

9. Грунты. Методы полевых испытаний сваями: СТБ 2242-2011.— Введ. 01.07.2012. — Минск: Госстандарт, 2012. — 37 с.

### References

1. Krutov, V.I. Fundamenty v vytrambovannyh kotlovanah / V.N. Krutov, YU.A. Bagdasarov, I.G. Rabinovich. — M.: Strojizdat, 1985. — 164 s.
2. SHahirov, V.B. Opyt primeneniya buronabivnyh svaj v Belorusskoj SSR / V.B. SHahirov, K.N. Ratkevich. — Minsk : BelNIINTI, 1976. — 67 s. — (obzornaya informaciya. Seriya : Stroitel'stvo).
3. Ses'kov, V.E. Effektivnye konstrukcii svajnyh fundamentov dlya stroitel'stva v usloviyah BSSR / V.E. Ses'kov, V.N. Kravcov // Obzornaya informaciya. Seriya 67.11.29. — Minsk : Belorusskij NIINTI i ITEI Gosplana BSSR, 1986. — 50 s.
4. Ses'kov, V.E. Tendenciya razvitiya i opyt primeneniya progressivnyh fundamentov v usloviyah Belorussii / V.E. Ses'kov, V.N. Kravcov, V.N. Lyah // Stroitel'naya nauka i tekhnika. — 2007. - № 5(14). — S. 131 — 142.
5. Kravcov, V.N. Principy optimal'nogo proektirovaniya i puti povysheniya effektivnosti zhelezobetonnyh fundamentov v gruntovyh usloviyah Respubliki Belarus' / V.N. Kravcov, N.V. Soroka // Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona: Materialy III Mezhdunar. Simpoziuma (Minsk, 9-11 noyabrya 2011 g.). v 2 t. T 1. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii / MAiS Respubliki Belarus'. RUP "Institut BelNIIS"; redkol.: M.F. Markovskij (predsedatel') [i dr.]. — Minsk : Minsktipproekt, 2011. — S. 206 — 221.
6. Proektirovanie i ustrojstvo fundamentov iz svaj nabivnyh s uplotnennym osnovaniem: Posobie P19 04 k SNB 5.01.01 99. — Vved. 01.07.2005. — Minsk : MAiS Respubliki Belarus' : RUP «Strojtekhnorm», 2006. — 88 s.
7. Osnovaniya i fundamenty zdaniy i sooruzhenij. Osnovnye polozheniya. Stroitel'nye normy proektirovaniya»: ТКР 45 5.01 254 2012. — Vved. 05.01.2012. — Minsk: MAiS Respubliki Belarus', 2012. — 102 s.
8. Fundamenty plitnye. Pravila proektirovaniya: ТКР 45-5.01-67-2007. — Vved. 02.04.2007. — Minsk: MAiS Respubliki Belarus' : RUP «Strojtekhnorm», 2018. — 136 s.
9. Grunty. Metody polevyh ispytaniy svayami: STB 2242-2011.— Vved. 01.07.2012. — Minsk: Gosstandart, 2012. — 37 s.

УДК 624.153.524:624.138

## ВЕРТИКАЛЬНО-АРМИРОВАННЫЕ ОСНОВАНИЯ С ЖЁСТКИМИ КРУПНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ ГРУНТОБЕТОНА

*В.Н. Кравцов<sup>1</sup>, С.М. Эгбалник<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*К.т.н., ведущий научный сотрудник РУП «Институт БелНИИС», доцент кафедры «Геотехника и строительная механика» БНТУ, Минск, Беларусь, e-mail: f3@belniis.by*

<sup>2</sup>*К.т.н., старший научный сотрудник ГП НИПТИС им. Атаева, доцент кафедры «Строительные материалы и технология строительства» БНТУ Минск, Беларусь, e-mail: Sanaz,nik@mail.ru*

### Реферат

В статье рассмотрен вопрос упрочнения оснований пониженной прочности инновационным методом вертикального армирования грунтов. Изложены ито-

вые результаты по исследованию, разработке конструктивных решений упрочнения грунтов геомассивов методом вертикального армирования (ВА) с использованием в качестве жёстких крупных элементов инновационных свай уплотнения из грунтобетона на основе местных грунтов (самого дешёвого исходного материала). По итогам экспериментальных исследований свойств грунтобетона из различных грунтов белорусского региона показано, что он является надёжным материалом как для ненесущих элементов упрочнения грунтов, так и для несущих элементов свайных фундаментов (свай); разработаны классификация, область применения и методы проектирования конструктивных решений из грунтобетона. Это обеспечит снижение стоимости и трудоёмкости ВА оснований по сравнению с технологиями и конструкциями геомассивов с использованием традиционных свай не менее, чем на (30-50)%.

**Ключевые слова:** геомассив, вертикальное армирование, грунтобетон, исследования, характеристики материала, классификация, эффективность.

## VERTICALLY-REINFORCED BASES WITH RIGID LARGE ELEMENTS FROM SOILCONCRETE

*V.N. Kravtsov, S.M. Egbalnik*

### **Abstract**

In this article the question of hardening of bases with lowered durability by innovative method of vertical reinforcing of grounds is considered. Total results of the research, working out of constructive decisions for hardening grounds of geomassives by vertical reinforcing (VR) method with use as rigid large elements of innovative piles of consolidation from soil-concrete on the basis of local grounds (the cheapest initial material) are stated. Following the results of experimental researches of properties of soil-concrete from various grounds of Byelorussian region it is shown, that it is a reliable material both for not bearing elements of hardening grounds, and for bearing elements of the pile bases (piles);

classification, scope and methods of designing of constructive decisions from soil-concrete are developed. It will provide depreciation and labour inputs of the VR bases in comparison with technologies and designs of geofiles with use of traditional piles not less, than on (30-50) %.

**Keywords:** geomassive, vertical reinforcing, soil-concrete, researches, material characteristics, classification, efficiency.

### **Введение**

В связи с законодательными ограничениями на использование пахотных земель не по прямому назначению, одним из основных направлений фундаментостроения в Республике Беларусь является освоение в строительных целях территорий со сложными инженерно-геологическими условиями (неудобицы, поймы, свалки, насыпные грунты и др.), которые составляют около 30% её площади. Строительство в таких случаях требует предварительной подготовки строительных площадок, в частности, связанной с упрочнением грунтов, которая, как

правило, осуществляется с использованием виброударных технологий (укатка, трамбовка физико-химическое закрепление), отличающихся повышенной динамичностью, затратностью, трудоёмкостью, что не отвечает критерию экономической эффективности по ТКП 45-5.01-254-2012 или ограничено по экологическим требованиям. Учитывая это, в РУП «Институт БелНИИС» предложен и внедрён способ упрочнения оснований методом вертикального армирования грунта (далее - ВА), с использованием жёстких армоэлементов, в т.ч., из грунтобетонных свай уплотнения [1 -3 и др.]. Метод упрочнения грунтов способом армирования [7,8] отличается от известных технологий универсальностью: возможностью применения для различных грунтовых и гидрогеологических условий. Сущность метода ВА основания заключается во внедрении в массив грунта вертикальных жёстких элементов, не менее, чем на порядок более прочных, по сравнению с прочностью грунта, не связанных конструктивно с фундаментами, дополнительно уплотняющих его, воспринимающих совместно с грунтом как сжимающие, так и растягивающие напряжения.

Высокая эффективность предложенного метода достигается, в т.ч., за счёт использования в качестве основного материала для жёстких грунтобетонных армоэлементов местного грунта (самый дешёвый исходный материал) и возможности использования для этих целей неспециализированного оборудования, имеющегося в строительных организациях республики (экскаваторов, тракторов, буровых и сваебойных установок). Работа проведена в рамках программы Минстройархитектуры Республики Беларусь по энерго-ресурсосбережению, в рамках которой разработаны нормативно-технические документы, зарегистрированные в РУП «Стройтехнорм» [4 – 6 и др.]; осуществлены апробация и внедрение на строительных объектах белорусского региона [1, 2 и др.].

Цель проведенной работы – разработать конструкции геомассивов, обеспечивающих снижение себестоимости, трудоёмкости упрочняемых грунтов пониженной прочности ( $E < 10$  МПа) до (30-50)% за счёт использования в качестве жёстких армирующих элементов инновационных свай уплотнения из грунтобетона.

Задачами работы и настоящей статьи является: на первом этапе – исследование грунтобетона, на втором этапе – напряжённо-деформированных состояний (далее – НДС), разработанных геомассивов из него.

В настоящей статье ниже приведены итоговые результаты по исследованию параметров грунтобетона из различных грунтов белорусского региона и геомассивов для несущих жёстких элементов ВА оснований (конструкций, технологий) и несущих – для фундаментов, выполненных в т.ч. из инновационных набивных свай уплотнения в вытрамбованных, выштампованных, бурораздвижных, проколотых скважинах [1, 2 и др.].

### **Основная часть**

#### **Разработка грунтобетонного конструктивного материала для армоэлементов геомассивов и свай фундаментов**

Существенную часть территории Республики Беларусь занимают четвертичные отложения из песчаных и глинистых грунтов. Экспериментальные исследования, выполненные в «Белдор-НИИ» и РУП «Институт БелНИИС» показали, что указанные грунты белорусского региона имеют благоприятные физические и химические свойства для изготовления грунтобетона, применяемого в дорожных покрытиях, конструкциях фундаментов и жёстких элементов геомассивов,

который должен иметь достаточно надёжные прочностные, деформативные характеристики и морозостойкость (долговечность).

Грунтобетон – искусственный конструктивный каменный материал, получаемый в результате твердения однородной по составу смеси, широко применяемой в фундаментостроении, из природного грунта, цемента и воды [9 и др.]. С целью снижения расхода цемента и повышения качества материала в состав грунтобетона, кроме перечисленных компонентов, могут также входить: известь, золы горючих сланцев, бурых углей, измельчённые шлаки с повышенным содержанием кремнезёма и специальные добавки.

В рамках республиканской программы Минстройархитектуры Республики Беларусь выполнены комплексные исследования грунтобетона из наиболее распространённых на её территории типов грунтов для целей строительства. Исследования проведены на смесях с различным содержанием цемента при изменяющейся плотности и влажности по стандартной методике на кубах-образцах (100х100) мм.

В качестве исходного материала для изготовления грунтобетонных образцов применялся песок из районов г. Гомеля, Могилёва, Минска и др. разной крупности, а также супесь и суглинки (Минский район и др.). 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 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. Как для нормально-влажностного (влажные опилки) хранения, так и в воде, испытанных, согласно ГОСТ 10180 и ГОСТ 10060.

На рисунке 1 приведены результаты исследований грунтобетонных образцов в виде графиков изменения их прочности и морозостойкости в зависимости от добавок цемента, плотности смеси и вида грунта.

На основании выполненных исследований установлено:

1. Прочность грунтобетона существенно зависит от дозировки цемента (см. рисунок 1). При увеличении количества цемента (с 5 до 30)% прочность на сжатие  $R_{сж}$  образцов грунтобетона повышается во времени на (70–90)%,

2. Независимо от режима хранения (водный или нормально-влажностный) прочность грунтобетона  $R_{сж}$  в возрасте 90 суток в среднем в 1,5–2 раза выше, чем в возрасте 28 суток. При этом, образцы, находившиеся на хранении в воде, имеют наибольшие значения  $R_{сж}$ . Поэтому устройство свай из грунтобетона в водонасыщенных грунтах наиболее благоприятно.

3. Значительное влияние на прочность грунтобетона оказывает его плотность, за счёт увеличения которой можно снизить расход цемента до 50% и повысить морозостойкость материала.

4. Морозостойкость грунтобетона, как и его прочность, зависит от расхода цемента:

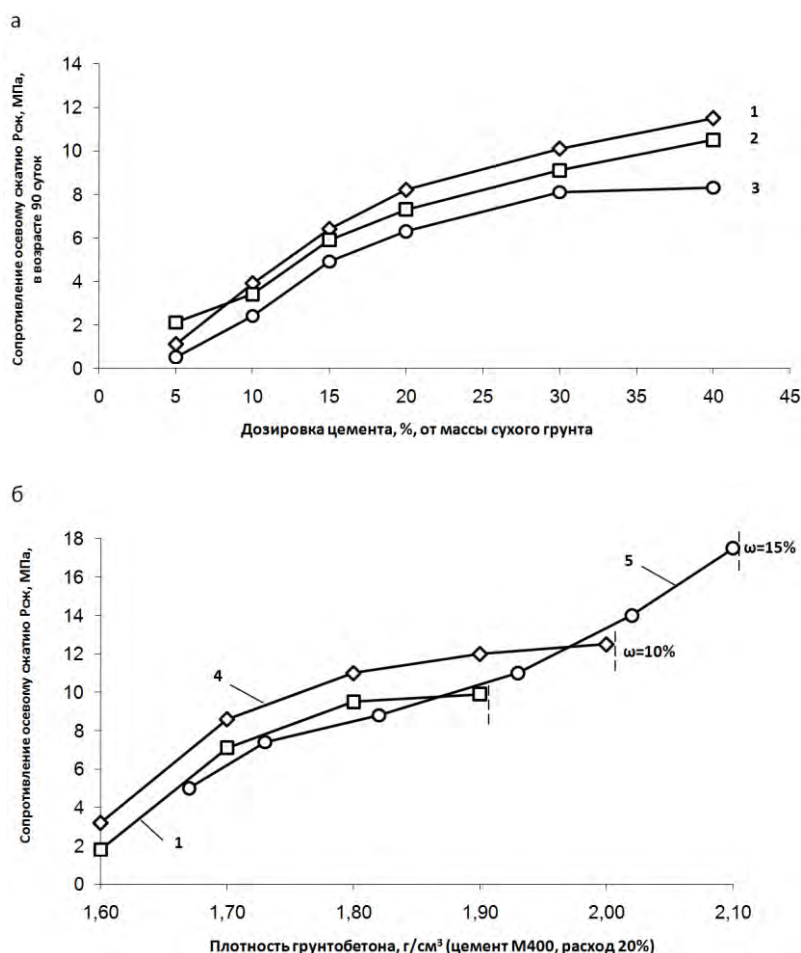
- 35 циклов «замораживания–размораживания» для всех видов исследованных грунтов обеспечивается при количестве цемента не менее 10% по отношению к массе воздушного сухого грунта.

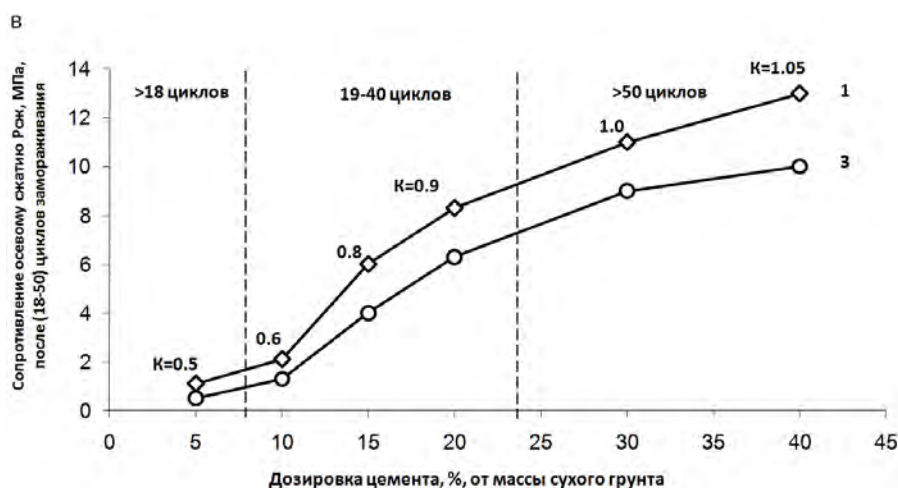
- не менее 50 циклов «замораживания–размораживания» достигается для грунтобетонных образцов из песка среднего, супеси и суглинка при дозировке цемента в (15-20)%, а из песка пылеватого при 25%.

Если количество цемента меньше 15%, образцы из грунтов всех видов выдерживают не более (20-30) циклов «замораживания–размораживания». При этом их плотность ниже на (5-10)%, а их прочность на сжатие снижается на (20-40)% в зависимости от вида грунта.

5. Качество грунтобетона в значительной мере зависит от свойств используемого грунта, в частности, его гранулометрического состава. При прочих равных исходных условиях (количество цемента, воды, плотности смеси и т.п.) прочность грунтобетона, например, из пылеватых и других песков, если у них  $pH < 7$  или содержание глинистых частиц  $\geq 30\%$  – в 1,5 раза ниже, чем из песка средней крупности или маловлажных супеси и суглинка оптимальных составов по [4, 6].

Проведенные лабораторные и последующие натурные исследования [1, 2 и др.] подтвердили хорошие физические механические и химические свойства грунтов белорусского региона и возможность их использования (область применения) в качестве материала как для ненесущих жёстких элементов – геомассивов, так и несущих – для свай. Разработанные классификация и область применения грунтобетона даны в таблицах (1 и 2).





1 - песок мелкий, содержание воды 10% от массы сухого грунта; 2 - то же, содержание воды 15%; 3 - песок пылеватый, содержание воды 10-12%; 4 - песок средний  $d_{60}=0,35$ ; 5 - суглинок (частицы размером  $<0,5$  (от 35 до 50)%;  $I_p=0,11$ ;  $pH=8$ );  $\omega$  - влажность;

$K$  - коэффициент морозостойкости, отношение  $R_{мрз}/R$ ;

**Рисунок 1 – Зависимость прочности грунтобетона ( $\rho=1,8 \text{ г/см}^3$ ) из грунтов белорусского региона в возрасте 90 дней от дозировок цемента, воды (а), плотности (б) и морозостойкости (в).**

На основе вероятностно-статистического метода математической обработки результатов ис-пытаний материалов грунтобетона (ГОСТ 20522), основных положений теории надёжности и указаний СП 2.10.01 [10], определены его расчётные конструктивные (проектные) характеристики на сжатие и растяжение (доверительная вероятность принята  $\alpha=0,95$ )  $f_{cd,u}$ ,  $f_{ctd,u}$ , разработа-ны конструкции и технологии изготовления несущих набивных свай уплотнения, методы проектирования геомассивов и жёстких армоэлементов из грунтобетона для них, выполнена апробация полученных решений в производственных условиях и внедрение в строительную практику разработки бетонов. Результаты исследований и внедрения даны в материалах [1, 2, и др.] и вошли в нормативно-технические документы ТНПА [4 - 6 и др.]

**Таблица 1 - Область применения грунтобетона из грунтов белорусского региона для армоэле-ментов оснований и фундаментов.**

| Тип конструкции                                                       | Область применения                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                       | по видам природных грунтов, используемых в качестве материалов изделий                                                             | по нагрузке                                                                                                                                                                                                                    |
| Ненесущие армоэлементы из свай для упрочнения оснований (геомассивов) | Песчаные, глинистые искусственные и природные грунты Республики Бела-русь по классификации таблицы 2 ( в том числе водонасыщенные) | Давление от фундамента на ВА основание $\rho_o \leq 3 \text{ МПа}$ и при выполнении условия $E_y \geq 100 E_{зр}$ , где $E_y$ и $E_{зр}$ соответственно: модуль упругости грунтобетона и модуль деформации упрочняемого грунта |
| Несущие сваи                                                          | То же                                                                                                                              | $N \leq 300 \text{ кН}$ , $H \leq 10 \text{ кН}$                                                                                                                                                                               |

Примечание:  $N$ ,  $H$  – допускаемые (проектные) вертикальная и горизонтальная нагрузки на сваю (соответственно)

Таблица 2 - Классификация грунтов Республики Беларусь по степени пригодности для грунто-бетонных смесей.

| Наименование показателя<br>вмещающего грунта                       | Степень пригодности грунта<br>в зависимости от его показателей                              |                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                    | Пригодны                                                                                    | Непригодны                                                                                                                                         |
| 1                                                                  | 2                                                                                           | 3                                                                                                                                                  |
| Вид грунта                                                         | Все пески и глинистые грунты природные и искусственные, за исключением указанных в графе 3. | Глины при числе пластичности с $I_L > 0.17$ ; супеси. суглинки с $0.02 \leq I_L \leq 0.12$ ; набухающие, пучинистые и рыхлые с $K_{упл} \geq 0.90$ |
| Количество глинистых частиц в песке, %                             | не более 30                                                                                 | При 30% и более (допускается улучшить смесь введением добавок песка)                                                                               |
| Содержание легкорастворимых солей, %                               | менее 4, сернокислых до 2                                                                   | $\geq 4$ , сернокислых $\geq 2$                                                                                                                    |
| Водородный показатель                                              | более 4                                                                                     | $\leq 4$                                                                                                                                           |
| Содержание гумусированных частиц, %                                | до 6                                                                                        | $\geq 6$                                                                                                                                           |
| Содержание крупнообломочных включений, диаметром не более 40 мм, % | до 20                                                                                       | более 20                                                                                                                                           |
| Температура грунта, °С                                             | более 3                                                                                     | менее 3                                                                                                                                            |

### Заключение

По итогам выполненных исследований свойств грунтобетона на основе грунтов белорусского региона для использования в инновационных конструкциях свай уплотнения и жёстких армоэлементов для геомассивов [1, 2, 4, 6 и др.], можно сделать следующие выводы:

Грунтобетоны из грунтов белорусского региона, инновационные конструкции армоэлементов и свай, изготовленные из него по разработанным технологиям [5], достаточно надёжны и пригодны как для фундаментов зданий и сооружений, так и для упрочнения грунтов (для устройства геомассивов).

Технико-экономические исследования показывают [1, 2 и др.], что снижение стоимости при упрочнении грунтов и изготовлении свай составляет не менее 50% по сравнению с традиционными буронабивными и готовыми сваями заводского производства, а также традиционными виброударными технологиями упрочнения грунтов (укатка, трамбовка и др.), в связи с использованием в качестве армоэлементов грунтобетона из дешёвого местного грунта и инновационных набивных свай уплотнения, дополнительно упрочняющих грунт.

### Список цитированных источников

1. Кравцов, В.Н. Исследование вертикально-армированных оснований плитных фундаментов грунтобетонными микросваями и апробации их результатов в производственных условиях / В.Н. Кравцов, С.А. Якуненко, П.В. Лапатин / Вестник Полоцкого государственного университета: Серия F. Строительство.

Прикладные науки; галоўная редкол.: Д.М. Лазоўскі (гл. ред.) [и др.]. – Полоцк, 2015. – С. 40-47.

2. Кравцов, В.Н. Инновационные конструкции и технологии устройства набивных свай из грунтобетона / В.Н. Кравцов // Вестник Полоцкого государственного университета: Серия F. Строительство. Прикладные науки, №10; галоўная редкол.: Д.М. Лазоўскі (гл. ред.) [и др.]. – Полоцк, 2017. – С. 114-120.

3. Фундамент здания, возведённый на искусственно упрочнённом слабом или малопрочном грунте и способ его возведения: пат. 18688 Респ. Беларусь, МПК E02D27/12/ В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов, Н.С. Лобастов, В.П. Лебедик; заявитель РУП «Институт БелНИИС». – № а 20111166; заявл. 02.09.2011; опубл. 02.09.11 // Официальный бюл. / Нац. центр интеллектуал. соб., – 2011.

4. Рекомендации по проектированию и устройству грунтобетонных свай в бурораздвижных скважинах. – Минск: ОАО «Стройкомплекс», 2005. – 51с.

5. Рекомендации по проектированию и устройству вертикально армированных оснований (гео-массивов) для плитных фундаментов зданий и сооружений в грунтовых условиях Республики Беларусь: Р 1.02.133 -2014 (2022). – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2014 (2022). – 28с.

6. Фундаменты плитные. Правила проектирования: ТКП 45 -01-67-2007. – Минск: МАиС РБ, 2007. – 144 с.

7. Мирсояпов, И.Т. Исследование прочности и деформируемости просадочных грунтовых оснований, армированных вертикальными элементами / И.Т. Мирсояпов, В.Р. Мустакимов // Труды международной конференции по геотехнике «Взаимодействие сооружений и оснований: методы расчёта и инженерная практика». Том 2. – СПб, ПГУПС, 2005. – С. 40-45.

8. Тер-Мартirosян З.Г., Эквивалентные характеристики деформируемости и прочности многокомпонентного грунта / З.Г. Тер-Мартirosян // Материалы Международного Сопещения заведующих кафедрами МГр., Инж. Геологии, ОиФ и Подземного строительства строительных вузов и факультетов, М.: МГСУ, 2003. – С. 15-25.

9. Токин, А.Н. Фундаменты из цементогрунта / А.Н. Токин. – М.: Стройиздат, 1984. – 184 с.

10. Основы проектирования строительных конструкций (на основе EN1990:2002): СН 2.10.01 – 2019. – Минск: МАиС РБ, 2020. – 89 с.

## References

1. Kravtsov, V.N. Issledovanie vertikal'no-armirovannyh osnovanij plitnyh fundamentov gruntobetonnyimi mikrosvayami i aprobatsii ih rezultatov v proizvodstvennyh usloviyah / V.N. Kravtsov, S.A. Yakunenko, P.V. Lapatin / Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo Universiteta: Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki; galounaya redkol.: D.M. Lazouski (gl. red.) [i dr.]. – Polotsk, 2015. – S. 40-47.

2. Kravtsov, V.N. Innovatsionnye konstruksii i tehnologii ustrojstva nabivnyh svaj iz gruntobetona / V.N. Kravtsov // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo Universiteta: Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki, №10; galounaya redkol.: D.M. Lazouski (gl. red.) [i dr.]. – Polotsk, 2017. – S. 114-120.

3. Fundament zdaniya, vozvedennyj na iskusstvenno uprochnennom slabom ili maloprotchnom grunte i sposob ego vozvedeniya: pat. 18688 Resp. Belarus', MPK E02D27/12/ V.E. Ses'kov, V.N. Kravtsov, N.S. Lobastov, V.P. Lebedik; zayavitel'



RUP «Institut BelNIIS». – № а 20111166 ; заявл. 02.09.2011 ; opubl. 02.09.11 // Ofitsial'nyj bjul. / Nats. tsentr intelektual. sob., – 2011.

4. Rekomendatsii po proektirovaniyu i ustrojstvu gruntobetonnyh svaj v burorazdviznyh skvadinah. – Minsk: OAO «Strojkompleks», 2005. – 51s.

5. Rekomendatsii po proektirovaniyu i ustrojstvu vertikal'no armirovannyh osnovanij (geomassivov) dlya plitnyh fundamentov zdaniy i soorudzenij v gruntovyh usloviyah Respubliki Belarus': R 1.02.133 -2014 (2022). – Minsk: RUP «Strojtehnorm», 2014 (2022). – 28s.

6. Fundamenty plitnye. Pravila proektirovaniya : TKP 45 -01-67-2007. – Minsk: MAiS RB, 2007. – 144 s.

7. Mirsoyapov, I.T. Issledovanie prochnosti i deformiruемости prosadochnykh gruntovyh osnovanij, armirovannykh vertikal'nymi elementami / I.T. Mirsoyapov, V.R. Mustakimov // Trudy mezhdunarod-noj konferentsii po geotekhnike «Vzaimodejstvie soorudzenij i osnovanij: metody raschyota i indzener-naya praktika». Tom 2. – SPb, PGUPS, 2005. – S. 40-45.

8. Ter-Martirosyan Z.G., Ekvivalentnye harakteristiki deformiruемости i prochnosti mnogokomponentnogo grunta / Z.G. Ter-Martirosyan // Materialy Medzhdunarodnogo Soveschaniya zavedujuschih kafedrami MGr., Indz.Geologii, OiF i Podzemnogo stroitel'stva stroitel'nykh vuzov i fakul'tetov, M.: MGSU, 2003. – S. 15-25.

9. Tokin, A.N. Fundamenty iz tsementogrunta / A.N. Tokin. – M.: Strojizdat, 1984. – 184 s.

10. Osnovy proektirovaniya stroitel'nykh konstruksij (na osnove EN1990:2002): SN 2.10.01 – 2019. – Minsk: MAiS RB, 2020. – 89 s.

УДК 624.15

## **ОПЫТ УСТРОЙСТВА ГЛУБОКИХ ФУНДАМЕНТОВ ПОД ОБОРУДОВАНИЕ ВНУТРИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗДАНИЯ ЦЕХА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ**

***А.П.Кремнёв<sup>1</sup>, Ю.В.Анисимов<sup>2</sup>, Е.Г.Кремнева<sup>3</sup>***

<sup>1</sup> *к.т.н, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, учреждения образования «Полоцкий государственный университет им. Евфросинии Полоцкой», Новополоцк, Беларусь, e-mail: kremnev\_si@mail.ru*

<sup>2</sup> *Старший преподаватель кафедры геотехника и строительная механика, «Белорусский национальный технический университет», г. Минск, Беларусь, e-mail: 6619151@tut.by*

<sup>3</sup> *к.т.н, доцент, заведующий кафедрой архитектуры и дизайна учреждения образования «Полоцкий государственный университет им. Евфросинии Полоцкой», Новополоцк, Беларусь, e-mail: e.kremneva@psu.by*

### **Реферат**

В статье рассматривается пример успешного возведения глубоких фундаментов внутри существующего производственного цеха в сложных геологических условиях, характеризующихся высоким уровнем грунтовых вод и наличием водонасыщенных песков, переходящих в плавунное состояние при малейшем виб-