

УДК

**Исследование прочностных и деформационных характеристик грунтоцемента в зависимости от технологических параметров струйной цементации**

**Алексей Генрихович Малинин, Илья Леонидович Гладков, Алексей**

**Александрович Жемчугов ООО «Строительная компания «ИнжПроектСтрой»**

*Приведены результаты экспериментальных исследований прочностных и деформационных характеристик грунтоцемента в зависимости от параметров струйной геотехнологии. Выполнена серия экспериментальных работ по устройству грунтоцементных колонн в песчаном грунте. Отобраны образцы материала грунтоцемента и проведены лабораторные исследования. Получены зависимости значения модуля деформации, а также прочности грунтоцемента при сжатии и растяжении в зависимости от расхода цемента.*

**Ключевые слова:** Струйная цементация, грунтоцементная колонна, прочность грунтоцемента, модуль деформации грунтоцемента, лабораторные исследования.

Технология струйной цементации грунтов получила широкое распространение при решении сложных задач в области подземного строительства. Несмотря на большое количество выполненных объектов с использованием технологии струйной цементации, в настоящее время, не существует нормативной базы по проектированию подземных конструкций с использованием струйной технологии.

При проектировании ограждений котлованов, находящихся вблизи существующей застройки, необходимо использовать расчетные методики, учитывающие деформационные свойства грунтоцемента, а также прочность при сжатии и растяжении [1]. Данные характеристики определяют податливость и геометрическую изменяемость конструкции, что, в итоге, позволяет более точно оценить влияние строящегося котлована на прилегающие здания и сооружения.

При решении задач усиления оснований плитных фундаментов часто используют схему армирования грунтового массива грунтоцементными колоннами [2]. Расчет осадок фундаментов ведется по методике приведенного модуля деформации массива. В данном случае выбор схемы укрепления (длина и шаг колонн) зависит от прочностных и деформационных параметров грунтоцементных колонн.

В технической литературе часто встречаются результаты измерений диаметров колонн и определения физико-механических характеристик грунтоцементных колонн на различных реальных объектах строительства [3]. При этом построение каких-либо экспериментальных зависимостей представляется очень сложной задачей, т.к. результаты измерений имеют разрозненный характер. Как показывает опыт, в одном и том же грунтовом массиве можно получить результаты измерений, находящиеся в широком диапазоне. Для получения параметров конструкции с необходимыми проектными характеристиками рекомендуется перед началом производства работ выполнить опытный участок и выбрать правильный технологический режим.

В настоящей работе приведены некоторые результаты опытных работ, полученных на одном из объектов в г. Перми (Россия). В рамках серии экспериментов в пределах строительной площадки было устроено поле грунтоцементных колонн (рис.1). Целью опытных работ являлся выбор оптимального технологического режима для устройства ограждающей конструкции.



Рис. 1. Опытная площадка.

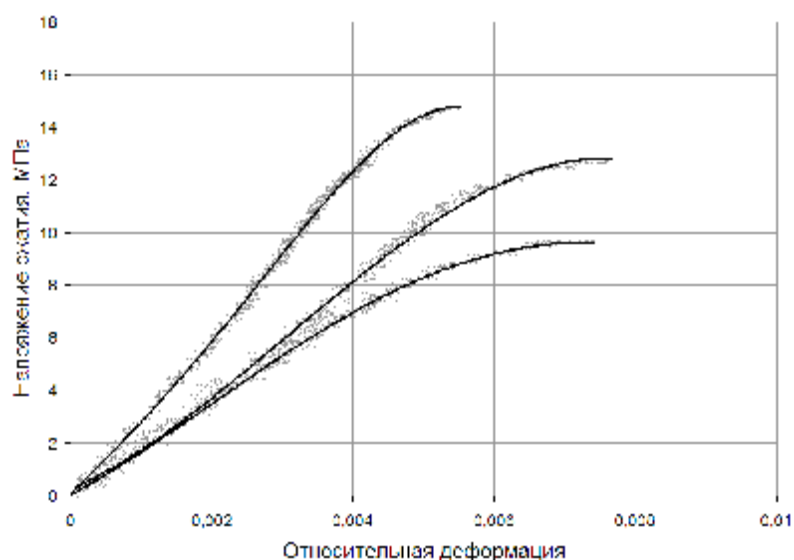
Грунт на строительной площадке был представлен однородным массивом, состоящим из мелкого плотного песка ( $g=17,8 \text{ кН/м}^3$ ,  $c = 7 \text{ кПа}$ ,  $\varphi = 27^\circ$ ). При устройстве опытных колонн изменяли основные технологические параметры: давление нагнетания и скорость подъема монитора. Технологические параметры устройства грунтоцементных колонн приведены в таблице 1. По окончании выполнения работ была произведена откопка и замер диаметров грунтоцементных колонн. Диаметр колонн варьировался от 400 до 840 мм [4].

Таблица 1.

## Технологические параметры устройства грунтоцементных колонн.

№ колонны	Давление P, атм	В:Ц	Расход цемента, кг/п.м.	Время подъема, сек/м	Средний диаметр колонны, мм
1	100	0,8	140	130	410
2	200	0,8	190	130	515
3	300	0,8	240	130	615
4	400	0,8	270	130	725
5	500	0,8	305	130	780
6	100	1,1	115	135	400
7	200	1,1	165	135	565
8	300	1,1	200	135	665
9	400	1,1	235	135	745
10	500	1,1	260	135	795
11	200	0,9	185	135	605
13	400	0,9	230	135	695
14	500	0,9	230	135	755
17	200	1,0	175	135	550
18	300	1,0	215	135	660
19	400	1,0	250	135	745
20	500	1,0	280	135	790
23	400	0,8	260	125	730
24	400	0,8	315	150	775
25	400	0,8	420	200	840

Для определения физико-механических свойств грунтоцемента из колонн были отобраны керны. В ходе лабораторных работ были изготовлены образцы цилиндрической формы для испытания образцов сжимающей нагрузкой с целью построения графической зависимости «напряжения-деформации» (рис. 2).

Рис. 2. Диаграммы  $\sigma$ - $\epsilon$ .

Предел прочности при растяжении определяли методом раскалывания шариковым индентером цилиндрических образцов с соотношением высоты образца

и его диаметра  $H = 0,1 \dots 0,25D$  (рис.3). По результатам лабораторных исследований были построены графики зависимостей пределов прочности на одноосное сжатие, растяжение и модуля деформации от расхода цемента на  $1 \text{ м}^3$  укрепленного грунта (рис. 4).

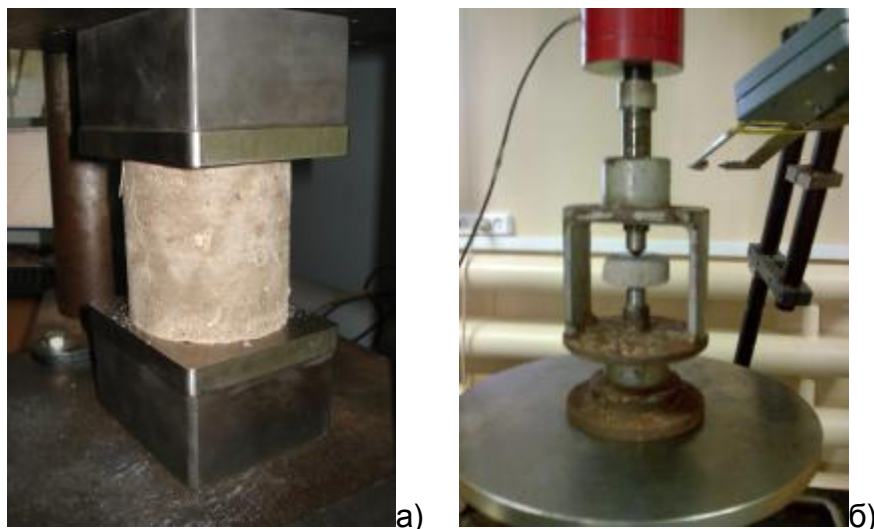


Рис. 3. (а) - определение прочности на сжатие, (б) - определение прочности на растяжение.

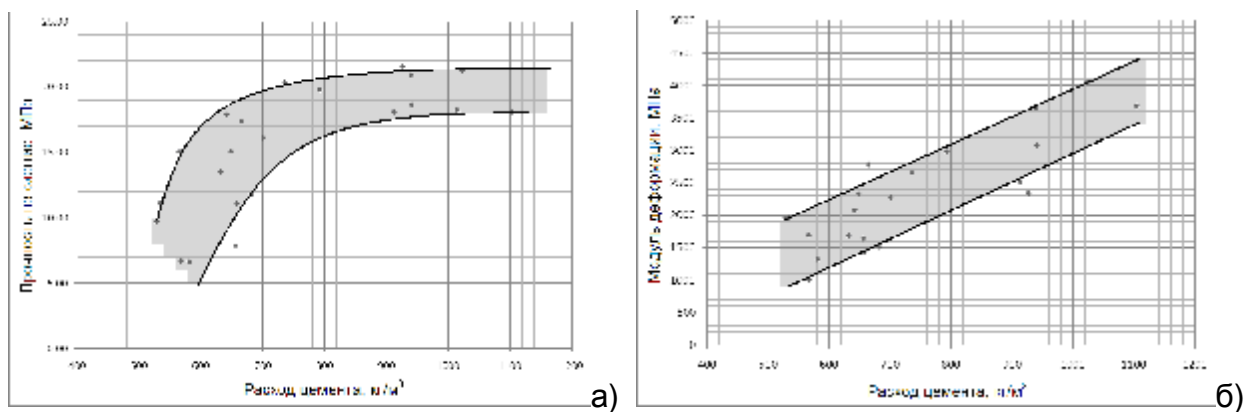


Рис. 4. Зависимость прочности грунтоцемента на одноосное сжатие (а) и модуля деформации (б) от расхода цемента на  $1 \text{ м}^3$  укрепленного грунта.

Анализируя рисунок 4 (а) можно сделать вывод, что при увеличении расхода цемента наблюдается рост значения предела прочности, стремящегося к асимптотическому значению равному 22 МПа. По результатам лабораторных испытаний прочность грунтоцемента на растяжение составляет 5-10% от прочности на сжатие. На рисунке 4 (б) модуль деформации изменяется линейно от 1000 до 4000 МПа.

## **Выводы**

При устройстве грунтоцементных колонн в песчаных грунтах, оптимальным диапазоном расхода цемента является 650-750 кг/м<sup>3</sup>. Дальнейшее увеличение прочности с увеличением расхода цемента не наблюдается. При этом модуль деформации грунтоцемента составит 2200 МПа.

В процессе выполнения расчетов и проектирования правильное назначение таких характеристик, как прочность и модуль деформации грунтоцемента, позволяет наиболее оптимально подобрать конструкцию, шаг колонн, их длину и диаметр.

## **Литература**

1. Малинин А.Г., Чернопазов С.А., Жемчугов А.А. Методы расчета предельного изгибающего момента в грунтобетонной свае при упругом и жесткопластическом сопротивлении изгибу. Промышленное и гражданское строительство № 8/2008.
2. Тер-Мартirosян З.Г., Струнин П.В. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии Jet-grouting. Вестник МГСУ № 4/2010.
3. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов. – Пермь: Пресстайм, 2007.
4. Малинин А.Г., Гладков И.Л., Малинин Д.А. Экспериментальные исследования параметров струйной технологии в различных грунтовых условиях. Геотехнические проблемы мегаполисов: Тр меж. конф. по геотехнике., Москва, 7-10 дек. 2010 г. – Москва, 2010. – Т 5.