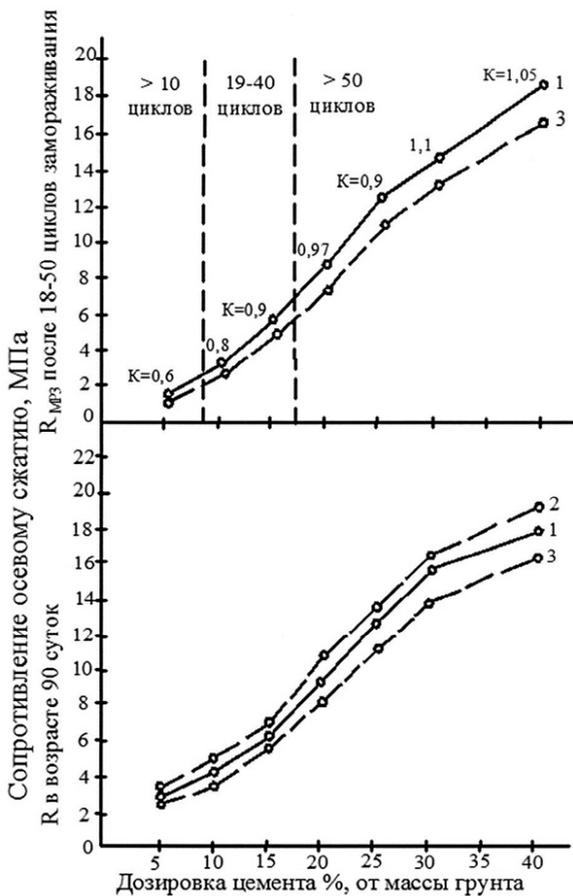
На рисунках 1-4 приведены результаты исследований грунтобетона из местных грунтов, в частности, изменения их прочности и морозостойкости в зависимости от дозировок цемента, плотности смеси и вида грунта.



**Рисунок 2.** Изменение прочности грунтобетона ( $\rho = 1,8 \text{ г/см}^3$ ) из песка однородного мелкого и пылевато-го в возрасте 90 суток 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 %; К – коэффициент морозостойкости, отношение



**Рисунок 3.** Изменение прочности грунтобетона ( $\rho = 1,8 \text{ г/см}^3$ ) из песка однородного средней крупности в возрасте 90 суток от дозировок цемента (M400), воды и при замораживании: 1 – песок мелкий, содержание воды 10 % от массы грунта; 2 – то же, содержание воды 15 %; 3 – то же, 20 %; К – коэффициент морозостойкости, отношение



**Рисунок 4.** Изменение прочности грунтобетона ( $\rho = 1,8 \text{ г/см}^3$ ) из суглинка в возрасте 90 суток от дозировок цемента (M400), воды и при замораживании: 1 – песок средней крупности  $d_{60} = 0,35$ ; 2 – песок мелкий; 3 – суглинок (частицы  $< 0,5$  от 35 до 50 %;  $IP = 0,11$ ;  $pH = 8$ ); K – коэффициент морозостойкости, отношение

На основании полученных результатов установлено следующее.

1. На прочность грунтобетона существенное влияние оказывает дозировка цемента (рис. 2-4). Так, увеличение дозировок цемента с 5% до 30% приводит к повышению прочности на сжатие  $R_{сж}$  образцов на 70-90%.
2. Прочность грунтобетона при водном хранении в нормально-влажностном режиме изменяется во времени. Значения  $R_{сж}$  в возрасте 90 суток в среднем в 1,5-2,5 раза выше значений  $R_{сж}$  в возрасте 28 суток. Следует подчеркнуть, что образцы, находившиеся на хранении в воде, имеют наибольшие значения  $R_{сж}$ . Из этого можно сделать вывод, что устройство свай из грунтобетона в водонасыщенных грунтах наиболее благоприятно.
3. Существенное влияние на прочность грунтобетона оказывает плотность образца. За счет увеличения плотности можно добиться снижения расхода цемента до 50%. Плотность грунтобетона является также основным фактором повышения морозостойкости материала.
4. Значения  $R_{сж}$  во многом зависят от свойств используемого грунта, в частности от гранулометрического состава. Например, при равных исходных условиях (расход цемента, воды, плотность смеси и т.п.) прочность грунтобетона на основе пылеватых песков в 1,5 раза ниже, чем на основе песка средней крупности или суглинка.
5. Исследуемый грунтобетон – морозостойкий материал. Морозостойкость, как и прочность, увеличивается во времени и зависит от расхода цемента:
  - а) 35 циклов “замораживания-размораживания” для всех видов исследуемых грунтов обеспечиваются при расходе цемента не менее 10% (к весу воздушного сухого грунта);
  - б) не менее 50 циклов достигается для грунтобетонных материалов из песка средней крупности, супеси и суглинка при дозировке цемента 15-20%, а из песка пылеватого – 25%.

При дозировке цемента меньше 15% для всех видов образцов после 20-30 циклов наблюдалось уменьшение плотности образцов на 5-10%, а прочности на сжатие – на 20-40% (в зависимости от вида грунта).

Экспериментально установлено следующее оптимальное соотношение компонентов цементогрунтовых смесей, обеспечивающее требуемое качество цементогрунта в теле свай для грунтовых условий РБ в случае передачи на них нагрузки от сооружения:

- дозировка цемента, т на м<sup>3</sup>:
  - для песчаных грунтов 0,15-0,25
  - для супесей, суглинков 0,20-0,30
- расход воды на 1 м<sup>3</sup> смеси, м<sup>3</sup> 0,15-0,18
- плотность смеси, т/ м<sup>3</sup>, не менее 1,8

при этом оптимальная грунтовая смесь должна обладать следующими свойствами:

- гранулометрический состав:
  - глинистые и пылеватые частицы, % 20-40
  - песчаные частицы (0,25-2 мм), % 30-40
  - песчаные частицы (0,25-0,005 мм), % 20-40
- число пластичности 0,02-0,07

В случае применения грунтобетона в качестве заполнителя скважин (армоэлементов) при упрочнении оснований (для геомассивов) расход бетона целесообразно снизить до 0,05-0,1 т на м<sup>3</sup> смеси, а прочность материала свай уплотнения — до 0,5 мПа. Указанное обстоятельство позволяет решить задачу равнопрочности грунта и свай и снизить стоимость фундаментов в 1,5-2 раза при выполненном условии прочности и надежности согласно действующим нормам.

Для получения грунтобетона требуемой прочности и морозостойкости необходимо применять портландцемент или шлакопортландцемент марки не ниже М 400 по ГОСТ 10178. Вода не должна содержать хлористых солей более 4%, сернокислых — более 2%. Гумусированные вещества в грунте не должны превышать 6%, а пылевато-глинистые — более 15% от массы смеси.

Опыт показывает, что в грунтовых смесях, кроме вышеперечисленных параметров, должна также регламентироваться степень размельчения (раздробления) грунтовых агрегатов. Причем общее количество агрегатов крупнее 5 мм не должно превышать 20%, а присутствие в смеси агрегатов крупнее 20 мм вообще не допускается. Эксперименты показали, что при недостаточном размельчении грунта требуемой прочности материала цементогрунта достичь не удается.

Основной задачей проведенных исследований на 2-ом этапе являлась проверка конструктивных и технологических характеристик разработанных решений и способов их реализации в производственных условиях. Параллельно отрабатывались задачи доводки оборудования и технологии возведения свай и геомассивов с использованием грунтобетона для целей массового внедрения результатов работы в практику строительства, в частности:

- подбор оптимальных составов грунтобетона для несущих и ненесущих свай (армоэлементов), устраиваемых по бурораздвижной технологии;
- опытные работы по оптимизации конструкций лидеров-проходчиков (далее – «лидеры»), способов штамповки скважин и исследование характера работы рассматриваемых свай в различных грунтах;
- апробация разработанных технологий конструкций и обору-дования в производственных условиях строительства.

Работы на 2-м этапе исследований выполнены совместно с ЦОиФ ОАО «Стройкомплекс».

На основании апробации работы в производственных условиях установлено /1-3 и др./.

1. Грунтобетон из оптимальных смесей, применяемый для изготовления набивных несущих грунтобетонных свай (далее – СГБ) для сооружений II уровня ответственности в песчаных грунтах, после затвердения должен иметь следующие характеристики по прочности на сжатие кубов с высотой ребра 100 мм, МПа (не менее):

через 7 дней	3,0;
через 14 дней	4,0;
через 28 дней	6,0.

Минимальный класс по прочности на сжатие должен быть не ниже для геомассивов  $C_{ц}6/7,5$ , для несущих СГБ – не ниже  $C_{ц}10/12$ .

Средняя плотность для всех видов несущих свай СГБ должна быть не ниже  $D_c 1800$ , а для геомассивов –  $D_{ц} 1600$ .

2. Набивные сваи малонагруженных фундаментов (до 300 кН) рекомендуется изготавливать переменной прочности по длине ствола, например, в верхней зоне (до середины) несущих свай – класса  $C12/15$ , а в нижней – класса  $C6/7,5$ .
3. Марки грунтобетона по морозостойкости и водонепроницаемости для сооружений II и III уровней ответственности должны соответствовать таблице 1, а класс по прочности – таблице 2.

Таблица 1

**Марки грунтобетона несущих фундаментов из оптимальных смесей по морозостойкости и водонепроницаемости в зависимости от режима эксплуатации**

Условия работы		Марка грунтобетона, не ниже			
Характеристика режима	Среднемесячная зимняя температура наружного воздуха, °С.	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		

*Примечание.* 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.

Таблица 2

**Расчетные сопротивления грунтобетона из оптимальных смесей**

Вид сопротивления	Расчетные сопротивления тяжелого ( $D_{ц}$ 1800-2000) грунтобетона при его классе по прочности на сжатие, МПа ( $\text{кг/см}^2$ )					
	$C_{ц}$ 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), $f_{cd,r}^k$	<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), $f_{cd,r}$	<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, $f_{ctd,r}$	<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  $f_{b2}=0,9$ .
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 оптимальной смеси допускается принимать равным 0,1-0,2.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основании проведенных лабораторных и натурных исследований грунтобетона для набивных свай уплотнения и апробации их результатов в производственных условиях Республики Беларусь можно констатировать, что грунтобетон с применением песков и глинистых грунтов (супесь, суглинок) белорусского региона является надежным и долговечным материалом для свайных фундаментов мало- и средне-нагруженных зданий и сооружений, геомассивов и обеспечивает снижение их себестоимости не менее чем на 50% по сравнению со сваями из традиционных материалов (бетон, раствор) за счет использования практически бесплатного местного грунта.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

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

### **REFERENCES**

1. Tokin A.N. *Fundamenty iz tsementogrunta* [Foundations of soil cement]. Moscow: Stroyizdat, 1984. – 184 p. (rus)
2. Krutov V.I., Bagdasarov Yu.A., Rabinovich I.G. *Fundamenty v vytrambovannykh kotlovanakh* [Foundations in rammed basins]. Moscow: Stroyizdat, 1985. – 163 p. (rus)

*Статья поступила в редколлегию 12.11.2015*