

**ХИМИЧЕСКОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ С ПОМОЩЬЮ МАЛОВЯЗКИХ РАСТВОРОВ***Н. В. Купчикова, В. Инчикова**Астраханский инженерно-строительный институт (Россия, г. Астрахань)**E-mail: [kupchikova79@mail.ru](mailto:kupchikova79@mail.ru)*

*По результатам лабораторных исследований уплотнения грунта у основания и под нижним концом сваи, образованным закреплением грунта различными маловязкими химическими растворами при вертикальном нагружении с помощью фиксаторов (окраски грунта) с достаточной точностью определён характер деформаций изолиний грунта.*

Химическое закрепление грунтов в области фундаментостроения является эффективным технологическим и конструктивным решением, направленным на устранение одной из актуальных современных проблем - повышения энергоэффективности и качества строительства в сложных инженерно-геологических условиях. К слабым грунтам, требующим улучшения физико-химических характеристик [1,2,3] относят: «отложения несцементированных песков, насыщенных водой», лессовые просадочные грунты, глинистые грунты, в том числе и илы, намывной грунт. Значительный вклад в исследования по разработке способов химического закрепления слабых грунтов и их внедрении в строительном производстве, тогда еще в СССР в 70х-80х годах прошлого столетия внёс коллектив лаборатории закрепления грунтов НИИ оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова [4]. Первый в строительстве способ инъекционного закрепления грунтов был предложен в 1802 г. французским инженером Бериньи. Химическое закрепление грунтов в нашей стране активно начало развиваться в 30-е годы 20-ого столетия, когда профессором Ржаницыным Б. А. был разработан

первый двухрастворный способ силикатизации водонасыщенных песков.

Разработанные рецептуры эффективных химических способов закрепления грунтов в зависимости от коэффициента фильтрации принадлежат выдающимся ученым в данной области: В. В. Асилонову, В. Е. Сополовичу [4], В. М. Безрук, Н. Л. Гуречкову, Т. М. Лукониной [5], Н. А. Блесниной, Б. С. Федорову [6], В. Е. Соколовичу [7], В. И. Леденёву [8], Б.А. Ржаницыну [1-4], А.Н. Токину [9] В. Л. Седину [10], Н. И. Руденко, А. И. Чуракову [11] А.И. Халикулову, М.Н. Ибрагимову [12], И. И. Бройд [13], и многим другим [14, 15].

Особенно эффективным, как показал опыт строительства, является применение физико-химических методов нагнетания маловязких растворов для улучшения свойств грунтов под фундаментами, как существующих зданий, так и вновь строящихся ввиду возможности быстрого и качественного увеличения прочности основания без прекращения эксплуатации здания.

Разработанные способы закрепления слабых грунтов инъектированием классифицируются по способам нагнетания, по составу растворов и

характера закрепления грунта, по расположению инъекторов (вертикальное, горизонтальное, наклонное, комбинированное [8]).

Усиление оснований путем закрепления грунтов заключается в связывании частиц грунта, что позволяет повысить механическую прочность водостойчивость, долговечность. В зависимости от технологии закрепления и процессов, происходящих в грунте, методы закрепления разделяют на три вида: химические, физико-химические и термические [8]. Химический метод состоит в том, что в грунт через предварительно погруженные в него перфорированные трубы (инъекторы) нагнетают маловязкие растворы. Находясь в грунте растворы, вступают в химическую реакцию с грунтом и, отверждаясь в нем, улучшают химические свойства основания. К физико - химическим методам закрепления грунтов относятся цементация грунтоцементация, битуминизация и глинизация. В последнее время всё интенсивнее закрепление грунтов производят с применением современной строительной технологии – струйной геотехнологии.

В современном стандарте организации работ в строительстве СТО. НОСТРОЙ 2.3.18-2011 установлены основные требования к проектированию и производству работ по укреплению грунтов инъекционными способами в строительстве, представлена технологическая схема закрепления грунта через манжетные колонны с применением цементно-бentonитового раствора, вяжущего порошка «Микродур» и пластификатора С-3, однако отсутствуют конкретные рекомендации об их использовании.

Добавки различного рода в инъектирующий состав позволяют

- глубоко проникать в поры грунта и полости бетонных конструкций при минимальных принудительных воздействиях;
- быстро затвердевать, образуя прочный массив грунта (например, через 48 часов микродур имеет 60%-80% от конечной прочности);
- создавать долговечный эффективный заслон на пути грунтовых вод;
- застывание при повышенных или отрицательных температурах.

В связи с этим автором в данной работе была поставлена цель - исследовать эффективность применения современных добавок в маловязких и подвижных химических составов для укрепления грунта под фундаментом. Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи:

- оценка рынка существующих современных классифицирующихся добавок, вводимых в строительных смесях и растворах, изучения их свойств и составов;
- выявление наиболее часто используемых способов и технологий инъектирования химических растворов под фундаментами с рациональными технологическими и экономическими показателями;

- провести лабораторные испытания по закреплению грунта под нижним концом сваи с применением различных маловязких растворов без добавок и с их применением;

- выполнить статистическую обработку полученных экспериментальных данных;

- выработать некоторые рекомендации к внедрению и их использованию для применения в маловязких растворах наиболее эффективных добавок.

Применение физико-химических методов инъектирования нагнетающих растворов является наиболее эффективным средством для повышения несущей способности существующих или вновь возводимых фундаментов, особенно фундаментов глубокого заложения при строительстве на слабых грунтах с одновременным устройством концевых уширений под нижним концом сваи. [16, 17, 18].

В рамках поставленной цели были проведены экспериментальные исследования в лаборатории «Механизация строительства» ГАОУ АО ВПО Астраханского инженерно-строительного института по нагнетанию различных маловязких химических растворов под нижний конец сваи. В экспериментах исследовали изменение прочности уплотнённого грунта, в зависимости от вида физико-химического метода и состава инъектирующего раствора. В экспериментах применяли традиционные способы цементации, силикатизации и битумизации.

В строительстве при цементации в грунт через инъекторы нагнетается цементный, цементно-песчаный или цементно-глинистый раствор и метод применяют для закрепления песчаных крупнообломочных грунтов, трещиноватых скальных пород. Для силикатизации основным материалом является жидкое стекло – коллоидный раствор силиката натрия, который в процессе взаимодействия с грунтом и раствора хлористого калия образует гидрогель кремниевой кислоты. Силикатизация грунта подразделяется на однорастворную, двухрастворную, газовую и электросиликатизацию.

Для получения наиболее достоверных результатов расчёта напряжённо-деформированного состояния свайных фундаментов с концевым уширением в лаборатории в грунтовом лотке проведён эксперимент на опытных образцах свай, выполненных из железобетона сечением 100-100 мм при длине 1000 мм. Модель готовой железобетонной сваи изготовлена на строительной площадке

По длине сваи в центре сечения устроено отверстие, в которое вставлена металлическая трубка  $\varnothing 20$  мм. Для опыта использовались: насос марки БЦ-05-20 мощностью 0,4 кВт, максимальным напором 32м, максимальной подачей раствора 3,5 м<sup>3</sup>/ч; металлический лоток, наполненный грунтом (песком) для наглядности проводимого эксперимента с боковой стенкой из стекла; механический рычаг для погружения сваи. Экспериментальная установка изображена на рис. 1.

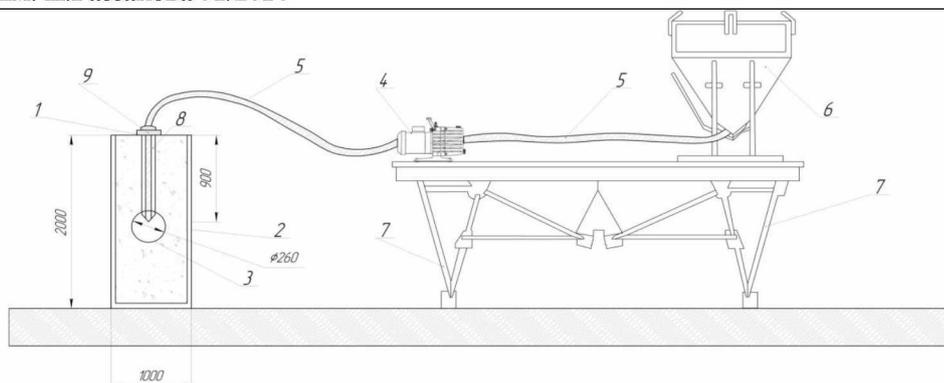


Рис. 1. Лабораторная установка для устройства уширения под нижним концом сваи в грунтовом лотке: 1 – свая; 2 – лоток с песком; 3 – концевое уширение сваи; 4 – насос; 5 – гибкий шланг; 6 – поддон с цементным раствором; 7 – вспомогательные подмости; 8 – труба; 9 – муфта крепления

После погружения сваи вдавливанием до проектной отметки в лотке под давлением через внутреннюю трубу сваи подавался цементный раствор, жидкое стекло и жидкий битум, разжиженный в керосине. Наиболее важными параметрами, определяющими конечную эффективность закрепления грунта, является правильность геометрической формы и количество твердеющего состава в сухом состоянии, содержащегося в 1 м<sup>3</sup> укрепленного грунта. Последний параметр определяет прочность материала концевое уширения сваи. Характер пропитки цементным раствором ЦР грунта и прочность цементно-грунтовой массы слабо зависит от глубины её заложения, поэтому для упрощения извлечения образца исследование проводилось в грунтовом лотке на глубинах 60-100см. Отслежи-

валось В/Ц отношение закачиваемого ЦР, при котором раствор обладает достаточной подвижностью и одновременно формирует прочную цементно-грунтовую массу и время твердения образцов. В табл. 2 - 4 приведены данные об образцах концевых уширений, полученных при помощи цементации, силикатизации и битумизации грунта. После твердения закреплённый грунт под свайей вынимали и испытывали на одноосное сжатие для определения прочности концевых уширений с помощью гидравлического пресса для испытания строительных материалов П-50 (рис. .3).

Наибольшей прочностью обладал образец уширения Ø 13,5см, полученный с помощью цементации и составил 400 Н/см<sup>2</sup> при водоцементном отношении В/Ц≈1.

Таблица 2

Характеристики образцов концевых уширений сваи, полученных цементацией и силикатизацией грунта

ЦЕМЕНТАЦИЯ			СИЛИКАТИЗАЦИЯ			
Диаметр полученного образца (см)	Водоцементное отношение (В/Ц)	Прочность полученного образца (Н/см <sup>2</sup> )	№п/п	Диаметр полученного образца (см)	Отношение массы силиката натрия (кг) к объёму образца (см <sup>3</sup> )	Прочность полученного образца (Н/см <sup>2</sup> )
2	3	4	5	6	7	8
24	2	140	1	8	0,05/2143,57	60
2,5	1.	152	2	9	0,07/3052	80
25,5	8	200	3	9,5	0,09/3589,5	100
26	1.	260	4	10	0,110/4186	120
26	5	400	5	10,5	0,130/4846	140
	1.		6	11	0,150/5572,4	160
	2		7	11,5	0,170/6367,3	180
	1		8	12	0,200/7234,5	200
			9	12,5	0,220/8177	220
			1	26	0,250/9198	300
			0			

Характеристики образцов концевых уширений сваи, полученных битумизацией грунта

№ п/п	Диаметр полученного образца, см	Отношение битума к керосину ( К/Б )	Прочность полученного образца (Н/см <sup>2</sup> ) класс СГ 40/70,	Прочность полученного образца (Н/см <sup>2</sup> ) класс СГ 70/130,
1	2	3	4	
1	11,5	0,18	130	150
2	11,5	0,2	140	150
3	11,7	0,25	140	160
4	12	0,28	160	180
5	12	0,32	200	210
6	12	0,4	220	240

Все результаты экспериментов проходили статистическую обработку измерений. Результаты определения прочности образцов уширения, полученных путём цементации раствором, приготовленным в лабораторных условиях, при различном водоцементном отношении показали (см. график на рис. 4), что увеличение фактического *B/C* отношения по сравнению с установленным в эксперименте значением может привести к значительному снижению прочностных свойств пропитанного грунта.

Анализ деформации закреплённого массива грунта твердеющими составами, под нижним концом сваи, характер его уплотнения и изменения плотности в основании сваи при вертикальном нагружении выполнен экспериментально в лабораторных условиях при помощи фиксаторов с последующим фотографированием видимых изменений и теоретически по методике Григорян А. А., что позволило наиболее полно проанализировать характеристики закреплённого грунта.

Для наглядности проводимого эксперимента в лотке с одной его стороны вставлено стекло толщиной 20 мм.

В качестве основания использовались мелкозернистый песок с характеристиками: плотность сухого песка в природном состоянии  $\rho_{гр}^0=1,6г/см^3$ , плотность песка в лотке  $\rho_{гр}=1,48г/см^3$ ; суглинок с характеристиками - плотность сухого суглинка в природном состоянии  $\rho_{гр}^0=1,89г/см^3$ , плотность суглинка в лотке  $\rho_{гр}=1,4г/см^3$ .

Грунт послойно уплотнялся в лотке и с шагом 3см фиксировалась горизонтальная изолиния (окрашенный грунт), как показано на рис.

Отсутствие, при общей осадке сваи, больших деформаций грунта вдоль значительной части сваи по её длине, за исключением нижнего участка у её конца свидетельствует, что начиная с некоторой нагрузки на сваю, происходит её проскальзывание по грунту или сдвиг грунта по грунту. Иной характер деформации грунта в основании сваи наблюдается у её нижнего конца.

Перемещение фиксаторов горизонтальных деформаций в основании всей сваи от первоначального (горизонтального) к конечному (чашеобразно изогнутому) показывают, что ширина «во-

ронки» как у песка, так и у суглинка увеличивалась к нижней границе лотка.

Радиус зоны укрепленного грунта под нижним концом сваи *R* определяется, исходя из следующих основных положений:

- погружение сваи в грунт происходило только за счёт уплотнения грунта при отсутствии выпора; при этом грунт в объёме сваи вытесняется в стороны;

- на границе зоны уплотнения грунта разность  $\rho_{гр}$  до и после задавливания равна 0,01 г/см<sup>3</sup>, т. е. точности их лабораторного определения;

- масса скелета грунта в пределах некоторого цилиндрического объёма грунта вокруг сваи до и после задавливания остаётся постоянной.

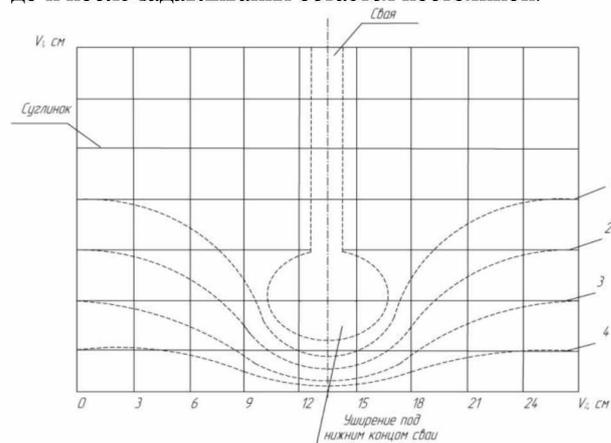


Рис. 7. Горизонтальные изолинии перемещения грунта при вертикальном нагружении модели сваи с закреплённым суглинком под нижним концом путём цементации

На рис. 7 представлены изолинии плотности грунта под нижним концом модели сваи с уширением, образованным в результате цементации с пластифицирующей добавкой С-3 с поэтапным их изменением в результате вертикального нагружения. Осадка сваи с концевым уширением показала снижение по сравнению с нагружением модели конструкции без укрепленного грунта в 2 раза.

### Выводы

1. Результаты полученных испытаний свидетельствуют об эффективности повышения прочности грунта под нижним концом сваи за счёт нагнетания твердеющих составов.
2. Осадка сваи с концевым уширением, образованным в результате физико-химического способа с применением добавки-пластификатора С-3 показала снижение по сравнению с нагружением модели конструкции без укрепленного грунта в 2 раза.
3. Способ исследования уплотнения грунта у основания и под нижним концом сваи при вертикальном нагружении с помощью фиксаторов (окраски грунта) с фотографированием видимых изменений позволяет с достаточной точностью и просто определить характер деформаций изолиний грунта.
4. Установлено, что зона изменения плотности грунта не превышает двух диаметров сваи от её граней в боковые стороны и трёх диаметров сваи под её нижним концом.
5. Значения радиуса зоны уплотнения грунта, определённые по показателям плотности в шурфах основания, полученные экспериментально, совпадают с теоретическими их значениями (методикой Григорян А. А.).

### Литература

1. Ржаницын, Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве [Текст] / Б. А. Ржаницын. - Москва.: Стройиздат, 1986. - 264 с.
2. Ржаницын, Б. А. Силикатизация песчаных грунтов [Текст] / Б. А. Ржаницын. - Москва.: Машстройиздат, 1949. - 144 с.
3. Ржаницын, Б. А. Основания и фундаменты. Изд.3, доп. и перераб. [Текст] / Б. А. Ржаницын, М. И. Смородинов, Б. С. Федоров. - Москва.: Стройиздат, 1983. - 367с.
4. «Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве»

5. Безрук, В. М. Укрепленные грунты: учебное пособие / В. М. Безрук, Н. Л. Гурячков, Т. М. Луканина. – Москва: Транспорт, 1982. -230 с.
6. Блескина, Н.А. Глубинное закрепление грунта синтетическими смолами: учебник / Н.А. Блескина, Б.С. Федоров. – Москва : Стройиздат, 1980. – 147 с.
7. Соколович, В. Е. Химическое закрепление грунтов : учебник / В.Е. Соколович. – Москва : Стройиздат, 1980. – 118 с.
8. Организация и технология ремонтно-строительных работ при реконструкции и капитальном ремонте гражданских зданий: учебное пособие / В. И. Леденёв, И. В. Матвеева, Е. В. Аленичева и др. ; под ред. В. И. Леденёва. – Тамбов : Издательство ТГТУ, 2006. – 100с.
9. Токин, А.Н. Фундаменты из цементогрунта: учебник / А.Н. Токин – Москва : Стройиздат, 1984. – 184 с.
10. Седин, В. Л. Закрепление грунтов: проблемы и решения [Текст] / В. Л. Седин, Н. И. Руденко, А. Н. Руденко и др. - Запорожье: Издательство ПГАСА, 2011. - 13 с.
11. Чураков, А. И. Производство специальных работ в гидротехническом строительстве. Учеб. пособие для вузов. Москва : Стройиздат, 1976.
12. Халикулов, А.И. Химия в строительстве : учебник / А.И. Халикулов, М.Н. Ибрагимов. – Ташкент : 1983. – 134 с.
13. Бройд И. И. Струйная геотехнология. Учеб. Пособие для вузов. Москва: АСВ, 2004. – 448с.
14. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве : тез.доклад на IX Всесоюзном науч.-техн.совещ. / - Москва : Стройиздат, 1978. – 368 с.
15. Купчикова, Н. В. Исследование напряжённо-деформированного состояния свайных фундаментов с концевыми и поверхностными уширениями в структурно-неустойчивых основаниях : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.02 / Купчикова Наталья Викторовна; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. - Москва, 2010. - 200 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/32.