

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОМАСШТАБНЫХ МОДЕЛЕЙ  
ГЕОМАССИВА ИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ  
АРМОДРЕНИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В ВОДОНАСЫЩЕННОЙ СУПЕСИ**

*ТРОНДА Т. В.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**Аннотация.** В данной статье описаны цель, ход проведения и результаты лабораторных исследований по закреплению слабых водонасыщенных супесей вертикальными армодренирующими элементами из сухой бетонной смеси. В ходе исследований маломасштабных моделей была доказана эффективность такого метода, изучен процесс набора прочности сухой бетонной смесью в условиях водонасыщенной супеси и определена прочность на сжатие таких образцов, определено изменение влажности супеси при внедрении элементов из сухой бетонной смеси.

**Введение.** Одной из проблем современного строительства по-прежнему остается строительство на слабых грунтах. Слабые грунты встречаются на строительных площадках многих стран, и Республика Беларусь не является исключением. При наличии слабых грунтов в основании часто прибегают к применению традиционных видов свайных фундаментов или же устраивают искусственные основания, которые могут являться более эффективным и экономичным решением.

Существует множество различных методов и способов по устройству искусственных оснований [1, 2], однако все они имеют свою область применения, свои достоинства и недостатки.

В свою очередь, что касается устройства оснований при наличии слабых водонасыщенных глинистых грунтов то, стоит отметить, что свойства глинистых грунтов сильно зависят от их влажности и консистенции, а уплотнить такие грунты без отжатия лишней поровой воды не представляется возможным.

На территории Республики Беларусь глинистые грунты составляют около 50%, при этом на строительных площадках часто встречаются слабые водонасыщенные супеси и суглинки, поэтому данный вопрос является актуальным и для РБ. В большинстве таких случаев применяют свайные фундаменты, однако, при наличии у поверхности больших толщ слабых водонасыщенных глинистых грунтов более эффективным и экономичным решением является улучшение их свойств.

При технико-экономическом сравнении нескольких вариантов оснований жилых домов на территории РБ были применены искусственные основания в виде геомассивов. Геомассивы применялись с целью закрепления слабых водонасыщенных глинистых грунтов с помощью вертикальных армодренирующих элементов (ВАДЭ) из сухой бетонной смеси [3–5].

Так как такой метод является достаточно новым и не нашел еще отражения в действующих ТНПА РБ, была проведена серия лабораторных исследований по его изучению.

**Лабораторные исследования** исследования проводились на базе кафедры «Геотехника и экология в строительстве» и Научно-исследовательской и испытательной лаборатории бетонов и строительных материалов БНТУ.

Серия лабораторных исследований была проведена с целью:

- 1) доказать эффективность метода в ходе модельных испытаний геомассива из ВАДЭ;
- 2) изучить процесс набора прочности сухой бетонной смесью в условиях водонасыщенной супеси и определить прочность образцов ВАДЭ;
- 3) определить изменение влажности супеси при внедрении ВАДЭ из сухой бетонной смеси.

### **1. Модельные испытания геомассива**

Модельные испытания фрагментов геомассива штампами были проведены в слабой водонасыщенной супеси. В результате было установлено увеличение несущей способности и снижение деформативности грунта.

Лабораторные исследования проводились согласно ГОСТ 20276-2012 «Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости» и теории инженерного эксперимента. Для испытания моделей использовался заполненный грунтом

стеклянный лоток размерами 112х24х60 см. Изначально были испытаны только модели штампов для определения несущей способности и деформативности неармированного грунта. Затем, в тех же местах, в грунте были изготовлены модели геомассива.

Для испытаний использовалась слабая водонасыщенная супесь со следующими характеристиками:

- влажность на границе текучести  $W_L=15,7\%$ ;
- влажность на границе раскатывания  $W_P=9,1\%$ ;
- начальная влажность  $W_0=13,7\%$ ;
- число пластичности  $I_P=6,6$ ;
- показатель текучести  $I_L=0,70$ .

В качестве штампов были подготовлены пластины из дерева размером 140×140×27 мм.

В качестве моделей геомассива в грунте были подготовлены три фрагмента геомассива по 9 армодренирующих элементов в каждом диаметром  $\varnothing 16$  мм и длиной  $l_{эл} = 10, 15$  и 20 см (рис. 1). Армодренирующие элементы были изготовлены из сухой смеси на портландцементе марки ПЦ 500 в следующих пропорциях по массе: Ц:П = 1:9,1. Соотношение компонентов бетонной смеси бралось из расчета получения бетона класса С8/10 в стандартных условиях.

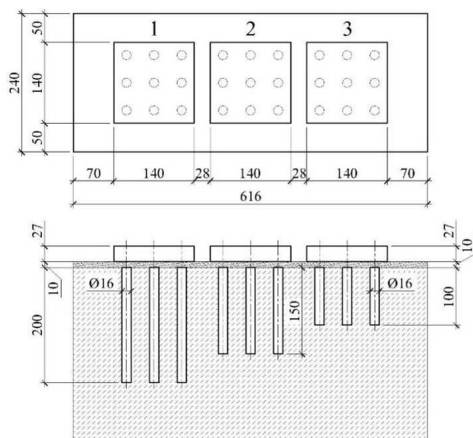


Рис. 1. Схема расположения моделей геомассива

1 – модель 1:  $l_{эл} = 20$  см; 2 – модель 2:  $l_{эл} = 15$  см; 3 – модель 3:  $l_{эл} = 10$  см

Элементы устраивались в два этапа в шахматном порядке. На первом этапе было установлено по пять элементов в каждой модели геомассива, т. е. всего 15 элементов. Затем, по истечении трех суток, были установлены оставшиеся 12 элементов (рис. 2).

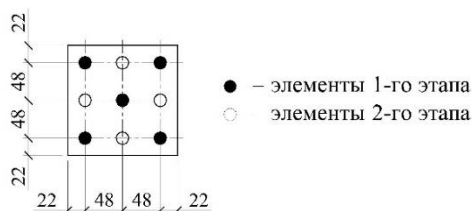


Рис. 2. Порядок устройства элементов

После устройства элементов над ними была изготовлена песчаная подушка толщиной 1 см из песка средней крупности с диаметром частиц менее 2 мм. В ходе проведения эксперимента применялись мероприятия по предотвращению испарения влаги и высыхания грунта.

По истечении 28 суток после устройства элементов и набором ими прочности были проведены штамповые испытания моделей геомассива. Нагрузка к штампам прикладывалась ступенями с шагом 0,2–0,4 кН с помощью рычага с передаточным числом 1:10. Для измерения осадок штампов, на каждой из них было установлено по два индикатора часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм. Всего было проведено три испытания штампом неармированного грунта и три испытания фрагментов геомассива.

На рис. 3 приведены полученные в результате испытаний графики зависимости осадок штампов от среднего давления под подошвой в зависимости от длины армодренирующих элементов. Для штамповых испытаний неармированного грунта приведен осредненный график.

Из полученных в ходе лабораторных исследований результатов видно, что применение геомассива из вертикальных армодренирующих элементов позволяет значительно увеличить несущую способность и уменьшить деформативность грунта.

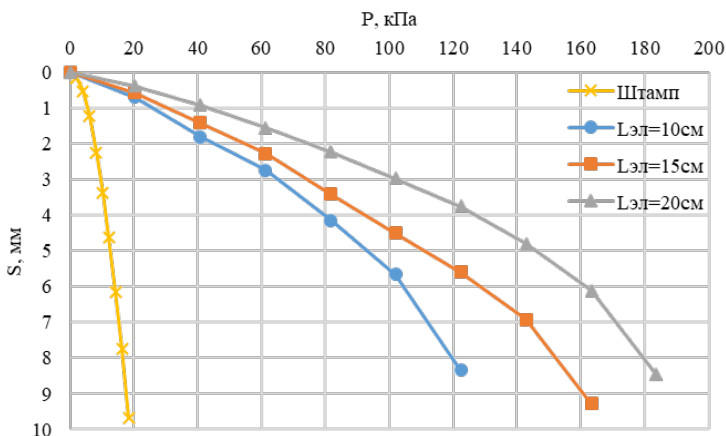


Рис. 3. График зависимости осадки штампа от давления,  $S = f(P)$

## 2. Набор прочности ВАДЭ

В связи с тем, что согласно ТКП 45-5.01-268–2012 «Основания и сооружения из армированного грунта. Правила проектирования и устройства» армирующие элементы должны обладать большей прочностью, чем армируемый грунт, были проведены лабораторные исследования по набору прочности армодрирующими элементами, изготовленными из сухой бетонной смеси в слабой водонасыщенной супеси.

Для испытаний использовалась слабая водонасыщенная супесь, помещенная в две емкости в виде круглого таза для строительных смесей объемом по  $V = 90$  л.

В качестве армодрирующего элемента в грунте были изготовлены два цилиндра диаметром  $\varnothing 160$  мм и высотой  $h = 270$  мм и  $h = 250$  мм (рис. 4) из сухой бетонной смеси на портландцементе марки ПЦ 500 в следующих пропорциях по массе:

- Ц : П : Щ – 1 : 4,5 : 6,6 для образца № 1;
- Ц : П : Щ – 1 : 3,5 : 5,6 для образца № 2.

Соотношение компонентов сухих бетонных смесей для образцов № 1 и № 2 бралось из расчета получения бетонов класса С8/10 и С12/15 соответственно в стандартных условиях.

Для предотвращения испарения влаги и высыхания грунта емкости также герметично закрывались.

По истечению 56 суток образцы ВАДЭ были извлечены для внешней оценки и определения прочности на сжатие. В ходе внешнего осмотра было принято решение выровнять горизонтальные поверхности образцов с помощью цементного и гипсового растворов для того, чтобы в дальнейшем испытать образцы на прессе. Испытание образцов проводилось на гидравлическом прессе П-50.

В ходе испытания образцов на гидравлическом прессе разрушающая нагрузка составила  $F = 20$  кН и  $F = 25$  кН для образцов № 1 и № 2 соответственно. Согласно ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» на основе разрушающих нагрузок была получена характеристическая цилиндрическая прочность на сжатие образцов, которая составила  $f_1 = 1,2$  МПа и  $f_2 = 1,5$  МПа соответственно.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что сухая бетонная смесь, помещенная в виде армодрирующего элемента в водонасыщенный глинистый грунт, набирает прочность. Несмотря на то, что не было достигнуто нормативное значение  $f_{ck}$ , МПа, полученная прочность и давление, которое способен выдержать элемент, превышает прочность слабых грунтов и среднее давление, которое обычно передается на грунтовое основание от зданий ( $P$  до 0,3 МПа).

При этом стоит отметить, что в ходе испытаний образцов на прессе не были смоделированы реальные условия работы ВАДЭ, а именно работа в условиях трехосного сжатия, что может существенно занижать полученные результаты.

### **3. Изменение влажности глинистого грунта**

Для лабораторных исследований по изучению изменения влажности пылевато-глинистых грунтов при устройстве армодрирующих элементов были подготовлены шесть пластиковых емкостей, заполненных грунтом, в которых устраивались элементы путем заполнения скважины подготовленной сухой бетонной смесью.

В качестве исследуемого грунта была взята та же слабая водонасыщенная супесь, что и в п. 1, с теми же характеристиками кроме:

- влажность до  $W$ , % и после  $W'$ , % опыта (табл. 1).
- показатель текучести до  $I_L$  и после  $I'_L$  опыта (табл. 1).

Армодрирующие элементы были изготовлены в виде шести цилиндров диаметром  $\varnothing 80$  мм и высотой  $h=100$  мм из сухой бетонной смеси на портландцементе марки ПЦ 500 в следующих

пропорциях по массе: Ц : П : Щ – 1 : 4,5 : 6,6. Соотношение компонентов сухой бетонной смеси бралось такое же, как и в пп. 1 и 2, из расчета получения бетона класса С8/10 в стандартных условиях.

Для предотвращения испарения влаги и высыхания грунта емкости герметично закрывались пленкой.

По истечению 28 суток армодренажные элементы были извлечены из грунта. После извлечения образцов были повторно взяты пробы грунта для определения изменения его влажности  $\Delta W = W - W'$ , % и показателя текучести  $\Delta I_L = I_L - I'_L$  (таблица).

Таблица

Изменение влажности  $W$ , % и показателя текучести  $\Delta I_L$

| Влажность и показатель текучести | Образец |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  | 1       | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| $W$ , %                          | 11,30   | 11,30 | 11,30 | 11,30 | 11,30 | 11,30 |
| $W'$ , %                         | 10,16   | 10,16 | 10,16 | 10,16 | 10,16 | 10,16 |
| $\Delta W$ , %                   | 1,14    | 2,16  | 1,33  | 2,58  | 2,39  | 1,99  |
| $I_L$                            | 0,33    | 0,40  | 0,53  | 0,59  | 0,65  | 0,82  |
| $I'_L$                           | 0,16    | 0,07  | 0,33  | 0,20  | 0,29  | 0,51  |
| $\Delta I_L$                     | 0,17    | 0,33  | 0,20  | 0,39  | 0,36  | 0,31  |

С помощью методов статистической обработки результатов согласно ГОСТ 20522-2012 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний» было получено, что  $\Delta I_L = 0,21$  с доверительной вероятностью  $\alpha = 0,95$ .

**Закключение.** На основе проведенных лабораторных экспериментальных исследований закрепления слабых водонасыщенных супесей геомассивами из ВДЭ можно сделать следующие выводы:

1. Применение ВДЭ из сухой бетонной смеси для закрепления слабой водонасыщенной супеси оправдано, является эффективным методом, который позволяет значительно увеличить несущую способность и уменьшить деформативность грунта.

2. Сухая бетонная смесь способна набрать прочность в слабой водонасыщенной супеси, при этом набранная прочность превосходит прочность грунта, что позволяет использовать ВДЭ в качестве армирующих элементов.

3. Согласно статистической обработке результатов лабораторных исследований применение ВАДЭ позволяет уменьшить влажность супеси на  $\Delta W = 1,41\%$  и соответственно показатель текучести на  $\Delta I_L = 0,21$  с доверительной вероятностью  $\alpha = 0,95$ .

4. В связи с тем, что метод геомассива с применением ВАДЭ из сухой бетонной смеси является достаточно новым и до сих пор не нашел отражения в действующих ТНПА Республики Беларусь, однако, как было доказано в ходе исследований является оправданным и эффективным, то в дальнейшем следует рассмотреть вопрос о включении данного метода в действующие ТНПА РБ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магушев, Р.А. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: Учеб. пособие / Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов, С.В. Ланько, В.В. Конюшков – М. – СПб.: Изд-во АСВ, 2012. – 280 с.

2. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.

3. Сернов, В. А. Применение геомассива при строительстве комплекса жилой застройки «Вивальди» / В. А. Сернов, Т. В. Тронда // Повышение качества подготовки студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство»: сб. науч.-техн. ст. (материалы науч.-метод. сем.), Минск, 24 мая 2011 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: В. Ф. Зверев [и др.]. – Минск, 2011. – С. 309-314.