

УДК 624.151.2:624.138

**НАТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВАНИЯ,  
АРМИРОВАННОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ И КОНИЧЕСКИМИ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ  
ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ СУХОЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

**Т.В. Тронда, В.А. Сернов**

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: t.v.tronda@gmail.com

*Одной из инновационных и перспективных технологий по улучшению прочностных и деформационных свойств грунтовых оснований является армирование вертикальными элементами из сухой бетонной смеси. В статье приведены результаты натурного исследования фрагментов основания, сложенного пылевато-глинистыми грунтами и армированного цилиндрическими и коническими вертикальными элементами из сухой бетонной смеси, на строительной площадке г. Минска; определена величина упрочнения для каждого инженерно-геологического элемента в пределах длины элементов.*

**Ключевые слова:** улучшение свойств грунтов, армирование грунтов, вертикальные элементы, сухая бетонная смесь, статическое зондирование.

**IN-SITU RESEARCH OF FOUNDATION SOILS  
REINFORCED WITH CYLINDRICAL AND CONICAL VERTICAL ELEMENTS  
OF DRY CONCRETE**

**T. Tronda, V. Siarnou**

Belarusian National Technical University, Minsk

e-mail: t.v.tronda@gmail.com

*One of the innovative and perspective technologies for improving the strength and deformation properties of soil bases is the reinforcement with vertical elements of dry concrete at the construction site in Minsk. The results of in-situ research of foundation soils reinforced with cylindrical and conical vertical elements of dry concrete are presented in the article; the value of strengthening is determined for each geotechnical stratum along the element length.*

**Keywords:** ground improvement, soil reinforcement, vertical elements, dry concrete, cone penetration test.

**Введение.** Вертикальное армирование при строительстве на слабых грунтах является одной из наиболее эффективных технологий по упрочнению оснований. По сравнению с традиционными способами, применяемыми при строительстве на слабых грунтах, армирование слабых грунтов позволяет снизить и трудоемкость, и материалоемкость. При этом, в качестве армирующих элементов зачастую используют забивные,

набивные и другие виды свай. Однако, в условиях залегания у поверхности больших толщ слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов рациональным является применение вертикального армирования основания элементами из сухой бетонной смеси, которые позволяют одновременно дренировать и уплотнять природные грунты.

Ранее вертикальное армирование элементами из сухой бетонной смеси после проведения анализа инженерно-геологических условий и выполнения технико-экономического сравнения нескольких вариантов оснований и фундаментов было применено при строительстве трех девятиэтажных жилых домов в г.п. Колодищи [1-3].

Также вертикальное армирование основания плитного фундамента элементами из сухой бетонной смеси было выполнено при строительстве комплекса жилой застройки «Вивальди» в г. Минске [4, 5]. Исследования фрагментов армированного цилиндрическими и коническими вертикальными элементами основания, проведенные на строительной площадке, рассмотрим далее.

**Результаты исследований.** Инженерно-геологические условия при строительстве комплекса жилой застройки «Вивальди» в квартале ул. Шафаронянской-Гинтовта-Ложинской-Городецкой в г. Минске относятся к сложным. Осложняющими факторами при устройстве фундаментов является наличие у поверхности прослоек слабых глинистых и насыпных грунтов, а на глубине 3,0...20,9 м от подошвы фундаментной плиты находится кровля слабых глинистых грунтов с органическими включениями, мергелей, мела и заторфованных грунтов общей мощностью до 26,8 м.

В связи со сложностью инженерно-геологических условий и на основании проведенного технико-экономического сравнения [2] было принято решение о применении вертикального армирования верхней части основания элементами из сухой бетонной смеси.

При строительстве пусковых комплексов применялись цилиндрические или конические вместе коническими вертикальные элементы.

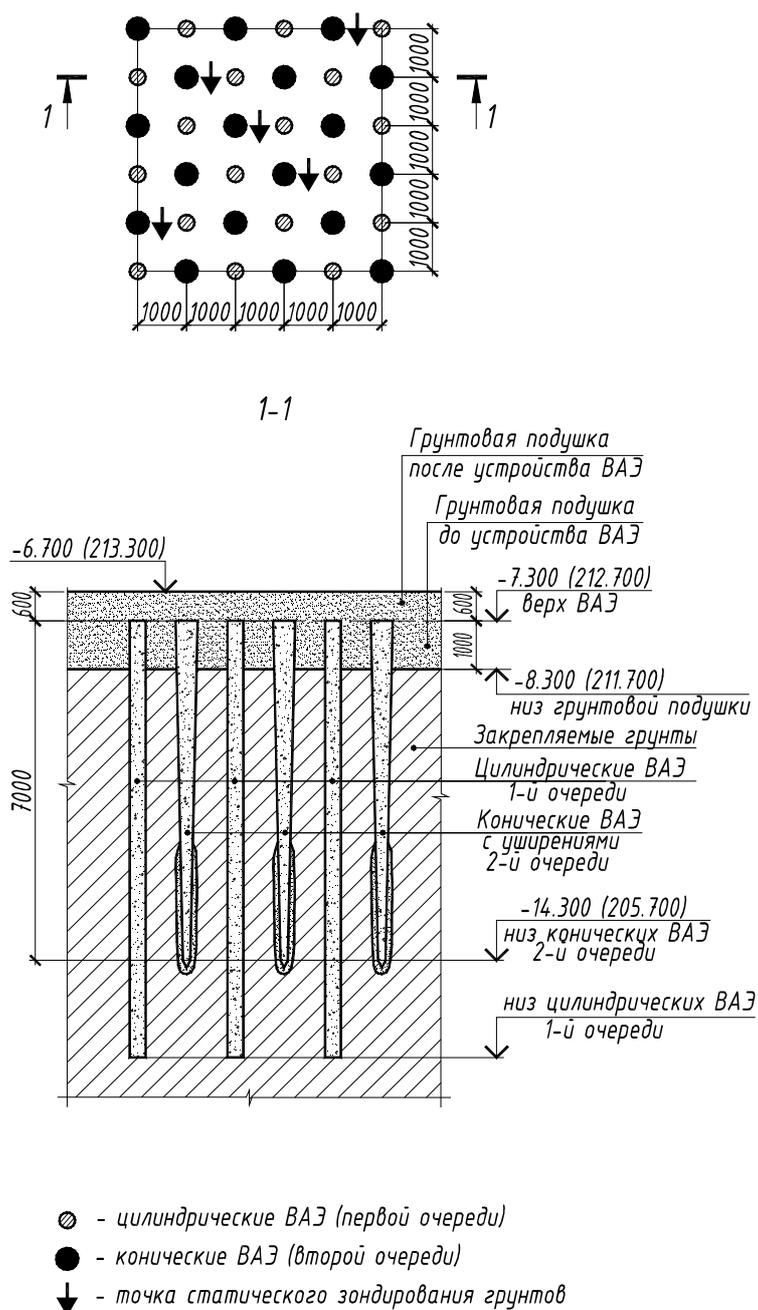
Так, например, при строительстве 3-го пускового комплекса применялись вместе цилиндрические и конические вертикальные армирующие элементы с целью лучшего упрочнения основания. По технологии сначала выполнялись цилиндрические армирующие элементы (первая очередь) в шахматном порядке через один, а затем конические (вторая очередь). Элементы выполнялись по технологии вибровыштампованных набивных свай следующих размеров:

- цилиндрические – диаметром 325 мм и длиной 3-12 м;
- конические – диаметром оголовка 450 мм и длиной 7 м.

Выштампованные скважины заполнялись сухой бетонной смесью класса С12/15.

Перед началом устройства элементов была выполнена грунтовая подушка из песка для того, чтобы дать возможность технике спуститься и проводить работы в котловане. Толщина грунтовой подушки составила 1,6 м: 1,0 м ниже уровня оголовков элементов и 0,6 м выше.

Далее с целью проверки армированного основания и приема его в эксплуатацию было выполнено два опытных фрагмента, каждый из которых состоял из грунта, армируемого 18 цилиндрическими и 18 коническими элементами, и песчаной подушки сверху (рисунок 1).



**Рисунок 1. – Опытный фрагмент основания, армированного цилиндрическими и коническими вертикальными элементами**

В качестве методов исследования использовался метод статического зондирования грунта между элементами до и после их устройства. Всего было выполнено 10 точек статического зондирования – по 5 точек для каждого опытного фрагмента. Статическое зондирование выполнялось в соответствии с ТКП 45-5.01-15-2005 [6].

Исследования опытных фрагментов показали, что удельное сопротивление грунта под наконечником зонда  $q_s$  и на участке боковой поверхности  $f_s$  возрастают по всей глубине как песчаных, так и глинистых грунтов.

По результатам статического зондирования грунтов определена величина упрочнения грунтов, которая характеризуется коэффициентом упрочнения  $K_y = q_s/q'_s$  ( $q_s$  – удельное сопротивление грунта под наконечником зонда до устройства элементов,  $q'_s$  – то же, после устройства элементов). Полученные величины коэффициента упрочнения  $K_y$  для каждого инженерно-геологического элемента в пределах длины конических элементов приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Коэффициент упрочнения грунтов  $K_y$

Наименование грунта	$q_s$ , МПа	$q'_s$ , МПа	$K_y$
грунтовая подушка (песок средний средней прочности)	6,18	12,96	2,10
суглинок слабый ( $\gamma_{II}=18,6$ кН/м <sup>3</sup> , $c_{II}=15$ кПа, $\phi_{II}=21^\circ$ , $E=3,5$ МПа)	1,47	2,61	1,78
суглинок средней прочности ( $\gamma_{II}=19,7$ кН/м <sup>3</sup> , $c_{II}=26$ кПа, $\phi_{II}=25^\circ$ , $E=8,0$ МПа)	2,33	4,57	1,96
суглинок и супесь прочные ( $\gamma_{II}=19,4$ кН/м <sup>3</sup> , $c_{II}=22$ кПа, $\phi_{II}=23^\circ$ , $E=15,0$ МПа)	6,60	9,40	1,42
суглинок с примесью органических веществ ( $\gamma_{II}=18,1$ кН/м <sup>3</sup> , $c_{II}=28$ кПа, $\phi_{II}=5^\circ$ , $E=9,0$ МПа)	2,86	5,62	1,97

Из таблицы видно, что происходит упрочнение всех инженерно-геологических элементов в пределах длины конических элементов. Величина упрочнения грунтов по 10 точкам зондирования в среднем составила  $K_y=1,85$ .

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенного натурного исследования основания, армированного цилиндрическими и коническими вертикальными элементами из сухой бетонной смеси, удалось установить, что применение такой технологии эффективно в слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах и способствует значительному упрочнению основания по всей длине элементов: коэффициент упрочнения  $K_y$  составляет от 1,42 до 2,10 в зависимости от вида грунта, в среднем  $K_y=1,85$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сернов, В.А. Применение геомассива при строительстве трех девятиэтажных жилых домов в г.п. Колодищи / В. А. Сернов, Т. В. Тронда // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. тр. XVIII междунар. науч.-метод. сем., Новополоцк, 28-29 нояб. 2012 г. / Полоц. гос. ун-т ; редкол.: Д. Н. Лазовский [и др.]. – Новополоцк, 2012. – Т. II. – С. 286-292.
2. Тронда, Т.В. Натурные исследования упрочнения грунтов армирующими элементами из сухой бетонной смеси / Т. В. Тронда // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. / Акад. буд-ва України, Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування,

- Північ.-Зах. територ. від-ня АБУ ; редкол. Бабич Є. М. (відп. ред.) [та ін.]. - Рівне, 2014. – Вип. 29. – С. 561-566.
3. Tronda T. Improvement of soft soil characteristics through application of dry concrete mix pillars / T. Tronda // Challenges and Innovations in Geotechnics : proc. of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference (8AYGEC), Astana, 5-7 Aug. 2016 ; ed.: A. Zhussupbekov. – London : Taylor & Francis Group; Leiden : CRC Press/Balkema, 2016. – P. 155-158.
  4. Тронда, Т.В. Опыт усиления слабых водонасыщенных грунтов при строительстве многоэтажных зданий / Т. В. Тронда // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. / Акад. буд-ва України, Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування, Північ.-Зах. територ. від-ня АБУ ; редкол.: Бабич Є. М. (відп. ред.) [та ін.]. - Рівне, 2013. – Вип. 27. – С. 423-430.
  5. Tronda T. Actual experience with the geomassif in complicated soil conditions / T. Tronda // Advances in soil mechanics and Geotechnical engineering (ASMGE) : Proc. of the 5th International Young Geotechnical Engineers' Conference, Paris, 31 Aug. – 1 Sept. 2013 / Ecole des Ponts Paris-Tech ; ed.: Yu-Jun Cui [et al.]. – Paris; Amsterdam : IOS Press, 2013. – Vol. 2 – P. 151-154.
  6. Прочностные и деформационные характеристики грунтов по данным статического зондирования и пенетрационного каротажа. Правила определения : ТКП 45-5.01-15-2005. – Введ. 01.07.2006. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2005. – 28 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**  
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.  
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

**№ госрегистрации 3671815379.**

**ISBN 978-985-531-701-3**

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ  
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова*.  
Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой*.  
Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

---

Подписано к использованию 09.09.2020.  
Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>