

УДК 624. 023.943:624.159.9

**ДОСВІД ПОСИЛЕННЯ СЛАБКИХ ВОДОНАСИЧЕНИХ ГРУНТІВ ПРИ
БУДІВНИЦТВІ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ**

**ОПЫТ УСИЛЕНИЯ СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ ПРИ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ**

**EXPERIENCE OF SOFT WATER-SATURATED SOIL STRENGTHENING
AT MULTISTOREY BUILDING CONSTRUCTION**

Тронда Т.В., м.т.н., аспірант (Білоруський національний технічний університет, м. Мінськ)

Тронда Т.В., м.т.н., аспірант (Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

Tronda T.V., master of technical sciences, postgraduate (Belarusian National Technical University, Minsk)

У статті описані конструктивно-технологічні рішення з улаштування геомасивів на будівельних майданчиках у м. Мінську і в м.с. Колодищі. Наведено результати досліджень закріплених ґрунтів статичним зондуванням і статичним навантаженням. Економічний ефект пристрою геомасива склав **38-75%**.

В статье описаны конструктивно-технологические решения по устройству геомассивов на строительных площадках в г. Минске и в г.п. Колодищи. Приведены результаты исследований закрепленных грунтов статическим зондированием и статической нагрузкой. Экономический эффект устройства геомассива составил **38-75%**.

Constructive and technological solutions of geomassif arrangement at building sites in Minsk and the borough Kolodischi are described. The research results of strengthened soils with static probing and static loads are given. Economic effect of geomassif arrangement averaged 38-75%.

Ключевые слова:

Заснування, ґрунт, геомасив, технологія, випробування, ефективність.
Основание, ґрунт, геомасив, технологія, испытання, ефективність.
The base, soil, geomassif, technology, testing, efficiency.

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.

В последнее время наметилась тенденция увеличения этажности зданий, а под новое строительство все чаще отводятся земли с неблагоприятными грунтовыми условиями. 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 и постановка задач. В последнее время вопросом о закреплении грунтовых оснований путем армирования занимались 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]. Учеными был проведен комплекс лабораторных, полевых и натурных исследований, в ходе которых было установлено, что устройство геомассивов оправдано и весьма эффективно. Результаты исследований показали, что армирование вертикальными элементами увеличивает несущую способность грунтового основания в 1,42-2,42 раза, уменьшает осадки оснований в 1,25-3,15 раза в зависимости от длины элементов и характера армирования.

Особый интерес при строительстве на слабых водонасыщенных грунтах представляет армирование их вертикальными элементами из сухих бетонных смесей. Однако, ни проведенные ранее натурные исследования, ни действующие в настоящее время в РБ национальные ТНПА [5] не рассматривают устройство таких геомассивов в полной мере. В связи с этим необходимо было проверить возможность приема в эксплуатацию оснований, закрепленных вертикальными армирующими элементами (ВАЭ) из сухой бетонной смеси, на строительных площадках РБ.

Устройство и натурные испытания геомассива в основании жилого дома в г. Минске («Вивальди»). Инженерно-геологические условия при строительстве комплекса жилой застройки «Вивальди» 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 (рис. 1).

Применение длинных буронабивных свай в этом случае нецелесообразно

В СВЯЗИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВОЗНИКНОВЕНИЯ БОЛЬШИХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПО БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ СВАИ, А ДЛИНА СВАЙ СОСТАВИЛА БЫ ОТ 25 ДО 33 м (рис. 1). Также нецелесообразным является вариант устройства грунтовой подушки, толщина которой достигала бы 12 м.

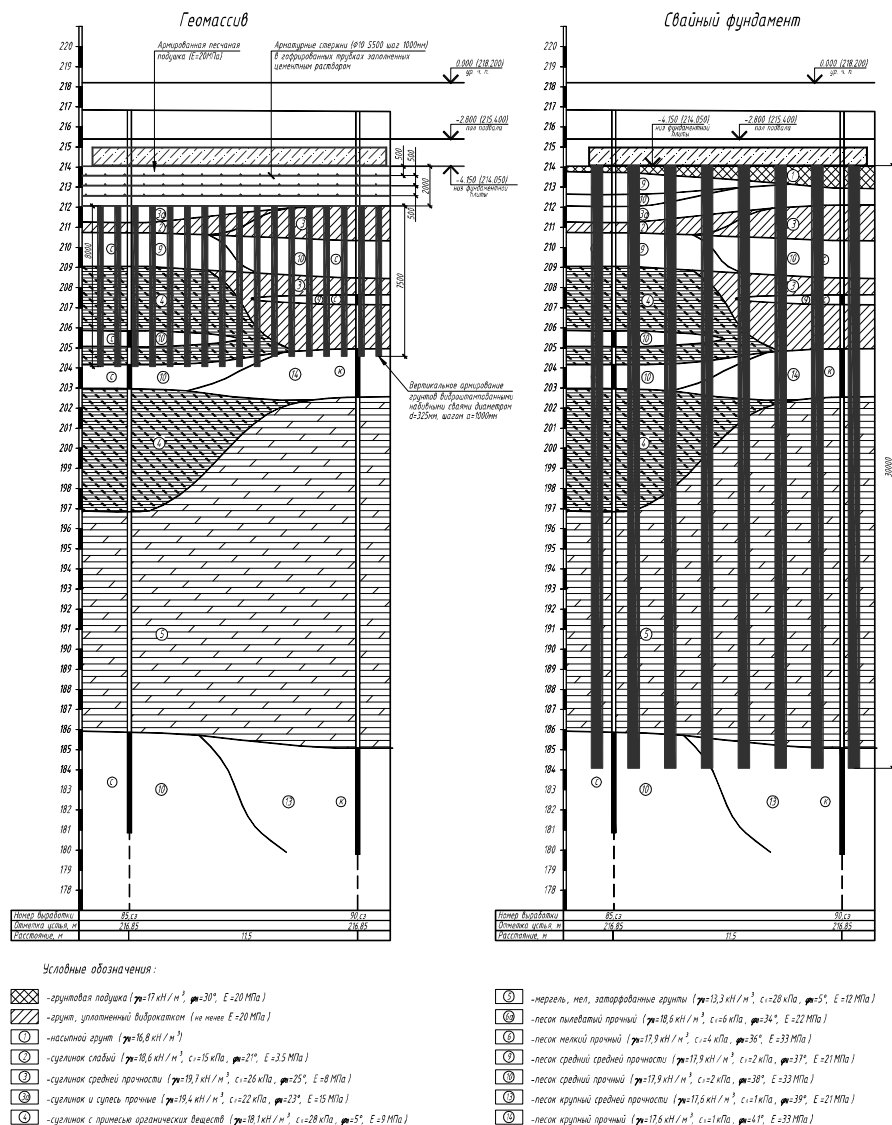


Рис. 1. Инженерно-геологические разрезы на объекте «Вивальди» с вписанными вариантами фундаментов (геомассив – слева, буронабивные сваи – справа)

Наиболее оптимальным вариантом в данных грунтовых условиях является устройство геомассива, состоящего из вертикальных армирующих элементов и горизонтально армированной песчаной подушки под фундаментную плиту (рис. 1).

Технико-экономическое сравнение рассмотренных вариантов показало, что стоимость геомассива на 75% меньше стоимости фундаментов из буронабивных свай.

Вертикальные армирующие элементы геомассива изготавливались по технологии вибровыштампованных набивных свай диаметром 325 мм с шагом 1,0 м и длиной от 3 до 9 м. Скважины выполнялись обсадной трубой с заглушенным нижним концом, погружаемой на проектную отметку вибромолотом (рис. 2). Затем труба заполнялась сухой бетонной смесью и извлекалась при помощи вибромолота, уплотняя бетонную смесь. Вертикальные армирующие элементы устраивались в шахматном порядке через один. Элементы второй очереди устраивались уже в частично дренированном грунте, что способствовало лучшему уплотнению основания.

Нагрузка на вертикально армированное грунтовое основание передается через грунтовую подушку толщиной 2,5 м, усиленную в трех уровнях горизонтальными армирующими элементами (рис. 3), создающими горизонтальную анизотропию основания, что приводит к концентрации напряжений в его верхней части.



Рис. 2. Устройство вертикальных армирующих элементов



Рис. 3. Горизонтальное армирование грунтовой подушки

После устройства ВАЭ и уплотнения грунтовой подушки из песка толщиной 300 мм был изготовлен штамп в форме железобетонной плиты размерами в плане 2,0х2,0 м и толщиной 0,5 м для определения модуля деформации геомассива, а также проведено статическое зондирование основания.

По результатам статического зондирования на месте 1-го и 2-го пусковых

комплексов рассчитанные согласно [6] модули деформации слабых грунтов после устройства геомассива увеличились в 2,5 раза и составили в среднем около 20 МПа. После устройства песчаной подушки было выполнено повторное зондирование грунтов. Конус зонда не удалось погрузить более чем на 2 м от уровня оголовков ВАЭ.

Согласно результатам четырех штамповых испытаний фрагментов геомассивов 1-го и 2-го пускового комплекса модуль деформации основания в среднем увеличился с $E=8\text{МПа}$ до $E=54\text{МПа}$, т.е в 6,75 раз.

Среднее значение модуля деформации E , МПа, рассчитанного по результатам статического зондирования 3-го пускового комплекса согласно [6], в пределах длины элементов до их устройства было 17,9 МПа, после устройства составило 32,9 МПа, что приблизительно равно среднему значению модуля деформации, полученного в результате двух штамповых испытаний и равного $E=37,4\text{МПа}$. Таким образом, устройство геомассива из ВАЭ и грунтовой подушки позволило увеличить модуль деформации основания в 2 раза.

Устройство и натурные испытания геомассива в основании жилого дома в г.п. Колодищи. Инженерно-геологические условия при строительстве девятиэтажного жилого дома в г.п. Колодищи также относятся к сложным. Под подошвами проектируемых фундаментов толща слабых лессовидных суглинков с модулями деформации 4,3 МПа распространяется на глубину от 3,0 м до 8,5 м. Ниже залегает прослойка песка средней прочности, а под ней глинистые грунты с органическими включениями и торф, подстилаемые на глубине 12,5-16,7 м песками средней прочности (рис. 4).

Наличие в основании больших толщ слабых грунтов определило применение в первоначальном проекте фундаментов из составных забивных свай длиной от 16 м до 21 м, объединенных отдельными столбчатыми и ленточными ростверками.

В качестве альтернативного варианта был выполнен проект монолитной железобетонной фундаментной плиты с вырезами и геомассива, состоящего из вертикальных армирующих элементов и промежуточной песчаной подушки (рис. 4). Вертикальные армирующие элементы выполняются для упрочнения основания, в пределах глубины сжимаемой толщи которого залегают слабые суглинки (ИГЭ-2) с низкими прочностными и деформационными характеристиками.

Технико-экономическое сравнение рассмотренных вариантов показало, что стоимость геомассива в среднем на 38% меньше стоимости фундаментов из забивных составных свай даже притом, что стоимость ростверка возросла в 2 раза.

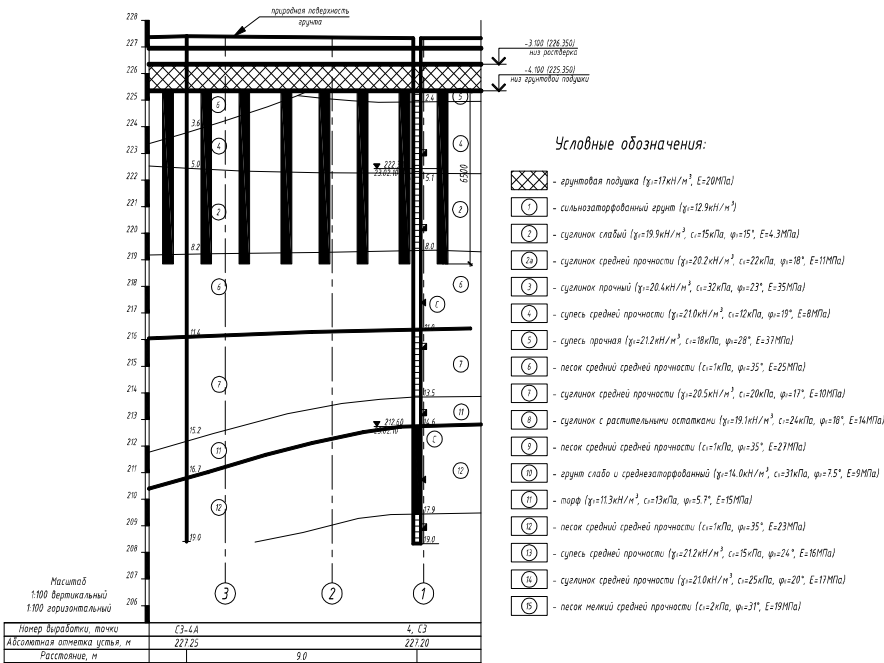


Рис. 4. Инженерно-геологические условия строительной площадки в г.п. Колодищи

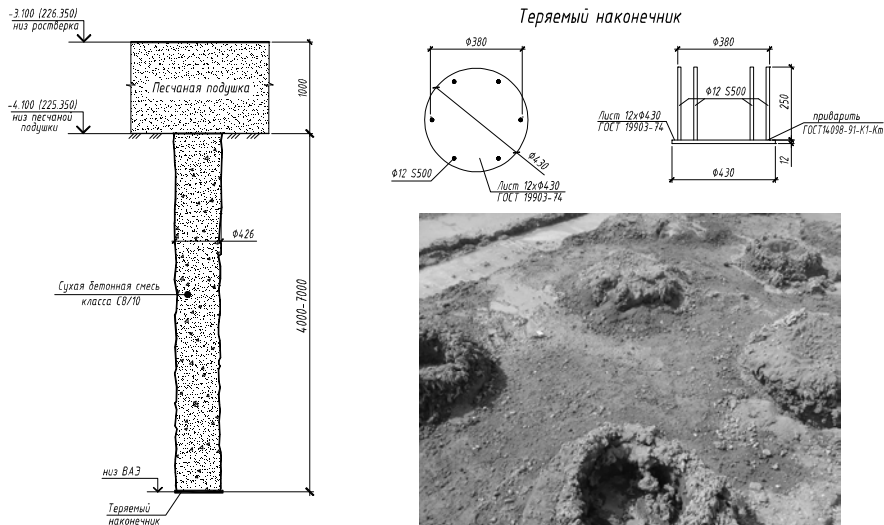


Рис. 5. Вертикальный армирующий элемент из сухой бетонной смеси в выштампованной скважине

Вертикальные армирующие элементы выполнялись также по технологии вибровыштампованных набивных свай, но диаметром 426 мм , шагом $1,5\text{ м}$ и длиной от 4 до 7 м (рис. 5). Скважины выполнялись обсадной трубой с заглушенным нижним концом, погружаемой на проектную отметку вибромолотом (рис. 6). Затем труба заполнялась сухой бетонной смесью и извлекалась при помощи вибромолота, уплотняя бетонную смесь. Устройство грунтовой подушки толщиной $1,0\text{ м}$ из песка крупной или средней крупности без органических включений осуществлялось послойно вибродинамическим методом (рис. 7).



Рис. 6. Установка для вибропогружения обсадной трубы с теряемым наконечником



Рис. 7. Уплотнение грунтовой подушки и природного грунта в верхней зоне основания виброкатком

После устройства вертикальных армирующих элементов и уплотнения верхней зоны основания для определения модуля деформации геомассива были выполнены испытания фрагментов геомассива железобетонными штампами, а также статическое зондирование основания. В качестве штампа использовалась армированная дорожная плита размерами $2,7 \times 1,5 \times 0,2\text{ м}$.

Среднее значение модуля деформации $E, \text{МПа}$, рассчитанного по результатам статического зондирования, в пределах длины элементов до их устройства было $10,3 \text{ МПа}$, после устройства составило $36,1 \text{ МПа}$, что приблизительно равно среднему значению модуля деформации, полученного в результате трех штамповых испытаний и равного $E=40 \text{ МПа}$. Таким образом, устройство геомассива позволило увеличить модуль деформации основания в $3,7$ раз.

Выводы. Натурные исследования фрагментов плитных фундаментов в водонасыщенных глинистых грунтах, закрепленных вертикальными армирующими элементами из сухой бетонной смеси, позволили установить, что при устройстве геомассива модуль деформации основания существенно возрастает и может быть увеличен в 2-7 раза.

Сравнительные расчеты стоимости устройства традиционных свайных

фундаментов и геомассивов из вертикальных армирующих элементов с промежуточной грунтовой подушкой на исследуемых объектах показали, что стоимость геомассива может быть на 38–75% ниже стоимости свайного фундамента.

Таким образом, применение геомассива из ВАЭ из сухой бетонной смеси и песчаной подушки является весьма эффективным и экономичным решением при строительстве на слабых водонасыщенных грунтах.

Необходимы дальнейшие экспериментальные исследования усиления грунтов элементами из сухой бетонной смеси с целью разработки уточненных методов расчета, что также позволит значительно сократить стоимость строительства.

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 грунтов 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 грунтов 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.** Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Пособие к строительным нормам Республики Беларусь. Проектирование и устройство техногенных геомассивов из песчано-гравийных и щебеночных свай: П6-2000 к СНБ 5.01.01-99. – Введ. 28.12.2000. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2002. – 33 с. **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.