

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ  
ОСНОВАНИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ ЦЕМЕНТАЦИИ**

*Приведены причины деформирования зданий и сооружений, расположенных на слабых водонасыщенных глинистых и насыпных грунтах. Указаны условия применения цементации. Приведены причины неудачного применения метода цементации грунтов. Описаны задачи натурных исследований. Приведены результаты применения метода “Геокомпозит” в натурных условиях и результаты исследования насыпных закрепленных грунтов. Описана разработанная технология цементации грунтов, учитывающая специфические особенности цементации разновидностей глинистых и песчаных грунтов с различным содержанием пылеватых и глинистых.*

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

Изучение опыта строительства новых зданий, а также реконструкции деформированных сооружений, расположенных на слабых водонасыщенных глинистых и насыпных грунтах, показало, что во многих случаях при проектировании, строительстве и реконструкции зданий и сооружений не учтены специфические свойства грунтов. По основаниям и технологиям применяются необоснованные решения, что приводит к деформированию строящихся зданий в процессе строительства, а существующих сооружений - в процессе их эксплуатации. Во многих случаях причиной чрезмерных и неравномерных осадок грунтов основания стали техногенные воздействия (ударно-вибрационные воздействия, замачивание грунтов сточными водами, изменение уровня подземных вод и т.д.). В основании объектов, в течение многих лет применялись различные виды свайных фундаментов, методы повышения прочности грунтов (цементация, силикатизация и т.д.). На основе анализа ранее выполненных работ было установлено, что причинами деформаций зданий, расположенных на глинистых и насыпных грунтах, являются также ошибки, допущенные в процессе проведения инженерно-геологических изысканий, проектирования и строительства зданий. Есть случаи деформирования и аварий зданий, связанных с нарушением технологий производства работ при устройстве искусственных оснований и фундаментов [1, 2].

Анализ научно-технической литературы, результатов ранее выполненных исследований показал, что при толщине слабых глинистых и песчаных, а также насыпных грунтов от 3 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. На таких строительных площадках одним из основных мероприятий, позволяющих снизить возможные чрезмерные и неравномерные осадки грунтов до значений, допускаемых нормами, является преобразование строительных свойств грунтов основания (устройство искусственных оснований) закреплением грунтов инъекционным способом – нагнетанием в грунт цементационных растворов с помощью погружаемых инъекторов или через скважины. Закрепление грунтов производят в целях повышения их прочности в основании вновь

строящихся или существующих сооружений.

На ряде объектов г.Москвы и Московской области закрепление грунтов оснований строящихся зданий и сооружений проводилось методом “Геокомпозит”, основанном на методе цементации в различных режимах нагнетания цементного раствора. В современном виде метод “Геокомпозит” разработан С.Д.Филимоновым [3].

В настоящее время в вышеуказанных грунтовых условиях часто применяется метод цементации по различным технологиям. Применяются современные высокопроизводительные машины и механизмы, высокопрочные и быстротвердеющие цементы и современные добавки. На таких основаниях успешно построены многоэтажные жилые и общественные здания, а также различные промышленные сооружения. Имеется много примеров успешного применения метода цементации при выправлении и реконструкции деформированных зданий и сооружений, построенных на слабых водонасыщенных глинистых грунтах.

Несмотря на положительный опыт применения метода цементации водонасыщенных глинистых грунтов и насыпных грунтов различного состава и состояния, имеются случаи, когда из-за низкого качества инженерно-геологических изысканий, некачественного проектирования и технологических нарушений в процессе производства работ технология оказывается не эффективной и дорогой. 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.

Для достижения эффективности метода цементации слабых водонасыщенных глинистых и насыпных грунтов оснований зданий выбор технологии должен быть обоснован на основе вариантного рассмотрения имеющихся и вновь созданных и прошедших тщательную апробацию технологий с учетом использования современных строительных машин и оборудования, а также качественных строительных материалов. Для обоснования эффективности технологии получаемая прочность закрепленных грунтов должна быть определена в лабораторных условиях и подтверждена прочностью образцов, отобранных из закрепленных массивов. Дополнительно должны быть исследованы специфические свойства слабых грунтов и установлена степень их закрепляемости.

Исходя из вышеизложенного, исследование и разработка новых или усовершенствование имеющихся технологий устройства закрепленных оснований методом цементации, учитывающих специфические свойства слабых и насыпных грунтов и особенностей их закрепления с применением современных машин и оборудования, является актуальной проблемой.

Ниже приводятся результаты исследования эффективности закрепления грунтов оснований многоэтажных зданий методом цементации. Натурные исследования были проведены под руководством д.т.н., проф. М.Ю.Абелева. Исследования проводились на строительной площадке комплексного строительства многоэтажных жилых зданий после инженерной подготовки территории. Проекты зданий были разработаны ЗАО “КАПСТРОЙПРОЕКТ”. Проекты укрепления грунтов основания зданий были разработаны ООО “Горпроект-1”.

На экспериментальной площадке строительства возводятся многоэтажные жилые дома серии П44Т, П44К. Строительство домов производилось после общей инженерной подготовки территории микрорайона. Решение о закреплении грунтов принято с целью снижения возможных чрезмерных и неравномерных осадок грунтов в основании зданий до значений, допускаемых нормами.

Ниже приводятся основные конструктивные решения вышеуказанных зданий.

Согласно проекту стены наружные - 3-слойные сборные железобетонные панели толщиной 325, 375 мм, внутренние - сборные железобетонные панели 180, 140 мм, перекрытия - сплошные сборные железобетонные панели толщиной 140 мм, а перегородки - сборные железобетонные. Фундаменты здания запроектированы в виде монолитной железобетонной плиты толщиной 600 мм методом "Геокомпозит". Толщина закрепляемой толщи грунтов (с вертикальным армированием ее неизвлекаемыми стальными инъекторами) основания зависит от толщины слабого слоя грунта под подошвой плитного фундамента и составляет от 2,5 до 4,0 м. При этом предполагается обеспечить модуль деформации укрепленных грунтов не менее, чем до  $E=25 \text{ МПа}$ .

Проектом было предусмотрено совмещение работ по укреплению грунтов с общестроительными работами. Это позволит значительно сократить сроки строительства, так как продолжительность инъекционных работ по нагнетанию в грунт уплотняющего цементного раствора практически не скажется на общей продолжительности строительства здания. Работы по укреплению грунтов включали два этапа. Вокруг здания устроен вертикальный защитный экран, а под зданием устраивался жестко-армированный массив ("грунтоцементная плита").

В проекте была принята следующая технология устройства вертикального защитного экрана.

После устройства плитного фундамента проектируемого жилого здания и завершения подготовительных работ, в целях обеспечения оптимальных условий для уплотнения слабых грунтов под плитным фундаментом здания проектом предусмотрено устройство по периметру здания вертикального защитного экрана, который создается на глубину закрепления грунтов основания от 2,5 до 4,0 м. Создание экрана производилось путем нагнетания в грунт через специальные инъекторы из труб диаметром 32 мм цементного раствора в проектном количестве.

Состав цементного раствора при водоцементном отношении (В/Ц), равном 0,8, следующий: цемент (портландцемент марки 500 по ГОСТ 10178-85) М500 - 895 кг; вода-716 л; жидкое стекло - 20 кг. Приготовление цементного раствора производилось непосредственно перед нагнетанием его в грунт и приготовленный (рабочий) раствор непрерывно перемешивался и находился в движении до нагнетания.

Четырехщелевые инъекторы вертикального защитного экрана расположены по периметру здания. Инъекторы погружались в предварительно пробуренные на всю глубину вертикального экрана скважины после устройства фундамента здания и выполнения обратной засыпки. Инъекторы изготавливаются из труб диаметром 32,0 х 3,2 мм с высотой перфорированной части от 5,3 до 7,5 м. Отверстия в перфорированной части инъекторов круглые и располагаются в четырех направлениях под углом 90°. Проектом предусмотрено применение неизвлекаемых (оставляемых в грунте после нагнетания уплотняющего раствора) инъекторов, используемых в качестве элементов вертикального армирования грунтового массива. Для погружения инъекторов на проектные отметки производилось предварительное бурение скважин диаметром 60 мм с помощью буровых установок УКБ 12/25. Погружение инъекторов вертикального защитного экрана производилось с помощью электроперфораторов "МАКИТА".

В проекте искусственного основания зданий принята следующая технология устройства укрепленного массива.

После выполнения подготовительных работ и устройства вертикального защитного экрана в

целях стабилизации грунтов основания и обеспечения равномерных осадок фундаментной плиты здания проектом предполагается создание методом “геокомпозит” закрепленного массива под плитным фундаментом жилого дома.

Последовательность устройства закрепленного массива в основании здания следующая:

- На первом этапе производится погружение всех инъекторов закрепленного массива, расположенных по сетке 2,5 x 2,17м;

- На втором этапе, после возведения не менее 3-х этажей здания, производится нагнетание уплотняющего раствора в 30% инъекторов, расположенных в подвале проектируемого здания равномерно по всей площади закрепления;

- На третьем этапе, после выполнения обратной засыпки, возведения 3-х этажей здания и наращивания недостающих звеньев инъекторов, выполняются инъекционные работы по нагнетанию в грунт уплотняющего раствора в 50% инъекторов жестко-армированного массива, расположенных с наружной стороны стен здания равномерно по периметру здания. Затем производится нагнетание уплотняющего раствора в оставшиеся инъекторы закрепленного массива, расположенных с наружной стороны стен здания;

- На четвертом этапе, после возведения 3-х этажей здания, производится нагнетание уплотняющего раствора в оставшиеся инъекторы, расположенные в подвале строящегося жилого дома. При этом нагнетание уплотняющего раствора производится равномерно по всей площади укрепления со сгущением сетки.

Работы по закреплению массива были завершены до возведения 6-го этажа всех зданий.

Объем инъектируемого раствора, технологический режим нагнетания цементного раствора и водоцементное отношение раствора при нагнетании были уточнены в процессе производства работ с учетом конкретных грунтовых условий участка инъектирования и результатов мониторинга за состоянием здания. Нагнетание раствора производилось с помощью насосов НБЗ-120/40 под давлением 1...20 атм при минимальной скорости подачи раствора.

Контрольные исследования физико-механических свойств закрепленных оснований 4-х 17-ти этажных зданий производились через: 183, 202, 144 и 125 дней после завершения работ по устройству закрепленного основания. Натурные исследования были выполнены при непосредственном участии ООО “Инженерная геология” (рук. И.В.Аверин). Из скважин и шурфов отбирались образцы закрепленного грунта для лабораторных исследований. На площадке строительства было выполнено динамическое зондирование, по данным которого рассчитывались физико-механические характеристики закрепленных грунтов.

Проведенные исследования показали, что закрепление грунтов основания было проведено качественно, относительно равномерно по площади. Значения прочностных и деформационных характеристик закрепленных грунтов соответствуют проектным значениям.

По результатам исследования модуль деформации закрепленных грунтов составляет  $E=21 \text{ МПа}$  (пески мелкие, средней плотности) -  $E = 42 \text{ МПа}$  (пески средней крупности, плотные), предел прочности на сжатие закрепленных грунтов составляет:  $R = 7,47 \text{ МПа}$  (суглинки тугопластичной консистенции) -  $R = 11,93 \text{ МПа}$  (пески средней крупности, плотные).

Значения прочности на сжатие образцов закрепленных грунтов соответствуют значениям, полученным в лабораторных условиях. Незначительные отклонения в значениях прочности образцов

связаны с изменениями состава грунтов в процессе инженерной подготовки территории.

На основе теоретических, лабораторных и натурных исследований предложена технология закрепления слабых грунтов в основании зданий, основанная на инъекции цементного раствора, учитывающая специфические особенности закрепления разновидностей песчаных и глинистых грунтов с различным содержанием песчаных, пылеватых и глинистых частиц.

Предложенная технология позволяет:

- закрепление песчаных (от мелких до крупных) и насыпных грунтов цементацией в режиме пропитки инъекцией растворов, приготовленных из высокодисперсных цемента (микроцементов) с удельной поверхностью свыше  $10^4 \text{ см}^2/\text{г}$ , при естественной влажности грунтов (давление нагнетания  $1...5 \text{ атм}$ );

- закрепление всех видов и разновидностей слабых грунтов цементацией в режиме гидроразрывов инъекцией растворов, приготовленных из цемента общестроительного назначения с удельной поверхностью частиц не более  $4 \times 10^3 \text{ см}^2/\text{г}$ , при естественной влажности грунтов и в водонасыщенном состоянии (давление нагнетания  $5...20 \text{ атм}$ ).

Предложенная технология закрепления грунтов позволяет снизить до допускаемых нормами значений осадки сильнодеформируемых и среднедеформируемых грунтов оснований зданий и сооружений и их неравномерность, повышением значения модуля деформации грунтов до  $30 \text{ МПа}$  и более при эффективном расходе различных типов и марок цемента. Это является достаточным для повсеместно строящихся зданий и сооружений с нагрузкой на фундаменты до  $0,5 \text{ МПа}$ .

**Ե.Ա.Ֆիլիմոնով**

**ՑԵՄԵՏԱՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԱՈՎ ԲԱԶՄԱՀԱՐԿ ՇԵՆՔԵՐԻ ՀԻՄՆԱՏԱԿԵՐԻ  
ԳՐՈՒՆՏԵՐԻ ԱՍՐԱՑՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ  
ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ**

*Բերված են կավային և լիրքային թույլ ջրահաղեցած գրունտների վրա տեղադրված շենքերի և շինությունների դեֆորմացիան պատճառները: Ցույց են տրված ցեմենտացման կիրառման պայմանները: Բերված են գրունտների ցեմենտացման մեթոդի անհաջող կիրառման պատճառները: Նկարագրված են բնօրինակային հետազոտությունների խնդիրները: Բերված են «Գեոկոմպոզիտ» մեթոդի կիրառման արդյունքները բնօրինակային պայմաններում և լիրքային ամրացված գրունտների հետազոտությունների արդյունքները: Նկարագրված է գրունտների ցեմենտացման մշակված տեխնոլոգիա, ինչը հաշվի է առնում փոշու և կավային տարրեր պարունակությամբ կավային և ավազային գրունտների ցեմենտացման ուրույն առանձնահատկությունները:*

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

**E.A.Filimonov**

## THE RESULTS OF THE STUDIES OF THE ATTACHING SOILS EFFECTIVENESS IN THE BASIS OF MULTISTORIED BUILDINGS BY THE METHOD OF CEMENTATION

*The causes of the buildings and structures deformation located on the weak-saturated clay and filled soil are given. The terms of applying the cementation are shown. The causes of unsuccessful application of the cementation method of soils are presented. The results of the application of the "Geocomposite" method in the natural conditions and the results of the studies of the bulk grouting are presented. Designed technology of the soil cementation; taking into account the specific features of cementation of clay varieties and sandy soils with different contents of silt and clay is described.*

**Keywords:** building, deformation, bases, soil, cementation, technology

### Литература

1. **Абелев М.Ю.** Аварии фундаментов промышленных и гражданских сооружений. ФАОУ ДПО ГАСИС, 2011. - 66 с.
2. **Токин А. Н.** Фундаменты из цементогрунта. - М.: Стройиздат, 1984. – 184с.
3. **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, e.mail: andrey.ustinov@icloud.com.

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

**Filimonov Evgeniy Aleksey** (RF, c. Moscow)- «Techstroinj», chief technologist, 89139710281, e.mail: andrey.ustinov@icloud.com.

Ներկայացվել է՝ 27.05.2016թ.

Ընդունվել է սպառողների կողմից՝ 03.06.2016թ.