

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЦЕМЕНТОГРУНТА ДЛЯ
ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ ЗАКРЕПЛЕННЫХ ОСНОВАНИЙ
СООРУЖЕНИЙ**

Указаны причины деформирования зданий и сооружений, расположенных на слабых грунтах. Приведены условия применения цементации. Описаны последствия неудачного применения метода цементации грунтов оснований сооружений. Описаны задачи и приведены результаты лабораторных исследований цементогрунта. Установлено, что увеличение количества пылеватых частиц в грунтах приводит к снижению прочности цементогрунта из глинистых и песчаных грунтов. Указано, что при разработке проектов цементации грунтов, при определении объема цемента, сроков выполнения работ, технологических параметров (давлении нагнетания раствора, очередности выполнения работ в захватках), уточнении режимов инъекции (пропитка или гидроразрыв) необходимо учесть разновидность грунта с полным определением наличия пылеватых частиц.

Ключевые слова: здание, деформации, основание, фундамент, грунт, цементация, технология

Многие строительные площадки, где в настоящее время ведется строительство различных зданий и сооружений, а также инженерных коммуникаций, сложены слабыми грунтами. К слабым грунтам можно отнести водонасыщенные глинистые грунты с модулем общей деформации $E \leq 5$ МПа, техногенные (насыпные) грунты, рыхлые пески и т.д. Для обеспечения безопасности зданий на таких площадках применяются специальные технологии устройства оснований и фундаментов, учитывающие специфические свойства слабых грунтов.

Как известно, безопасность, прочность, долговечность, технологичность и эффективность строящихся зданий и сооружений зависят от обоснованного проектирования и устройства оснований и фундаментов. Для этого в зависимости от результатов инженерно-геологических условий строительной площадки, конструктивных особенностей подземной части зданий и сооружений, а также действующих на грунты оснований нагрузок принимаются решения по типу оснований и фундаментов. На строительных площадках, сложенных слабыми грунтами, применяются фундаменты глубокого заложения (свайные фундаменты), которые опираются на прочные грунты. Для уменьшения деформаций оснований и влияния их на сооружения предусматриваются мероприятия по предохранению грунтов основания от ухудшения их свойств и мероприятия, направленные на преобразование строительных свойств грунтов. Одним из способов преобразования строительных свойств является закрепление грунтов цементацией [1-5].

Изучение опыта устройства закрепленных оснований показало, что при толщине слабых глинистых и песчаных, а также насыпных грунтов от 3 м до 6 м традиционные способы устройства оснований и фундаментов зданий и сооружений не оправдали себя из-за дороговизны, низкой технологичности, больших сроков выполнения работ, ограничения применения в стесненных

городских условиях и наличия ударных и вибрационных воздействий в процессе производства работ. В таких условиях цементация грунтов является одной из основных технологий создания искусственных оснований зданий и сооружений. Основной задачей создания искусственных оснований при строительстве и реконструкции зданий и сооружений на слабых грунтах является: уменьшение чрезмерных и неравномерных осадок грунтов до минимально допустимых значений, предотвращение возможных изменений свойств грунтов при замачивании водой, стоками и под воздействием различных техногенных факторов.

Теоретические исследования и изучение опыта устройства закрепленных оснований показало, что из-за недостаточности результатов инженерно-геологических изысканий, неучета специфических особенностей цементации грунтов, некачественного проектирования закрепленных оснований, технологических нарушений в процессе производства работ, укрепление грунтов цементацией не всегда дает положительные результаты. На многих объектах проведены корректировки проектов, установлены случаи перерасхода цемента, имеются случаи, когда прочностные показатели укрепленных цементом песчаных или глинистых грунтов оказались ниже проектных значений. Исходя из вышеизложенного, исследование и разработка новых или усовершенствование имеющихся технологий устройства закрепленных оснований методом цементации, учитывающих специфические свойства слабых грунтов и особенностей их закрепления с применением современных машин и оборудования является актуальной проблемой.

Ниже приводятся результаты лабораторных исследований закрепляемости различного типа грунтов. Методика проведенных лабораторных исследований закрепляемости глинистых и песчаных грунтов способом цементации была разработана по результатам теоретического анализа ранее выполненных исследований цементогрунта, изучения опыта цементации грунтов оснований зданий и сооружений. При этом также были изучены различные технологии устройства оснований и фундаментов зданий и сооружений на слабых грунтах. Целью лабораторных исследований являлось установление степени закрепляемости различных разнородностей глинистых и песчаных грунтов, условий и сроков набора прочности цементогрунта из этих грунтов.

В лабораторных условиях исследовались следующие грунты:

- супесь: супесь песчанистая; супесь пылеватая;
- суглинок: суглинок легкий песчанистый, суглинок легкий пылеватый, суглинок тяжелый песчанистый, суглинок тяжелый пылеватый;
- глина: глина легкая песчанистая, глина легкая пылеватая, глина тяжелая;
- песок: песок крупный, песок средней крупности, песок мелкий и песок пылеватый.

Для исследований использовался портландцемент (без минеральных добавок) ПЦ500Б0, который по прочности при сжатии в 28-суточном возрасте имеет марку 500. Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут. - 49,0 МПа.

При исследованиях расход цемента составлял (к весу воздушно-сухой грунтовой смеси): 12%, 18%, 24%, 30%. Условия выдерживания и сроки хранения образцов: пропаривание - 12 ч; нормально-влажностное - 28 дн.; 90 дн.; 180 дн.; 360 дн.; водяное хранение - 360 дн.

Исследование влияния количества цемента на прочность образцов глинистых грунтов (супесь, суглинок и глина) показало, что через 28 дней хранения прочность образцов супеси песчанистой ($pH=6,0$) при изменении содержания цемента от 12% до 30% изменяется от 3,85 до 9,25 МПа, т.е. прочность увеличилась на 140,3% (рис. 1).

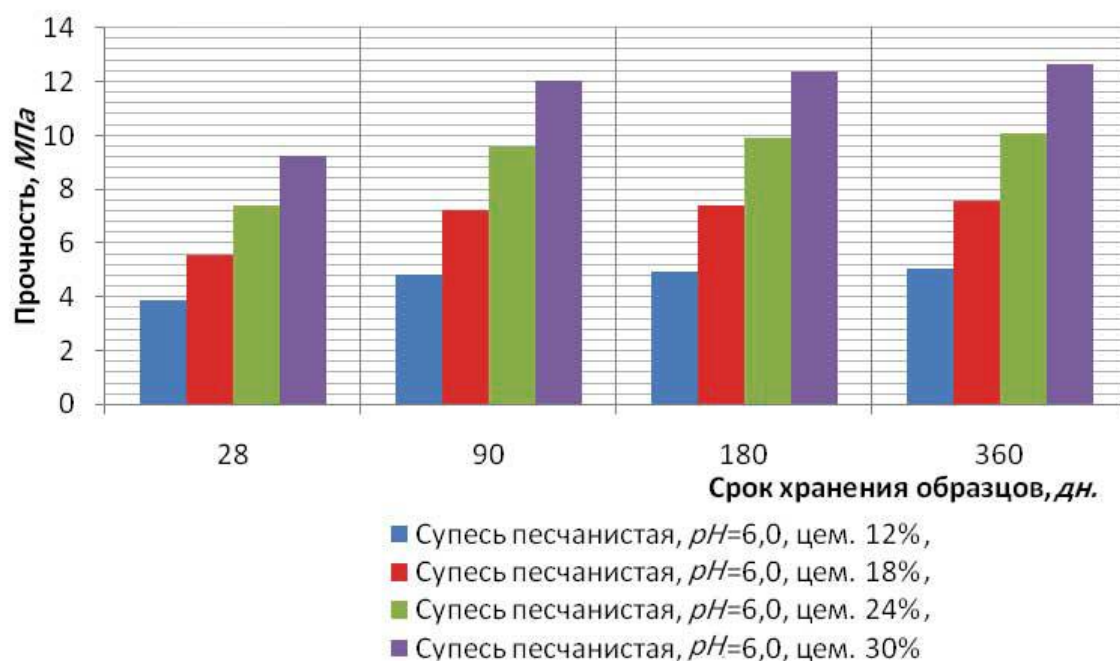


Рис. 1. Изменение прочности образца супеси в зависимости от содержания цемента и срока хранения

После 90 дней хранения прочность образцов при изменении содержания цемента от 12% до 30% изменяется от 4,81 до 12,02 МПа, т.е. прочность увеличилась на 150% (2,5 раза). По сравнению со сроком хранения 28 дней, прочность образцов увеличилась на $\approx 25 \dots 30 \%$. Через 180 дней хранения прочность образцов изменяется от 4,95 до 12,38 МПа. Дополнительный прирост прочности составил $\approx 3\%$. После 360 дней хранения прочность образцов изменяется от 5,05 до 12,63 МПа. Дополнительный прирост прочности составил $\approx 2\%$.

Приблизительная такая же динамика роста прочности была установлена для всех исследованных разновидностей супеси, суглинка и глины.

При этом через 28 дней хранения, при содержании цемента 30%, максимальные значения прочности показали образцы разновидностей супеси, а минимальные значения прочности показали образцы разновидностей глины. При значениях водородного показателя, близких к нейтральным значениям ($pH \approx 7,0$), разница в прочности образца супеси песчанистой ($pH=6,0$) и глины тяжелой ($pH = 6,4$) составила 9,25 МПа – 6,02 МПа = 3,23 МПа, т.е. 53,7%. Увеличение значения водородного показателя может привести к дополнительному увеличению прочности образца цементогрунта на сжатие.

Исследование влияния количества цемента на прочность образцов песчаных грунтов показало, что через 28 дней хранения прочность образцов песка крупного (пылеватые и глинистые частицы 12,1%) при изменении содержания цемента от 12% до 30% составляет от 9,56 до 18,22 МПа, т.е. прочность увеличилась на 91%, т.е. в 1,91 раза (рис. 2).

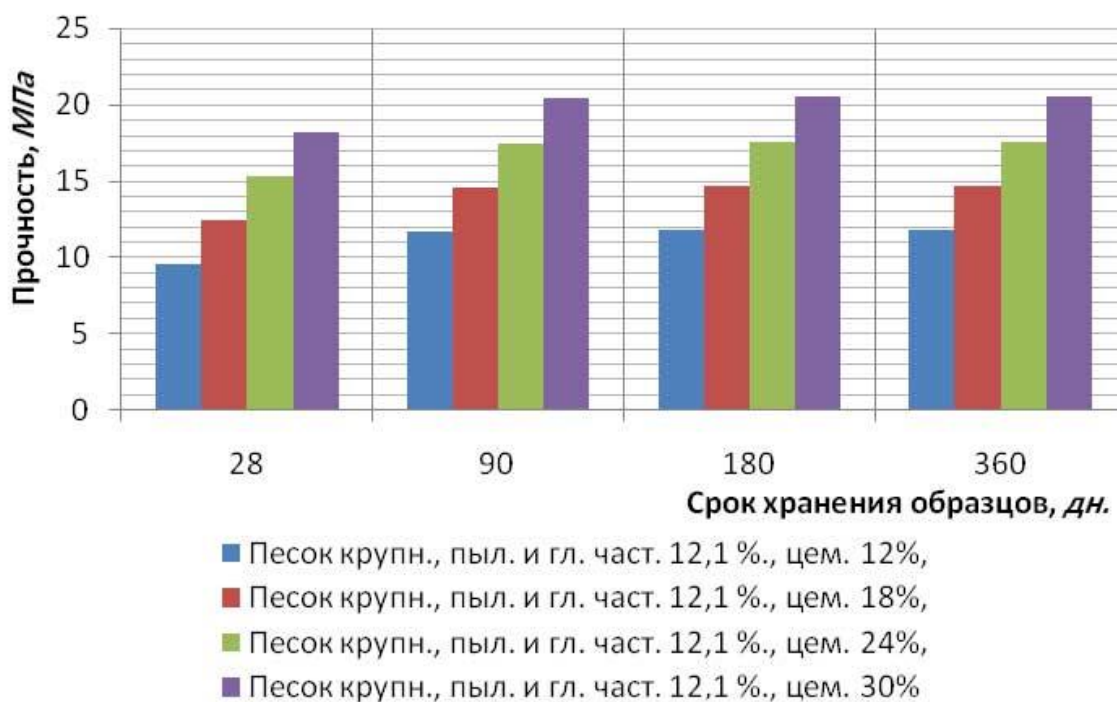


Рис. 2. Изменение прочности образца песка крупного, с пылеватыми и глинистыми частицами 12,1% в зависимости от содержания цемента и срока хранения

После 90 дней хранения прочность образцов при изменении содержания цемента от 12% до 30% составляет от 11,66 до 20,40 МПа, т.е. прочность увеличилась на 75% (1,75 раза). По сравнению со сроком хранения 28 дней, прочность образцов увеличилась на $\approx 12...22\%$. Через 180 дней хранения прочность образцов изменяется от 11,77 до 20,53 МПа. Дополнительный прирост прочности составил $\approx 1\%$. После 360 дней хранения прочность образцов изменяется от 11,81 до 20,58 МПа. Дополнительный прирост прочности составил $\approx 0,002\%$.

Приблизительная такая же динамика роста прочности была установлена для всех исследованных разновидностей песка.

При этом через 28 дней хранения при содержании цемента 30% максимальные значения прочности показали образцы песка крупного (пылеватые и глинистые частицы 12,1%), а минимальные значения прочности показали песка пылеватого (пылеватые и глинистые частицы 85,6 %). Разница в прочности образцов песка крупного (пылеватые и глинистые частицы 12,1%) и песка пылеватого (пылеватые и глинистые частицы 85,6%) составила $18,22\text{МПа}-12,11\text{МПа}=6,11\text{МПа}$, т.е. 50,5%. Увеличение значения водородного показателя может привести к дополнительному увеличению прочности образца цементогрунта на сжатие.

Исследование влияния наличия мелких частиц на прочность образцов глинистых грунтов (супесь, суглинок и глина) показало, что при примерно одинаковых значениях водородного показателя $pH \approx 6,0$, содержания цемента 30%, после 28 дней хранения, прочность образцов супеси песчанистой и супеси пылеватой составила 9,25 МПа и 8,92 МПа. Разница в прочности двух разновидностей супеси составляет 0,33 МПа (4 %).

Приблизительно такое влияние наличия мелких частиц на прочность было установлено для всех исследованных разновидностей супеси, суглинка и глины.

При принятии технологий закрепления грунтов методом цементации необходимо учесть, что

прочность цементогрунта до 90 дней после выполнения работ непрерывно увеличивается. Этот срок набора прочности должен быть учтен при проведении опытного закрепления и при разработке проектов закрепленных оснований. В проектах производства работ (ППР), порядок одновременной и последовательной подачи цементного раствора в закрепляемые грунты должен быть увязан со сроками набора прочности цементогрунта.

Было установлено, что увеличение количества пылеватых частиц в грунтах приводит к снижению цементогрунта из глинистых и песчаных грунтов. В процессе разработке проектов закрепленных оснований методом цементации, при определении объема цемента, сроков выполнения работ, технологических параметров (давлении нагнетания цементного раствора, очередности выполнения работ в захватках), уточнении режимов инъекции (пропитка или гидроразрыв) необходимо учесть разновидность грунта с полным определением наличие пылеватых частиц. При разработке проектов закрепленных оснований необходимо учесть, что увеличение водородного показателя pH может привести к увеличению прочности цементогрунта из глинистых грунтов.

Правильность и обоснованность результатов лабораторных исследований были подтверждены результатами натурных исследований цементации грунтов оснований при строительстве многоэтажных зданий. Полученные результаты комплекса исследований отвечают требованиям СП 22.13330.2011 “Основания зданий и сооружений” по цементации грунтов оснований и являются достаточными для исключения неравномерных и чрезмерных осадок зданий и сооружений, построенных на закрепленных цементацией искусственных основаниях.

Ե.Ա.Տիլիմոնով

**ՑԵՄԵՆՏԱԳՐՈՒՆՏԻ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ
ՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՄՐԱԿՑՎԱԾ ՀԻՄՔԵՐԻ ՍՏԵՂԾՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ
ՀԻՄՆԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱՐ**

Ցույց են տրվել թույլ գրունտների վրա տեղադրված շենքերի և շինությունների դեֆորմացման պատճառները: Նկարագրվել են շինությունների գրունտների ցեմենտացման մեթոդի անհաջող կիրառման հետևանքները: Նկարագրվել են խնդիրները և բերված են ցեմենտագրունտի լաբորատոր հետազոտությունների արդյունքները: Սահմանվել է, որ փոշիավուն մասնիկների քանակի ավելացումը գրունտներում հանգեցնում է կավային և ավազային գրունտներից պատրաստված ցեմենտագրունտի ամրության նվազեցմանը: Ցույց է տրվել, որ գրունտի ցեմենտացման նախագծերի մշակման, ցեմենտի ծավալի, աշխատանքների կատարման ժամկետների, տեխնոլոգիական պարամետրերի (շաղախի լցամղման հերթականությունը), ներարկման տոգորման կամ հիդրոխիզման ռեժիմների ճշտման ժամանակ անհրաժեշտ է հաշվի առնել գրունտի տարատեսակը՝ ճշտորոշելով փոշիավուն մասնիկների առկայությունը:

Առանցքային բառեր. *շենք, դեֆորմացիաներ, հիմք, հիմնատակ, գրունտ, ցեմենտացում, տեխնոլոգիա*

RESULTS OF LABORATORY STUDIES OF SOIL CEMENT FOR SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGIES FOR ESTABLISHING STRENGTHENED FOUNDATIONS OF FACILITIES

The causes of deformation of buildings and structures located on weak soils are indicated. Conditions for the use of carburization are given. The consequences of unsuccessful application of the carburizing method of the soils of structures foundations are described. The problems are described and the results of laboratory investigations of cement are given. It is established that an increase in the amount of silt particles in soils leads to a decrease in the strength of cement from clay and sandy soils. It is indicated that in the development of projects for cementation of soils, in determining the volume of cement, the performance time of the work, the technological parameters (the pressure of injecting the solution, the sequence of work in the seizures), the more precise regimes of injection (impregnation or hydraulic fracturing), it is necessary to take into account a variety of soil with complete determination of the presence of dust particles.

Keywords: building, deformation, base, foundation, soil, cementation, technology

Литература

1. **Абелев М.Ю.** Аварии фундаментов промышленных и гражданских сооружений. - ФАОУ ДПО ГАСИС, 2011. - 66 с.
2. **Барвашов В.А., Филимонов Е.А.** Численное моделирование влияния закрепления основания на поведение системы “основание-фундамент-сооружение” // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. - №6. - С.55-58.
3. Укрепленные грунты / **В.М. Безрук, Н.Л. Гурячков, Т.М. Луканина и др.** – М.: Транспорт, 1982. - 230 с.
4. **Токин А.Н.** Фундаменты из цементогрунта. -М.: Стройиздат, 1984. - 184 с.
5. **Филимонов С.Д.** Метод армирования “Геокомпозит” для повышения несущей способности слабых грунтов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2004. - №3. - С. 51.

Ֆիլիմոնով Եվգենի Ալեքսեյի (ՌԴ, ք.Մոսկվա) - «Տեխստրոյինժ», գլխավոր տեխնոլոգ, 89139710281, andrey.ustinov@icloud.com

Филимонов Евгений Алексеевич (РФ, г.Москва)- ООО «Техстройинж», главный технолог, 89139710281, andrey.ustinov@icloud.com

Filimonov Evgeniy Aleksey (RF, c. Moscow)- «Techstroiinj», chief technologist, 89139710281, andrey.ustinov@icloud.com.

Ներկայացվել է՝ 02.03.2017թ.

Շնորհանվել է արագորոշյալն՝ 05.04.2017թ.