

УДК 624.151

**УКРЕПЛЕНИЕ СЛАБЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИИ  
НАСЫПИ АВТОДОРОГИ  
ПРИ ПОМОЩИ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ**

**Малинин А.Г., Гладков И.Л., Жемчугов А.А.**

*ГК «ИнжПроектСтрой», г. Пермь, Россия*

Описан опыт применения технологии струйной цементации грунтов для решения задачи укрепления слабых грунтов в основании насыпи автодороги. Дана схема укрепления основания грунтоцементными колоннами с гибким ростверком. Изложен метод расчета укрепленных оснований, а также приведено описание методов оперативного контроля характеристик грунтоцементных колонн.

This article provides the results of using jet grouting technology to solve a problem of the soft grouting stabilization in the embankment base. The authors describe the scheme of bottom reinforcement by jet columns with a non-rigid grillage and the calculation method of stabilized bases. The article presents some methods of the monitoring jet grout column characteristics.

В настоящее время ведется строительство нового участка федеральной автомобильной дороги М-53 «Байкал» Алзамай – Разгон (км 1251 – км 1261). Одним из вспомогательных сооружений является арочная труба через р. Моховую. В районе подходов к арочной трубе высота насыпи автодороги достигает 7,5 м. При этом характерное геологическое строение основания насыпи представляет собой напластование слабых глинистых грунтов

с модулем деформации  $E = 2...5$  МПа, которые подстилают песчаные и тугопластичные глинистые грунты с модулем деформации  $E = 20...30$  МПа. Мощность слабых глинистых грунтов изменяется в диапазоне от 7,0 до 16,0 м. Характерный поперечный разрез представлен на рис. 1.

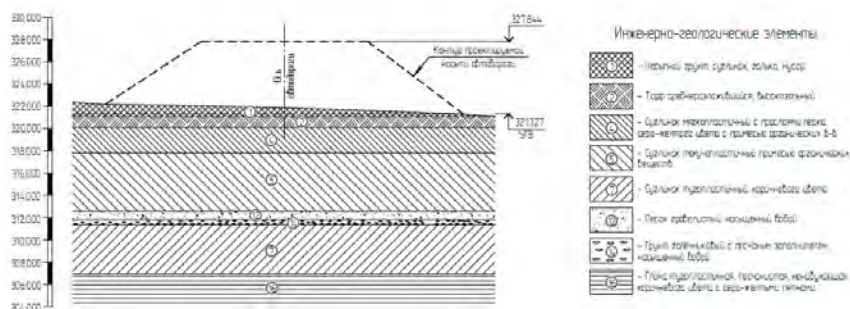


Рис. 1. Поперечный разрез проектируемой автодороги

Результаты расчетов показали, что в случае устройства насыпи на естественном основании осадка основания насыпи составит более 1 м. Для уменьшения величины деформации разработана схема укрепления слабых грунтов в основании насыпи при помощи устройства грунтоцементных колонн по технологии струйной цементации грунтов.

Сущность этой технологии заключается в использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора для разрушения и одновременного перемешивания грунта с цементным раствором [1]. Результатом струйной цементации грунтов является грунтоцементная колонна, материал которой обладает более высокими прочностными и деформационными характеристиками по сравнению с начальными характеристиками укрепляемого массива.

Предложенная конструкция укрепления основания представляет собой армированный массив из грунтоцементных колонн диаметром 750 мм с гибким ростверком. Колонны устраивают с шагом 3,0 x 3,0 м по треугольной сетке, длина колонн определяется мощностью слабых грунтов и составляет 8,0...17,0 м. Для сооружения гибкого ростверка поверх оголовков грунтоцементных колонн устраивают подушку из щебня толщиной 600 мм. В тело подушки по мере ее возведения укладывают геосетку в двух уровнях по ее высоте (рис. 2).

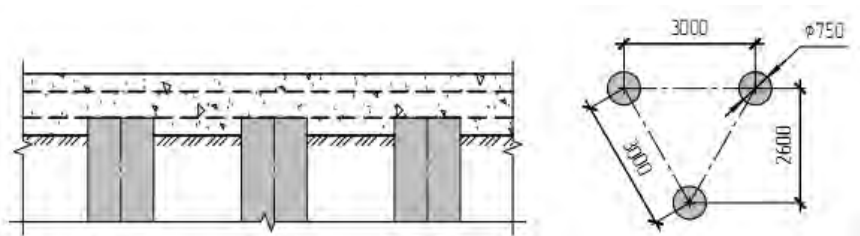


Рис. 2. Схема укрепления основания грунтоцементными колоннами

Для определения эффективности предложенного решения была проведена серия расчетов по определению деформируемости основания, укрепленного по приведенной схеме (см. рис. 2). Расчеты выполняли в плоской постановке в программном комплексе Alterra, основанном на методе конечных элементов (рис. 3).

Полученная максимальная осадка основания насыпи оказалась 30 см. Максимальные сжимающие напряжения в грунтоцементе составили 1,98 МПа (рис. 4).

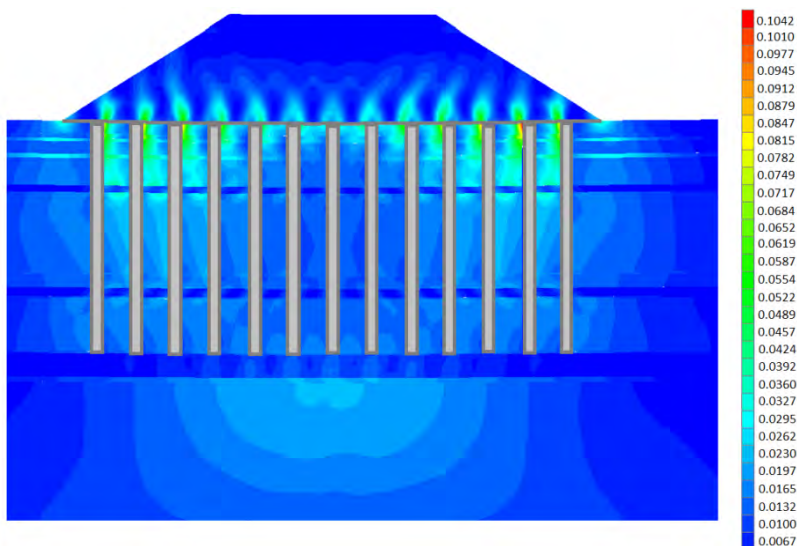


Рис. 3. Распределение относительных деформаций в грунтовом массиве при устройстве насыпи на укрепленном основании.

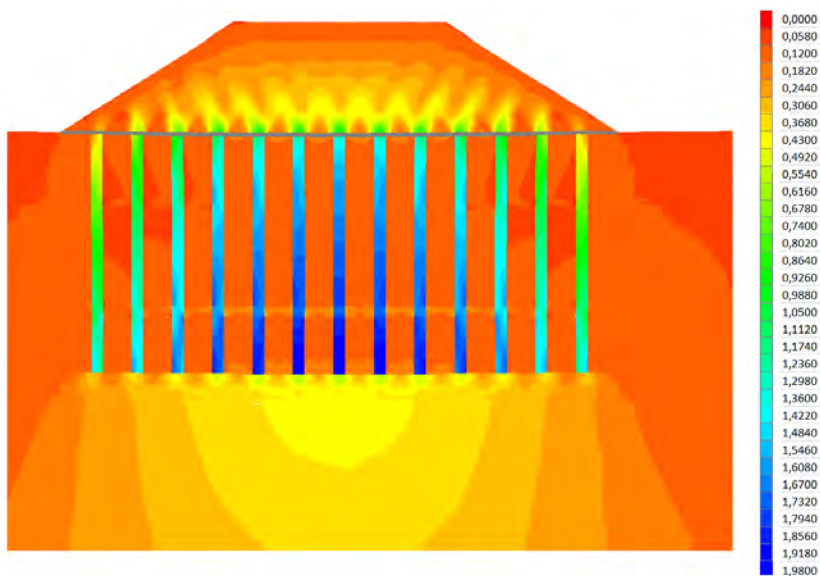


Рис. 4. Распределение сжимающих напряжений (МПа) при устройстве насыпи на укрепленном основании

Для укрепления основания насыпи были запроектированы и выполнены более 1000 грунтоцементных колонн общей длиной 12000 м (рис. 5). Для обеспечения заданных проектом значений прочности на сжатие и модуля деформации грунтоцемента принят расход цемента 350 кг/м колонны. В связи с тем, что глинистые грунты заторфованы, для их качественного закрепления предусмотрели ряд дополнительных мероприятий. С целью раскисления грунта бурение лидерной скважины проводили с применением водного раствора технической соды. Для ускорения процесса гидратации цемента и повышения прочностных свойств грунтобетона в цементный раствор добавляли хлористый кальций.

В период производства работ диаметр колонн определяли непосредственно после их устройства с помощью специального измерительного оборудования (рис. 6) [2]. Кроме того, оперативно полученная информация о диаметре колонн позволила установить правильный технологический режим для обеспечения проектного диаметра. С целью определения фактической прочности грунто-

цемента из колонн выбуривали керны цилиндрической формы и проводили испытания в лабораторных условиях (рис. 7).



Рис. 5. Производство работ по технологии струйной цементации грунтов



Рис. 6. Измерение диаметра грунтоцементной колонны

Проведенные измерения подтвердили правильность выбранных геометрических и прочностных характеристик грунтоцементных колонн. Величины замеренных диаметров колонн лежали в диапазоне от 700 до 800 мм. Предел прочности грунтоцемента на сжатие составил 2,1...3,5 МПа.

По завершении устройства грунтоцементных колонн оголовки были откопаны, и поверх них устроен гибкий ростверк и возведена насыпь (рис. 8).



Рис. 7. Керны, выбуренные из тела грунтоцементной колонны



Рис. 8. Устройство гибкого ростверка

Опыт проведенных работ показывает, что применение технологии струйной цементации позволяет успешно решать задачи укрепления слабых грунтов оснований в транспортном строительстве.

### **Литература**

1. Малинин, А.Г. Струйная цементация грунтов / А.Г. Малинин. – М. : Стройиздат, 2010.
2. Малинин, А.Г. Экспериментальные исследования диаметра грунтоцементных колонн в различных грунтовых условиях / А.Г. Малинин, И.Л. Гладков // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – № 3.