

УДК 624. 023.943:624.159.9

**УСИЛЕНИЕ СЛАБЫХ ГРУНТОВ
ВЕРТИКАЛЬНЫМИ АРМИРУЮЩИМИ
ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ СУХОЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

Тронда Т.В., Саадун Сура

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь*

В статье приведены результаты натурных исследований оснований, закрепленных вертикальными армирующими элементами из сухой бетонной смеси, выполненных на строительных площадках в г. Минске и г.п. Колодищи. Проведен анализ изменения модуля деформации для песков и суглинков в зависимости от типа армирующего элемента. Установлено, что применение вертикального армирования из сухой бетонной смеси позволяет значительно улучшить прочностные и деформационные свойства слабых грунтов.

The results of field investigations of bases with dry concrete mix vertical reinforcing elements carried out on construction sites in the city Minsk and the borough Kolodishchi are described in the paper. The analysis of the change in the deformation modulus for sand and loam depending on the type of reinforcing elements is presented. How it was established the application of dry concrete mix vertical reinforcement can significantly improve the strength and deformation properties of soft soils.

Часто под строительство отводятся территории с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями, когда у поверхности

залегают большие толщи слабых водонасыщенных грунтов. При мощности таких грунтов более 20 м устройство свайных фундаментов малоэффективно в связи с повышенной трудоемкостью и стоимостью работ. Более экономичным решением в данных условиях является применение геомассива – закрепления слабых грунтов вертикальными армирующими элементами (ВАЭ) из сухой бетонной смеси (рис. 1).

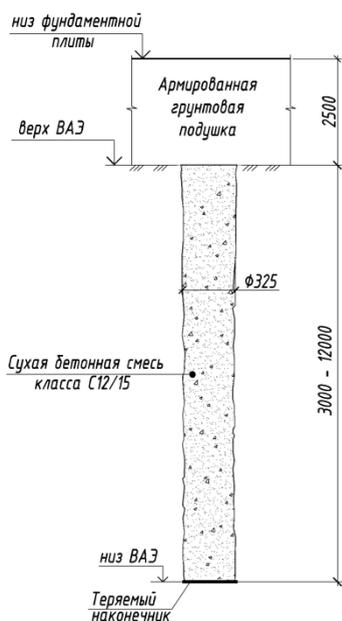


Рис. 1. Вертикальный армирующий элемент

Согласно [1, 2] расчет геомассива ведется исходя из среднего значения модуля деформации грунта и армирующих элементов, приведенных к площади, однако без учета уплотнения грунта. Также рассматривается расчет геомассивов только из армирующих элементов в виде песчано-гравийных и щебеночных свай и не рассматриваются геомассивы в виде свай из сухой бетонной смеси.

Сухая бетонная смесь позволяет дренировать окружающий водонасыщенный глинистый грунт, улучшая его прочностные и деформационные характеристики, обеспечивает ускорение консо-

лидации окружающих грунтов и улучшает качество их уплотнения при погружении последующих ВАЭ.

Инженерно-геологические условия при строительстве многофункционального комплекса «Вивальди» в м-не Уручье в г. Минске относятся к сложным. Осложняющими факторами при устройстве фундаментов является наличие у поверхности насыпных грунтов, а ниже подошвы фундаментной плиты залегают слабые глинистые грунты с органическими включениями, мергель, мел и заторфованные грунты общей мощностью до 26.8 м.

При проектировании в качестве основного варианта фундамента был принят геомассив. При строительстве 1-го и 2-го пускового комплекса применялись цилиндрические армирующие элементы. При строительстве 3-го пускового комплекса в связи с более сложными геологическими условиями цилиндрические элементы частично были заменены на конические (рис. 2).

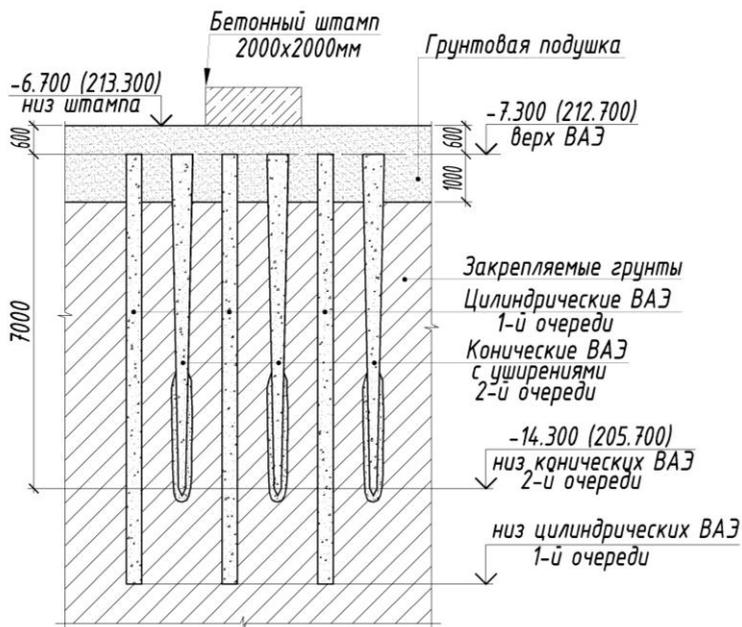


Рис. 2. Опытный фрагмент геомассива с цилиндрическими и коническими вертикальными армирующими элементами («Вивальди» г. Минск)

С целью проверки и принятия в эксплуатацию такого основания была проведена серия натуральных испытаний. Наиболее характерные результаты статического зондирования и штамповых испытаний приведены на рис. 3-6.

По результатам статического зондирования на месте 1-го и 2-го пусковых комплексов рассчитанные согласно [3] 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 4- штамповых испытаний фрагментов геомассивов 1-го и 2-го пусковых комплексов модуль деформации основания в среднем увеличился с $E = 8$ МПа до $E = 54$ МПа, т.е. в 6,75 раз.

По результатам статического зондирования грунтов в 10 точках до и после устройства геомассива на месте 3-го пускового комплекса определено увеличение прочностных и деформационных характеристик для каждого инженерно-геологического элемента на строительной площадке.

Расчеты показали, что сопротивление под наконечником зонда q_c , МПа возрастало по всей глубине межсвайного пространства как в песчаных, так и в глинистых грунтах:

- слабые суглинки – в 1,78 раза,
- суглинок средней прочности – в 2,2 раза,
- суглинок с примесью органических веществ – в 1,73 раза,
- суглинок и супесь прочные – в 1,28 раза,
- пески средние средней прочности – в 3,26 раза,
- мергель, мел, заторфованный грунт – в 1,06 раза.

Среднее значение модуля деформации E , МПа, рассчитанного по результатам статического зондирования согласно [3], 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 $E = 37,4$ МПа. Таким образом, устройство геомассива из цилиндрических и конических ВАЭ и грунтовой подушки позволило увеличить модуль деформации основания в 2 раза.

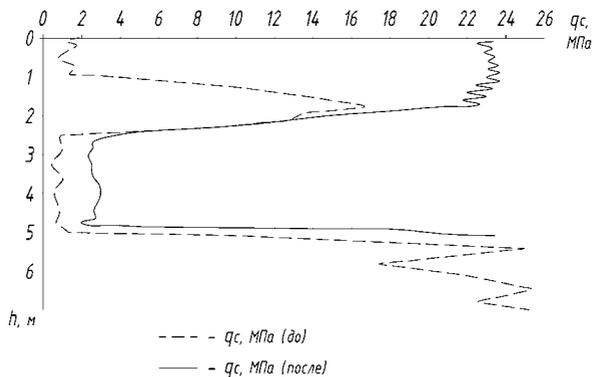


Рис. 3. Графики статического зондирования до и после устройства геомассива из цилиндрических армирующих элементов («Вивальди» г. Минск)

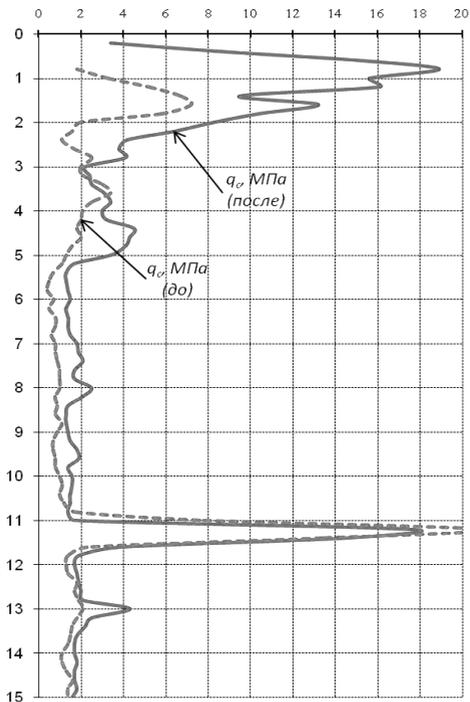
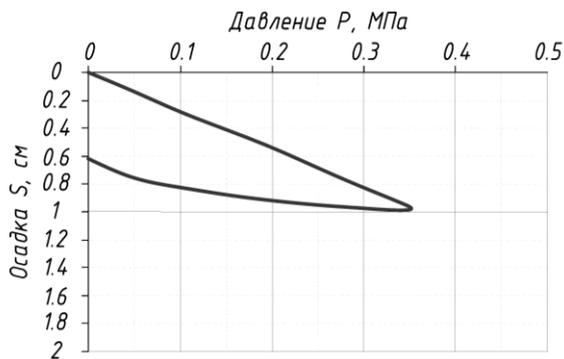
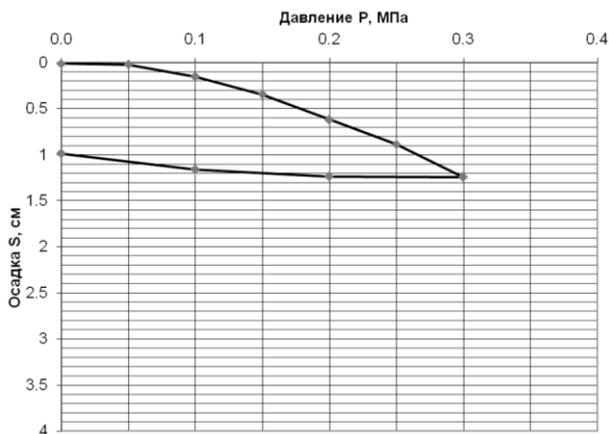


Рис. 4. Графики статического зондирования до и после устройства геомассива из цилиндрических и конических армирующих элементов («Вивальди» г. Минск)



№ исп.	Оси	Глубина штампа, м	Наименование грунта	Площадь штампа, см ²	Осадка фрагмента фундаментной плиты S (см) при давлении P (МПа)											Модуль деформации E, МПа			
					0.0	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.250	0.150	0.050	0.000	получен по штампу	принят в расчетах	изначально
1	1с-2с	0.0	геомассив	40 000	0	0.135	0.276	0.404	0.538	0.681	0.825	0.978	0.948	0.876	0.753	0.611	56	30	8

Рис. 5. Штамповые испытания фрагмента геомассива из цилиндрических армирующих элементов («Вивальди» г. Минск)



№ № исп.	Оси	Наименование грунта	Площадь штампа, см ²	Осадка штампа S (см), при давлении P, (МПа)							Модуль деформации, МПа
				0.0	0.10	0.20	0.30	0.20	0.10	0.00	
1	5с-6с	геомассив	40000	0.01	0.15	0.62	1.24	1.24	1.16	0.98	40.1

Рис. 6. Штамповые испытания фрагмента геомассива из цилиндрических и конических армирующих элементов («Вивальди» г. Минск)

Инженерно-геологические условия при строительстве жилого дома в г.п. Колодищи также относятся к сложным. Под подошвами проектируемых фундаментов толща слабых лессовидных суглинков с модулями деформации $4,2 \text{ МПа}$ распространяется на глубину до $8,5 \text{ м}$. Ниже залегает прослойка песка средней прочности, а под ней глинистые грунты с органическими включениями и торфы, подстилаемые на глубине $12,5-16,7 \text{ м}$ песками средней прочности.

Из-за сложных инженерно-геологических условий было принято решение об усилении слабых грунтов также с использованием геомассива из цилиндрических ВАЭ и грунтовой подушки.

Наиболее характерные результаты статического зондирования и штамповых испытаний приведены на рис. 7 и 8.

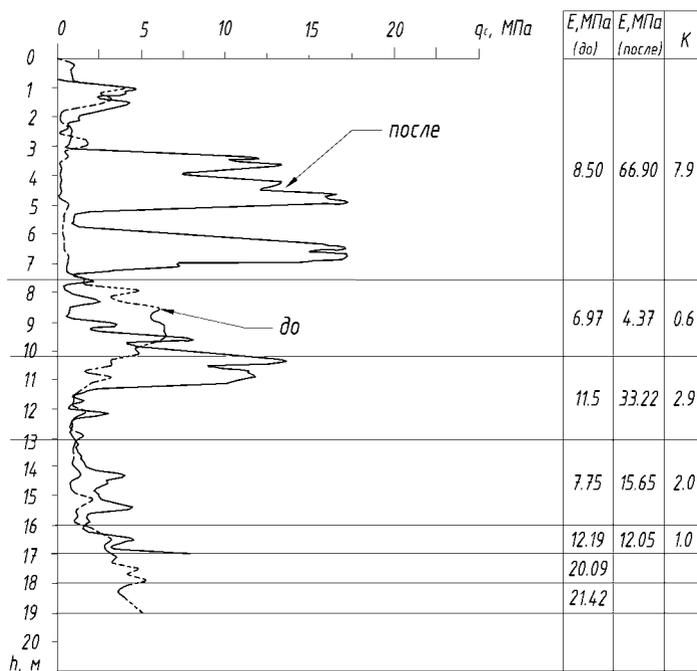


Рис. 7. Графики статического зондирования до и после устройства геомассива из цилиндрических армирующих элементов (г.п. Колодищи)

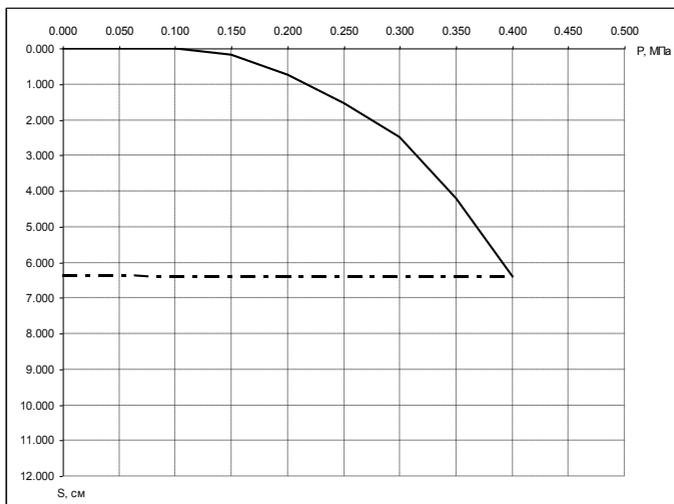


Рис. 8. Штамповые испытания фрагмента геомассива из цилиндрических армирующих элементов (г.п. Колодищи)

Расчеты по результатам статического зондирования грунтов в 10 точках до и после устройства геомассива показали, что сопротивление под наконечником зонда q_c , МПа возрастало также по всей глубине межсвайного пространства в разных грунтах:

- слабые суглинки – в 3,84 раза,
- суглинок средней прочности – в 1,27 раза,
- суглинок с растительными остатками – в 1,94 раза,
- супесь средней прочности – в 1,91 раза,
- пески средние средней прочности – в 1,4 раза,
- заторфованный грунт – в 1,22 раза,
- торф – в 1,11 раза.

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

На основании всех полученных данных был проведен анализ изменения модуля деформации для песков и суглинков в зависимости от типа армирующего элемента (таблица).

Значения модуля деформации E , МПа
до и после устройства ВАЭ

Тип ВАЭ	Пески средние средней прочности			Суглинки средней прочности		
	До	После	k	До	После	k
Цилиндрические	21,7	30,6	1,4	12,7	16,2	1,3
Цилиндрические и конические	17,8	58,0	3,3	16,6	36,6	2,2

Таким образом, при устройстве вертикальных армирующих элементов из сухой бетонной смеси можно добиться значительного усиления окружающих грунтов:

- в песках средней прочности – в 2,4 раза,
- в суглинках средней прочности – в 1,8 раза.

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

Литература

1. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения : ТКП 45-5.01-254-2012. – Введ. 05.01.2012. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2012. – 102 с.
2. 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.
3. 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.