

Экспериментальные исследования деформативности грунтового основания, укрепленного грунтоцементными колоннами

*Малинин А.Г., Гладков И.Л., Жемчугов А.А., Салмин И.А.
(ГК «ИнжПроектСтрой»)*

В настоящее время в связи с предстоящими XXII Зимними Олимпийскими играми происходит активное освоение района Имеретинской низменности в Адлерском районе г. Сочи. Строящиеся спортивные и инфраструктурные сооружения возводятся в сложных геологических условиях. Характерное геологическое строение основания представляет собой напластование слабых глинистых грунтов с модулем деформации $E = 2 - 4$ МПа, которые подстилают песчаные и гравийно-галечниковые грунты с модулем деформации $E = 30 - 70$ МПа. Мощность глинистых грунтов изменяется в диапазоне от 2,0 до 20,0 м. Грунтовые воды вскрыты повсеместно на глубинах от 0,5 м.

Одним из инженерных решений, обеспечивающих устойчивость и эксплуатационную надежность проектируемых сооружений, является укрепление толщи слабых грунтов основания с помощью струйной цементации [1]. Предлагаемая конструкция основания представляет собой армированный массив (из грунтоцементных колонн диаметром 800 мм) с плитным ростверком, передающим нагрузку на колонны через песчано-гравийную подушку. Для определения эффективности предложенного решения была проведена серия экспериментальных работ по определению деформируемости основания, укрепленного грунтоцементными колоннами.

С целью проверки правильности принятых схем укрепления на строительной площадке были устроены опытные грунтоцементные колонны. Схемы укрепления (шаг и длину колонн) выбирали в зависимости от расчетных нагрузок на основания строящихся сооружений (рис. 1):

- Схема №1. Грунтоцементные колонны устроены по квадратной сетке с шагом 1400 x 1400 мм (длина колонн - 20,0 м, заглубление в песчаные и крупнообломочные грунты);
- Схема №2. Грунтоцементные колонны устроены по квадратной сетке с шагом 1750 x 1750 мм (длина колонн - 10,0 м, заглубление в песчаные и крупнообломочные грунты);
- Схема №3. Грунтоцементные колонны устроены по квадратной сетке с шагом 1750 x 1750 мм (длина колонн - 14,0 м, заглубление в песчаные и крупнообломочные грунты);
- Схема №4. Грунтоцементные колонны устроены по квадратной сетке с шагом 2000 x 2000 мм (длина колонн - 5,0 м, без заглубления в песчаные и крупнообломочные грунты).

В первых трех случаях грунтоцементные колонны прорезали всю толщу слабых грунтов и были заглублены в гравийно-галечниковые грунты. При схеме №4 грунтоцементные колонны были «висячими».

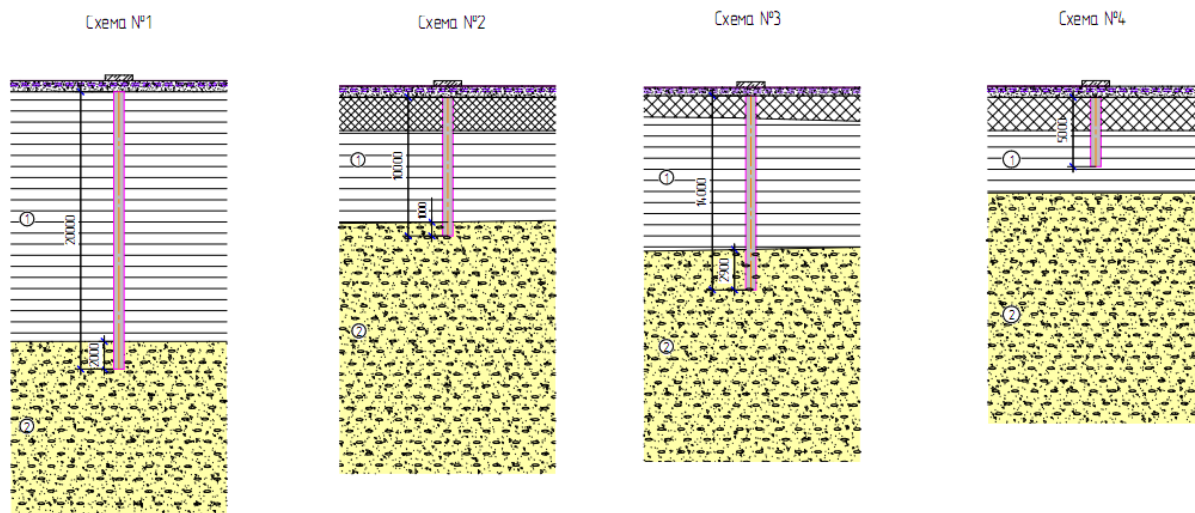


Рис. 1. Схемы укрепления грунта.

В настоящей работе приведены результаты испытания укрепленного грунта штампом, а также приведены результаты лабораторных исследований деформационных свойств грунтоцемента.

Испытания укрепленного грунта штампом проводили в соответствии с ГОСТ 20276-99 «Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости» [2]. Целью испытания являлось определение модуля деформации укрепленного основания.

При испытаниях укрепленного основания по схеме №1 использовали квадратный штамп площадью 4 м^2 . Штамп устанавливали на 4 грунтоцементные колонны (рис. 2).

Для проведения испытаний схем укрепления № 2 и № 3 использовали восьмиугольный штамп, установленный на 1 грунтоцементную колонну, площадью $3,06 \text{ м}^2$ (рис. 3). Для схемы укрепления № 4 площадь восьмиугольного штампа была равна $4,0 \text{ м}^2$.

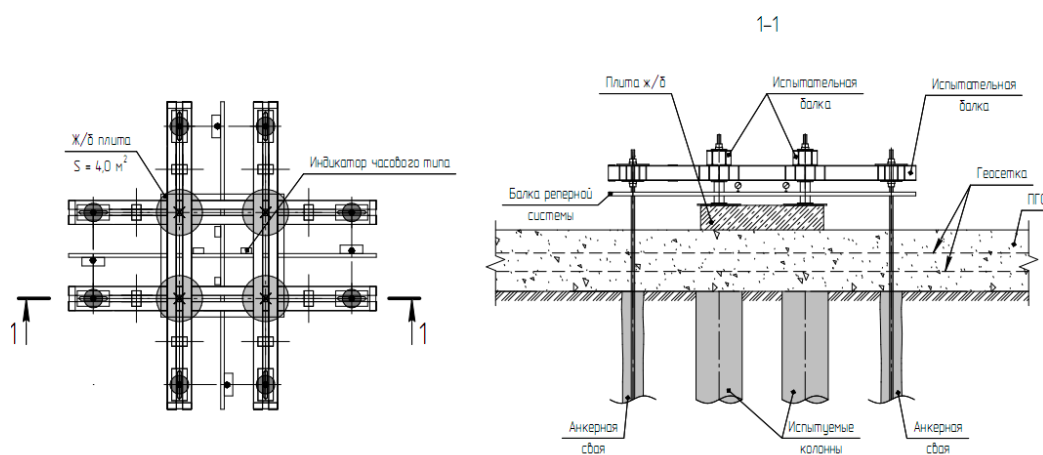


Рис. 2. Схема испытания укрепленного грунта штампом для схемы укрепления № 1.

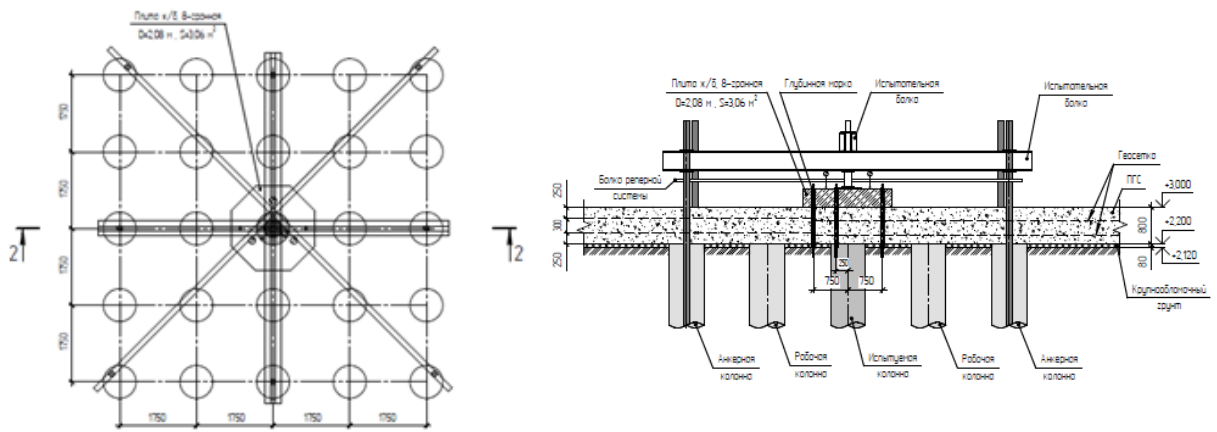


Рис. 3. Схема испытания укрепленного грунта штампом для схем укрепления № 2 – 4.

Поверх оголовков грунтоцементных колонн была устроена подушка из песчано-гравийной смеси толщиной 600 мм. В тело подушки по мере ее возведения укладывалась георешетка в 2-х уровнях по ее высоте: 1-й уровень – на расстоянии 200 мм выше оголовка, 2-й – на 200 мм выше первого.

Для проведения испытаний использовали испытательный стенд с анкерными сваями «Атлант» (рис. 4).

Нагрузку на штамп передавали при помощи гидравлического домкрата. Осадку штампа определяли с помощью индикаторов часового типа, установленных на реперной системе.



Рис. 4. Фотографии испытательного стенда: а) - для схемы укрепления № 1; б) – для схем укрепления № 2 – 4.

По результатам испытаний были построены зависимости $s = f(p)$ (рис. 5). Всего было проведено 5 испытаний грунта штампом: по одному для схем №1, 2, 4 и 2 испытания для схемы №3.

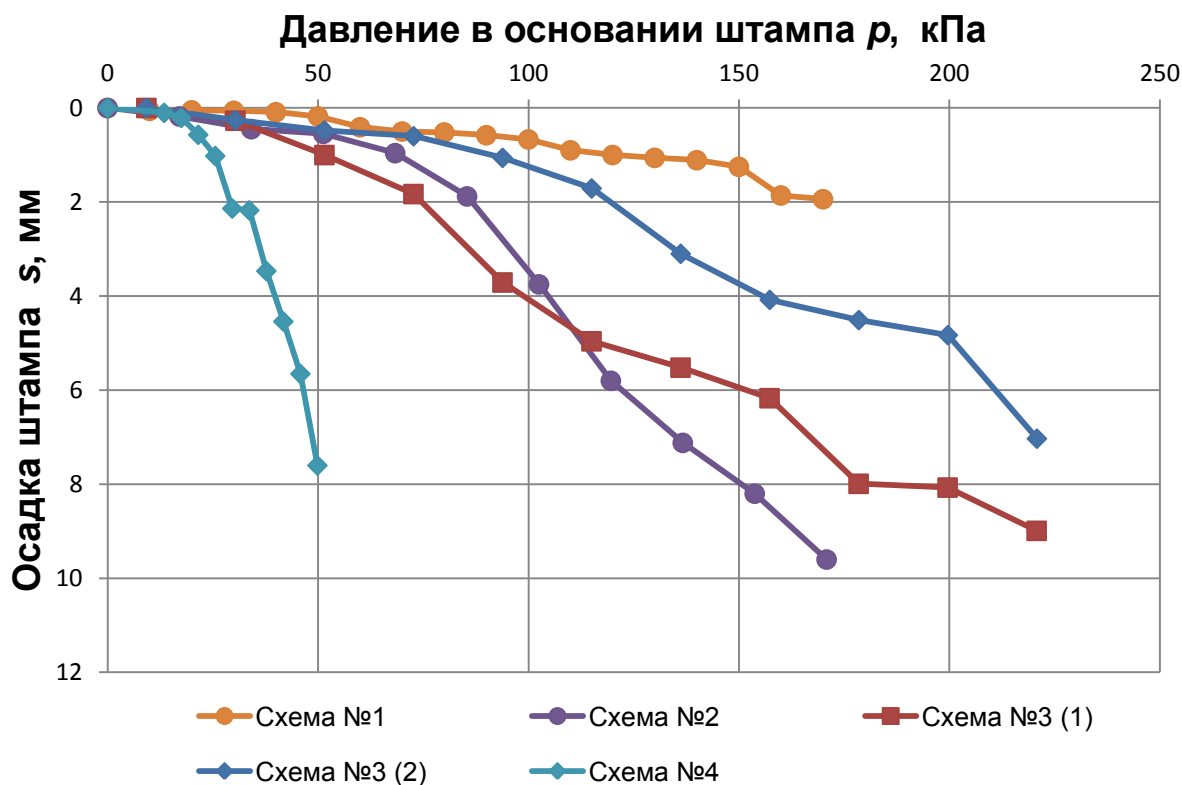


Рис. 5. Результаты испытания укрепленного грунта штампом.

По результатам испытаний были определены модули деформации укрепленного грунта (E_f) в соответствии с [2]:

$$E_f = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \frac{\Delta p}{\Delta S}, \quad (1)$$

где ν – коэффициент Пуассона, значение 0,30; K_p – коэффициент, принимаемый в зависимости от заглубления штампа, $K_p = 1$; K_1 – коэффициент, принимаемый для жесткого круглого штампа, значение 0,79; Δp – приращение давления на штамп; ΔS – приращение осадки штампа, соответствующее Δp ; D – эффективный диаметр штампа.

Для оценки полученных в полевых условиях модулей деформации E_f были определены эффективные модули деформации укрепленного основания по правилу смеси (E_a) [3]:

$$E_a = \frac{E_c \cdot A_c + E_s \cdot (A - A_c)}{A}, \quad (2)$$

где A – площадь штампа; A_c – суммарная площадь грунтоцементных колонн; E_c – модуль деформации грунтоцементной колонны; E_s – модуль деформации грунта.

Для определения модуля деформации грунтоцемента из колонн были выбурены образцы керна и проведены испытания в лабораторных условиях. По

результатам испытаний средний модуль деформации грунтоцемента E_c составил 240 МПа.

Величины модулей деформации, полученные при помощи (1) и (2), приведены в таблице 1.

Таблица 1. Модули деформации укрепленных оснований

Параметр	Схема №1	Схема №2	Схема №3 (Испытание 1)	Схема №3 (Испытание 2)	Схема №4
E_f , МПа	140,3	30,5	36,6	46,8	10,6
E_a , МПа	121,0	40,9	40,9	40,9	5,0

Выводы:

1. Проведенные исследования подтвердили высокую эффективность укрепления основания с помощью технологии струйной цементации грунтов.
2. Варьируя шаг, длину и степень заглубления колонн, можно получить любое требуемое значение модуля деформации основания (до 140 МПа).
3. Расчетные формулы осреднения модуля деформации (по правилу «смеси») достаточно точно соответствуют результатам экспериментов и могут быть рекомендованы к применению в процессе проектирования укрепления слабых оснований методом струйной цементации.

Список литературы

1. Малинин, А.Г. Струйная цементация грунтов. - М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2010.
2. ГОСТ 20276-99 «Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости».
3. Тер-Мартirosян З.Г., Струнин П.В. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии Jet-grouting.// Вестник МГСУ, №4, 2010 г. стр.310-315.