

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТА, УСИЛЕННОГО ГРУНТОГЛИНОЦЕМЕНТНЫМИ СВАЯМИ В ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ

Приведены результаты физического моделирования и лабораторных исследований деформации песчаного основания фундамента в природном и водонасыщенном состоянии как до, так и после закрепления его грунтоглиноцементной смесью. В основе метода закрепления слабого песчаного основания в лабораторных условиях положен буросмесительный способ с устройством вертикальных элементов в виде микросвай, которые повышают параметры прочности и деформативности грунта несущего слоя основания. Такое закрепление рассмотрено как обеспечение повышенного качества основания путем устройства композитного основания, поскольку закрепление носит целенаправленный локальный характер. Для создания закрепленных элементов использован глиноцементно-силикатный раствор, который смешивался с грунтом буровым способом. Подтверждено, что полученный новый материал из грунтоглиноцемента обладает высокой прочностью на сжатие, имеет низкий модуль деформации и пониженную водопроницаемость.

Ключевые слова: деформация, фундамент, моделирование, закрепление, песок, грунтоцементная свая.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ОСНОВИ ФУНДАМЕНТУ, ПІДСИЛЕНОГО ГРУНТОГЛИНОЦЕМЕНТНИМИ ПАЛЯМИ В ПІЩАНИХ ГРУНТАХ

Наведено результати фізичного моделювання та лабораторних досліджень деформації піщаної основи фундаменту в природному й водонасиченому стані як до, так і після закріплення його грунтоглиноцементною сумішшю. В основу методу закріплення слабкої піщаної основи в лабораторних умовах покладено бурозмішувальний спосіб з улаштуванням вертикальних елементів у вигляді мікропаль, які підвищують параметри міцності й деформативності ґрунту несучого шару основи. Таке закріплення розглянуто як забезпечення підвищеної якості основи шляхом улаштування композитної основи, оскільки закріплення носить цілеспрямований локальний характер. Для створення закріплених елементів використано глиноцементно-силікатний розчин, який змішувався з ґрунтом буровим способом. Підтверджено, що отриманий новий матеріал з грунтоглиноцементу має високу міцність на стиск, низький модуль деформації та знижену водопроникність.

Ключові слова: деформація, фундамент, моделювання, закріплення, пісок, грунтоцементна паля.

RESEARCH THE DEFORMATION OF THE FOUNDATION BASE STRENGTHENED IS SOIL-CLAY – CEMENT PILES IN SANDY SOIL

This paper presents the results of physical modeling and laboratory studies of deformation sandy foundation base in the natural and water-saturated state, both before and after fixing his clay – soil-cement mixture. The basis of the method of fixing the weak sandy base put in the laboratory method of mixing drilling with vertical elements of the device in the form of micro-piles that increase strength and deformability parameters of the soil supporting layer base. Such fastening is regarded as a publication providing high quality base through the device as a composite base fastening is a focused character. . To create a fixed element used clay - cement - silicate solution, which is mixed with the soil by drilling. Confirm that I received new material from the soil - clay - cement, has high compressive strength, have a low modulus of deformation and reduced water permeability.

Keywords: *deformation, foundation, modeling, fastening, sand soil-clay-cement pile.*

Введение. Песчаные рыхлые, как и просадочные лессовые и слабо уплотненные, грунты широко распространены в Украине. Они могут встречаться на большей части территории страны. Под действием нагрузки и замачивания в таких грунтах наблюдаются вертикальные деформации провального характера, связанные с коренным нарушением структуры. Абсолютные величины просадок часто превышают предельно допустимые значения. Замачивание приводит к изменению напряженного состояния в массиве грунта, а увеличение напряжений – к дополнительным осадкам подстилающих просадочную толщу грунтов.

Обзор последних источников исследований и публикаций. Замачивание происходит, как правило, неравномерно по площади. По этой причине возникают значительные неравномерные деформации. Если в результате расчетов окажется, что возможные деформации больше допустимых значений для зданий и сооружений, то необходимо выполнять усиление основания разными способами [1 – 4].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Основные методы строительства в условиях наличия грунтов с просадочными свойствами или значительной пористостью: приспособливание надземных конструкций к возможным неравномерным осадкам основания, прорезание слабых грунтов глубокими фундаментами, замена слабого грунта на грунт с лучшими свойствами, улучшение свойств грунтов разными методами. На сегодняшний день наиболее активно развивается последний метод строительства в данных условиях. Поэтому это направление исследований является актуальным.

Цель работы – исследование деформации основания фундамента, усиленного грунтоглиноцементными микросваями в песчаных грунтах.

Основной материал и результаты. Основная задача работы заключается в измерении деформаций основания фундамента в песчаных грунтах для трех состояний: природного, водонасыщенного и водонасыщенного состояния после закрепления основания грунтоглиноцементными сваями с помощью буросмесительной технологии для двух, четырех и шести микросвай.

В первой модели использовался мелкий песок средней плотности в природном состоянии (природная влажность $w=10\%$, удельный вес $\gamma=16,95$ кН/м³, модуль деформации $E=19,5$ МПа). В подготовленный деревянный лоток насыпали грунт слоями

толщиной 108 мм, тщательно утрамбовывали каждый слой до достижения естественной плотности (всего 6 слоев). Трамбование каждого слоя производилось ручной трамбовкой с помощью металлического молота с квадратным основанием 150×150 мм и массой 10 кг. Фундамент модели представлял собой металлический штамп размерами в плане 50×60 мм и толщиной 1,20 мм. Он устанавливался на поверхность подготовленного основания и загружался при помощи простого специального устройства (рис. 1). Ступени давления при испытании принимали следующие значения: 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5 кПа. После приложения каждой ступени давления снимались показания индикаторов в течение суток до стабилизации деформации грунта основания. Измерения проводились в трех точках по длине лотка на поверхности подготовленного основания. Во второй модели принимался песок в водонасыщенном состоянии (влажность водонасыщения $w=22\%$, удельный вес водонасыщенного грунта $\gamma=19,90$ кН/м³, удельный вес во взвешенном состоянии $\gamma'=9,54$ кН/м³, модуль деформации $E=13,3$ МПа). Грунт замачивался до достижения необходимой влажности, а ступени давления и методика измерения деформации соответствовали принятым для первой модели.

В третьей модели брали песок в водонасыщенном состоянии (показатели влажности, удельного веса грунта и модуля деформации как для второй модели). Испытание было проведено для закрепленного основания принятого ранее фундамента. Усиление песка в основании было выполнено взаимно пересекающимися грунтоглиноцементными микросваями. Основание усиливалось элементами из двух, четырех и шести микросвай диаметром 40 мм и длиной 350 мм.

Для выполнения грунтоглиноцементных микросвай в лабораторных условиях использовалась буросмесительная технология. В начале процесса были пробурены скважины, исходя из приведенных выше размеров микросвай. После этого подготовленный раствор смешивали с грунтом в пропорции 1:3 и его заливали в скважины с легким уплотнением для получения окончательной формы микросвай. Твердение грунтоглиноцементных микросвай происходило в течение семи дней, а ступени загрузки (давления по подошве модели фундамента) и методика измерения деформаций соответствовали принятым для первой модели.

Общий вид испытательной установки и устройства для измерения деформации модели фундамента после закрепления грунта основания приведен на рис. 1. Результаты испытания всех принятых моделей приведены в табл. 1 – 5.

Зависимости относительных деформаций от вертикального давления приведены на рис. 2.

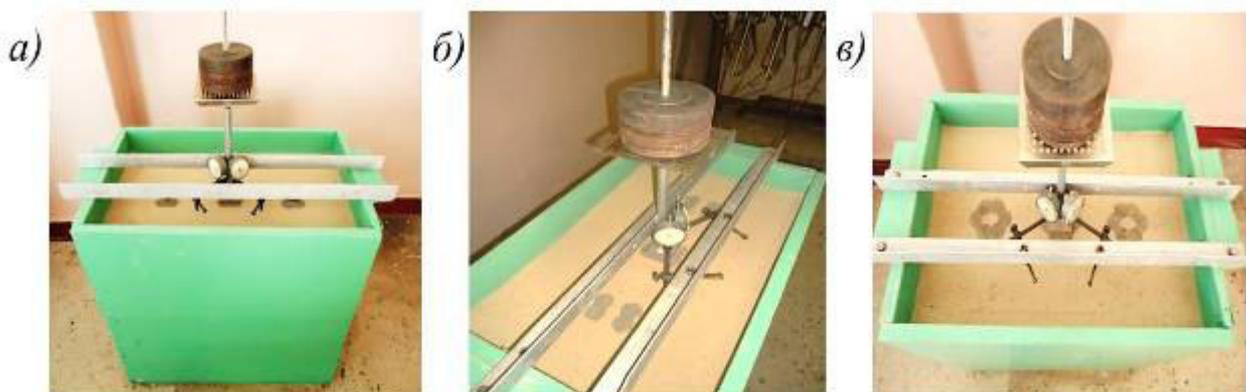


Рис. 1. Фрагменты испытания закрепленного основания разным количеством микросвай: а – две сваи; б – четыре сваи; в – шесть свай

**Таблица 1. Результаты испытания песчаного грунта в природном состоянии
($w=10\%$, $Sr=0,36$)**

№ п/п	Вертикальное давление p_i , кПа	Средняя деформация образца Δh_i , мм	Среднеквадратическое отклонение σ_i , мм	Коэф. вариации v , %	Относительная деформация ε_i , мм	Коэф. пористости e_i	Коэф. сжимаемости m_{0i} , МПа ⁻¹	Модуль деформации E_i , МПа
1	0	0	-	-	0	0,73	0	0
2	2,5	1,14	0,06	5,3	0,0018	0,726	1,21	1,14
3	5	2,40	0,13	5,4	0,0037	0,723	1,35	1,03
4	7,5	3,57	0,22	6,2	0,0055	0,720	1,25	1,11
5	10	4,94	0,26	5,3	0,0076	0,716	1,45	0,95
6	12,5	6,37	0,38	6,0	0,0098	0,713	1,52	0,91
7	15	7,93	0,41	5,2	0,0122	0,708	1,66	0,83
8	17,5	9,43	0,55	5,8	0,0145	0,705	1,59	0,87

**Таблица 2. Результаты испытания песчаного грунта в водонасыщенном состоянии
 $w=22\%$, $Sr = 0,80$**

№ п/п	Вертикальное давление p_i , кПа	Средняя деформация образца Δh_i , мм	Среднеквадратическое отклонение σ_i , мм	Коэф. вариации v , %	Относительная деформация ε_i , мм	Коэф. пористости e_i	Коэф. сжимаемости m_{0i} , МПа ⁻¹	Модуль деформации E_i , МПа
1	0	0	-	-	0	0,73	0	0
2	2,5	5,72	0,31	5,4	0,0088	0,715	6,10	0,23
3	5	7,15	0,33	4,6	0,0110	0,711	1,52	0,91
4	7,5	8,77	0,41	4,7	0,0135	0,707	1,73	0,80
5	10	10,27	0,53	5,2	0,0158	0,703	1,59	0,87
6	12,5	12,22	0,61	5,0	0,0188	0,697	2,10	0,66
7	15	14,95	0,74	4,9	0,0230	0,690	2,90	0,48
8	17,5	16,84	0,75	4,5	0,0259	0,685	2,00	0,70

Таблица 3. Результаты испытания песчаного грунта в водонасыщенном состоянии $w = 22\%$, $Sr = 0,80$ после закрепления двумя микросваями

№ п/п	Вертикальное давление p_i , кПа	Средняя деформация образца Δh_i , мм	Среднеквадратическое отклонение σ_i , мм	Коэф. вариации v , %	Относительная деформация ε_i , мм	Коэф. пористости e_i	Коэф. сжимаемости m_{0i} , МПа ⁻¹	Модуль деформации E_i , МПа
1	0	0	-	-	0	0,73	0	0
2	2,5	0,78	0,06	7,7	0,0012	0,728	0,83	1,67
3	5	1,25	0,08	6,4	0,0019	0,727	0,50	2,77
4	7,5	1,89	0,12	6,3	0,0029	0,725	0,69	2,00
5	10	2,40	0,18	7,5	0,0037	0,724	0,54	2,56
6	12,5	2,95	0,20	6,8	0,0045	0,722	0,59	2,35
7	15	3,52	0,23	6,5	0,0054	0,721	0,61	2,27
8	17,5	4,05	0,27	6,6	0,0062	0,719	0,56	2,47

Таблица 4. Результаты испытания песчаного грунта в водонасыщенном состоянии $w = 22\%$, $Sr = 0,80$ после закрепления четырьмя микросваями

№ п/п	Вертикальное давление p_i , кПа	Средняя деформация образца Δh_i , мм	Среднеквадратическое отклонение σ_i , мм	Коэф. вариации v , %	Относительная деформация ε_i , мм	Коэф. пористости e_i	Коэф. сжимаемости m_{0i} , МПа ⁻¹	Модуль деформации E_i , МПа
1	0	0	-	-	0	0,73	0	0
2	2,5	0,55	0,04	7,3	0,0009	0,729	0,59	2,35
3	5	0,82	0,05	6,1	0,0013	0,728	0,28	5,00
4	7,5	1,37	0,09	6,6	0,0021	0,726	0,59	2,35
5	10	1,78	0,11	6,2	0,0027	0,725	0,44	3,15
6	12,5	2,16	0,14	6,5	0,0033	0,724	0,40	3,46
7	15	2,49	0,16	6,4	0,0038	0,723	0,35	4,00
8	17,5	2,86	0,18	6,3	0,0044	0,722	0,39	3,55

Таблица 5. Результаты испытания песчаного грунта в водонасыщенном состоянии $w = 22\%$, $Sr = 0,80$ после закрепления шестью микросваями

№ п/п	Вертикальное давление p_i , кПа	Средняя деформация образца Δh_i , мм	Среднеквадратическое отклонение σ_i , мм	Коэф. вариации v , %	Относительная деформация ϵ_i , мм	Коэф. пористости e_i	Коэф. сжимаемости m_{0i} , МПа ⁻¹	Модуль деформации E_i , МПа
1	0	0			0	0,73	0	0
2	2,5	0,30	0,02	6,7	0,0005	0,729	0,32	4,33
3	5	0,57	0,04	7,0	0,0009	0,728	0,29	4,77
4	7,5	0,78	0,05	6,4	0,0012	0,728	0,22	6,29
5	10	0,98	0,06	6,1	0,0015	0,727	0,21	6,59
6	12,5	1,30	0,10	7,7	0,0020	0,726	0,34	4,07
7	15	1,65	0,11	6,7	0,0025	0,726	0,37	3,74
8	17,5	1,96	0,12	6,1	0,0030	0,725	0,33	4,19

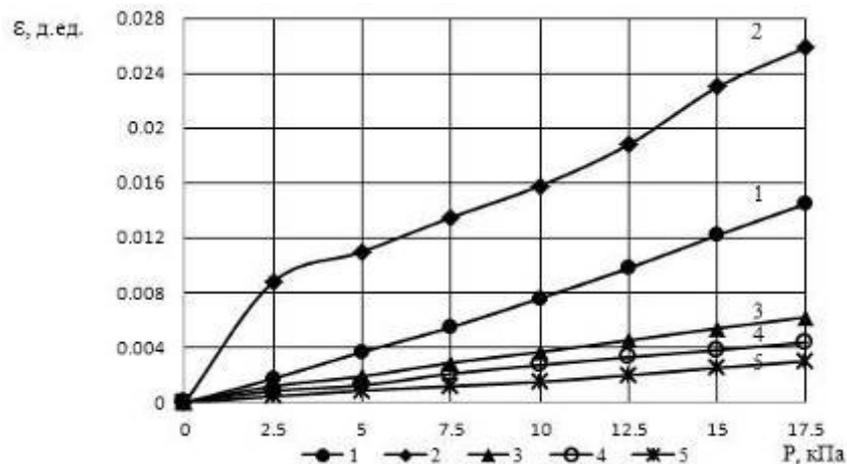


Рис. 2. График зависимости относительных деформаций от вертикального давления в песчаных грунтах в природном состоянии (1); в водонасыщенном состоянии (2); в водонасыщенном состоянии после закрепления основания: две микросваи (3); четыре микросваи (4); шесть микросвай (5)

Как известно, модуль деформации зависит от гранулометрического и минералогического состава, окатанности частиц, плотности сложения, наличия структурных связей, влажности и действующих нагрузок, что подтверждают проведенные испытания. Этот показатель грунта в значительной мере определяет условия проектирования фундаментов мелкого заложения. Обычно считают, что модуль деформации грунта отвечает его упругой работе на сжатие, так как проявление пластических деформаций и соответственно уменьшение значения модуля нежелательно для реальных объектов. В то же время случаи просадок в песках не

многочисленны. Однако факт существования неуплотненных насыпных грунтов, в том числе и в обратных засыпках пазух фундаментов, на практике сопровождается проявлением неоднородных деформаций не только при динамических нагрузках, но и при замачивании (водонасыщении).

При плохо выполненной песчаной подготовке под отмостки нередко наблюдается разрушение ее материала с образованием значительных трещин, а иногда и выход ее из условий нормальной эксплуатации. Достичь повышения качества песчаного основания можно за счет его уплотнения, а в отдельных случаях – при водонасыщении основания и закреплением. В таких условиях уменьшить влияние высокого уровня грунтовых вод на работу оснований и фундаментов поможет предложенный метод.

Как показали исследования слабоуплотненного песка в модели, водонасыщение понижает E на 15 – 25 % на разных ступенях нагружения (табл. 1 и 2). При закреплении песков по принятой технологии качество основания существенно улучшается: модуль деформации увеличивается в несколько раз (см. табл. 2 – 5). Такая зависимость отображена на рис. 2.

Как видно из графиков на рис. 2, деформация основания модельного фундамента при водонасыщении увеличилась больше чем в два раза, по сравнению с деформациями основания с грунтом в природном состоянии. При закреплении песчаного основания грунтоглиноцементными микросваями деформативность основания резко уменьшается. Добавление бентонитовой глины в небольшом количестве не только не снижает прочности закрепленного массива, но и способствует уменьшению водопроницаемости и, как следствие, – капиллярного поднятия влаги к фундаменту и подземной части здания в целом.

Выводы. Проведенные испытания подтверждают возможность просадки рыхлых песчаных грунтов при водонасыщении. Предложена методика закрепления буросмесительными технологиями с использованием добавки бентонитовой глины (1; 1,5; 2; 2,5% от массы цемента) и жидкого стекла (1%) дают возможность значительно повысить прочность грунтов до 13...20 МПа [2]. При рассмотрении основания как композитного материала такая прочность значительно повышает приведенный модуль деформации закрепленного массива. На практике размеры закрепленных элементов в виде микросвай, изготовленных по реальной буросмесительной технологии, могут быть определены расчетом как по несущей способности, так и по деформативности.

Литература

1. Антонов В.М. Проектирование зданий при особых условиях строительства и эксплуатации / В.М. Антонов, В.В. Леденев, В.И. Скрылев. – Тамбов, 2002. – 240 с.
2. Корниенко Н.В. О лабораторном исследовании свойств грунтоглиноцементной смеси, используемой для закрепления грунтов. / Н.В. Корниенко, С.Ф. Абед // Основания и фундаменты: межвед. науч.-техн. сб. – К.: КНУСА. – 2015. – Вып. 36. – С. 116 – 121.
3. Characteristics of Manmade Stiff Grounds Improved by Drill-Mixing Method / M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, I. Lartseva, V. Shokarev, V. Krysan // Proc. of the 15rd European Conf. on Soil Mechanic and Geotechnical Engineering “Geotechnics of Hard Soils – Weak Rocks”. – Athens. – 2011. – С. 1097 – 1102.
4. Опыт возведения зданий и сооружений на фундаментах в пробитых скважинах и на основаниях, армированных грунтоцементными элементами / Ю.Л. Винников, И.И. Ларцева, М.А. Харченко, И.В. Мирошниченко // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Геотехника Беларуси: наука и практика». – Минск: БНТУ, 2013. – С. 52 – 59.

© М.В. Корниенко, С.Ф. Абед
Надійшла до редакції 22.05.2015