

УДК 624.151.2:624.138

**НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРОЧНЕНИЯ ГРУНТОВ
АРМИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ СУХОЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

**FIELD RESEARCH OF SOIL STRENGTHENING WITH DRY
CONCRETE REINFORCING ELEMENTS**

Тронда Т.В., м.т.н., аспирант (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь); e-mail: t.v.tronda@gmail.com

Tronda T., master of technical sciences, postgraduate student (Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus); e-mail: t.v.tronda@gmail.com

В статье приведены методика и результаты натурного исследования основания, армированного вертикальными элементами из сухой бетонной смеси, определена величина упрочнения для каждого инженерно-геологического элемента на строительной площадке.

The procedure and results of the full-scale study of the base reinforced with vertical elements of the dry concrete mix are presented in the article. The value of strengthening is determined for each geotechnical stratum at the site.

Введение. Традиционно при залегании у поверхности слабых водонасыщенных грунтов применяются свайные фундаменты, песчаные подушки или уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками. Однако, если мощность слабых грунтов составляет 20 м и более традиционные способы малоэффективны из-за ограниченной области применения, повышенной трудоемкости и стоимости работ. Более рациональным решением в данных условиях является армирование верхней части основания с улучшением прочностных и деформационных характеристик природного грунта. Одним из эффективных способов армирования слабых водонасыщенных грунтов является устройство геомассива из сухих бетонных и грунтоцементных смесей в выштампованных скважинах, позволяющих одновременно дренировать и уплотнять природные грунты.

Анализ последних исследований. Многими учеными проведен комплекс лабораторных, полевых и натуральных исследований, в ходе которых было установлено, что вертикальное армирование грунта оправдано и весьма эффективно (Л.В. Нуждин и В.В. Теслицкий [1], И.Т. Мирсаяпов и А.О. Попов [2, 3], В.Е. Сеськов и В.Н. Кравцов [4] и др.). Однако, проведенные ранее натурные исследования и действующие в настоящее время в РБ национальные ТНПА не рассматривают в полной мере устройство

геомассивов с вертикальными армирующими элементами (ВАЭ) из сухой бетонной смеси.

В связи с этим был проведен комплекс исследований о возможности приема в эксплуатацию армированного вертикальными элементами из сухой бетонной смеси основания плитного фундамента при строительстве жилого дома в г.п. Колодищи Минского р-на, Беларусь. Описание инженерно-геологических условий строительной площадки, обоснование применения геомассива, технология устройства и начальные результаты приведены в [5].

Постановка цели и задач исследования. Целью исследования являлось увеличение несущей способности грунтов за счет их армирования вертикальными элементами из сухой бетонной смеси. Для этого были решены следующие задачи:

- определить сопротивление грунтов под наконечником зонда q_s , МПа до и после устройства ВАЭ;
- определить модули деформации грунтов E , МПа до и после устройства ВАЭ;
- рассчитать величину упрочнения для каждого инженерно-геологического элемента.

Методика исследования. В качестве методов исследования использовался метод статического зондирования грунта между ВАЭ. Всего было выполнено 10 точек статического зондирования по периметру проектируемого жилого дома до устройства ВАЭ и 10 точек после устройства ВАЭ.

На основании инженерно-геологических изысканий на строительной площадке в пределах разведанной толщи грунтов были выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

- Болотные отложения:
- ИГЭ-1. Сильнозоторфованный грунт (торф);
- Озерно-аллювиальные отложения позерского горизонта:
- ИГЭ-2. Суглинок слабый ($E=4.3$ МПа);
- ИГЭ-2а. Суглинок средней прочности ($E=11$ МПа);
- ИГЭ-4. Супесь средней прочности ($E=8$ МПа);
- ИГЭ-6. Песок средней прочности ($E=25$ МПа);
- Озерно-болотные отложения муравинского горизонта:
- ИГЭ-7. Суглинок средней прочности ($E=10$ МПа);
- ИГЭ-8. Суглинок с растительными остатками ($E=14$ МПа);
- ИГЭ-10. Грунт слабо и среднезоторфованный ($E=9$ МПа);
- ИГЭ-11. Торф ($E=15$ МПа);
- Водно-ледниковые отложения сожско-позерского горизонта:
- ИГЭ-12. Песок средней прочности ($E=23$ МПа).

При этом слой сильнозоторфованного грунта (ИГЭ-1) залегал у

поверхности и выше подошвы проектируемой фундаментной плиты. Под подошвой толща слабых лессовидных суглинков (ИГЭ-2) распространяется на глубину от 3.0 м до 8.5 м. Ниже залегает прослойка песка средней прочности (ИГЭ-6), а под ней глинистые грунты с органическими включениями и торф (ИГЭ-7-11), подстилаемые на глубине 12.5-16.7 м песками средней прочности (ИГЭ-12).

В связи со сложными инженерно-геологическими условиями было принято решение об устройстве геомассива, состоящего из вертикальных армирующих элементов и песчаной подушки (рис. 1, 2).

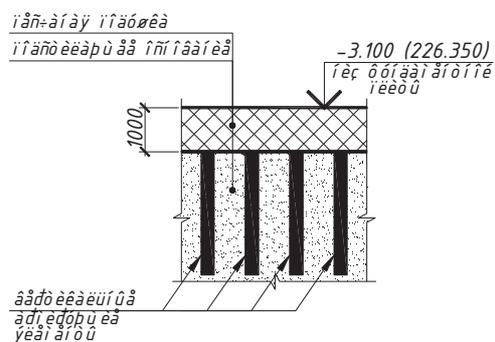


Рис. 1. Фрагмент основания, армированного вертикальными элементами из сухой бетонной смеси

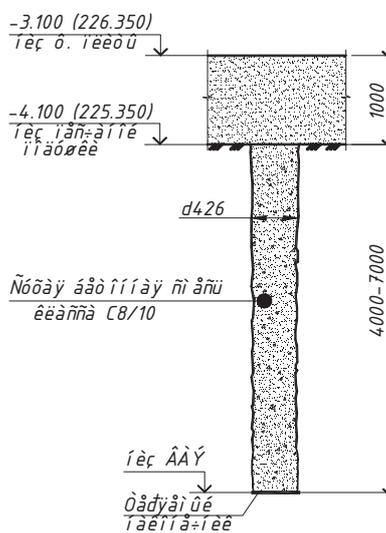


Рис. 2. ВАЭ из сухой бетонной смеси

ВАЭ выполнялись по технологии вибровыштампованных набивных свай диаметром 426 мм, длиной 4.0, 5.5, 6.5 и 7.0 м, с шагом 1.5 м. Обсадная труба заполнялась сухой бетонной смесью класса С8/10.

После устройства ВАЭ и песчаной подушки мощностью 0.3 м на абс.отм. 225.650 выполнены 10 точек зондирования в тех же местах, что и в период инженерно-геологических изысканий перед устройством ВАЭ.

Результаты исследования. Исследования позволили установить характер и изменение физико-механических свойств уплотненных грунтов по глубине и по площади проектируемого здания.

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q_s , МПа возросло по всей глубине скважин, как в пределах длины ВАЭ, так и ниже пята ВАЭ, а также для всех типов грунта, как для песчаных, так и глинистых грунтов (табл. 1).

Таблица 1

Значения удельного сопротивления q_s , МПа и модуля деформации E , МПа до и после устройства ВАЭ. Коэффициент упрочнения K_y

ИГЭ	Среднее значение удельного сопротивления		Модуль деформации по [6]		$K_y = q'_s/q_s$
	до, q_s , МПа	после, q'_s , МПа	до, E , МПа	после, E' , МПа	
в пределах длины ВАЭ					
2	0.8	4.9	4.9	29.6	6.08
2а	3.3	5.5	20.2	33.5	1.66
4	1.5	6.5	8.6	37.3	4.36
6	4.3	7.4	19.7	33.8	1.72
ниже пята ВАЭ					
6	6.1	12	28.1	55.1	1.96
7	2.0	4.3	12.4	26.0	2.09
8	1.9	3.4	10.9	19.2	1.76
10	3.6	4.8	9.3	12.2	1.32
11	4.6	4.9	14.4	15.5	1.08
12	4.6	7.0	21.0	32.3	1.54

По результатам статического зондирования грунтов рассчитан модуль деформации E , МПа согласно [6] и величина упрочнения грунтов, которая характеризуется коэффициентом упрочнения $K_y = q'_s/q_s$ (q_s – удельное сопротивление грунта под наконечником зонда до устройства ВАЭ, q'_s – то

же, после устройства ВАЭ) (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что происходит упрочнение всех инженерно-геологических элементов. Величина упрочнения грунтов по 10 точкам зондирования в среднем составила $K_y=3.45$ в пределах длины ВАЭ и $K_y=1.62$ ниже пяты ВАЭ.

Согласно графикам статического зондирования наибольшее увеличение удельного сопротивления грунта под наконечником зонда q_s , МПа наблюдается у оголовков и под пятой ВАЭ. При этом зона влияния ВАЭ ниже пяты равна от 3 до 11 диаметров ВАЭ (рис. 3).

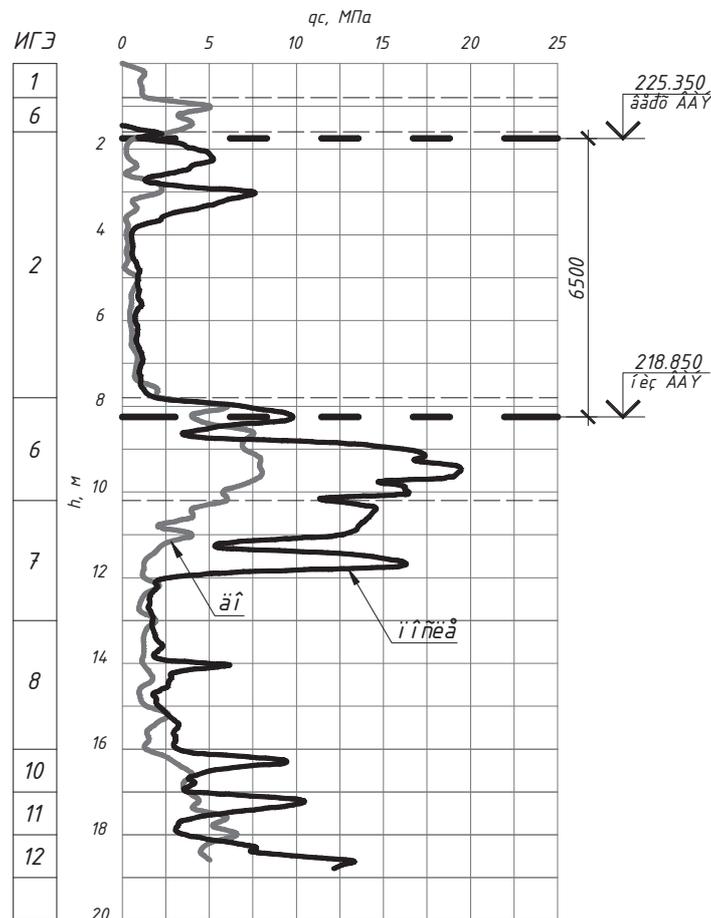


Рис. 3. Графики удельного сопротивления грунта под наконечником зонда q_s , МПа до и после устройства ВАЭ

Выводы. В результате проведенного натурального исследования основания,

армированного вертикальными элементами из сухой бетонной смеси, удалось установить, что применение такой технологии эффективно в слабых водонасыщенных грунтах и способствует значительному упрочнению основания.

Упрочнение происходит как в пределах длины ВАЭ, так и ниже пяты для каждого инженерно-геологического элемента. При этом в зависимости от вида грунта коэффициент упрочнения составляет $K_y=1.08-6.08$.

1. Нуждин, Л.В. Усиление оснований фундаментов армированием вертикальными элементами / Л.В. Нуждин, В.В. Теслицкий // Строительство. – 2003. – №3-4. – С. 43-47.
2. Мирсаяпов, И.Т., Определение несущей способности и осадок армированных вертикальными стержневыми элементами грунтовых оснований / И.Т. Мирсаяпов, А.О. Попов // Международный научно-технический сборник. – Киев. – 2011. – С.612-618.
3. Попов, А.О. Несущая способность и деформации армированных грунтовых оснований (массивов) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / А.О. Попов ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – СПб, 2012. – 24 с.
4. Сеськов, В.Е. Несущая способность и деформативность оснований фундаментов, вертикально армированных грунтобетонными микросваями в пробитых скважинах / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сборник трудов XVIII междунар. науч.-метод. сем., том II, Новополоцк, 28-29 ноября 2012 г. / ПГУ ; редкол.: Д.Н. Лазовский [и др.]. – Новополоцк, 2012. – С. 229-235.
5. Тронда, Т.В. Опыт усиления слабых водонасыщенных грунтов при строительстве многоэтажных зданий / 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 : НУВГП, 2013. – Вип. 27. – С. 423-430.
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.