

УДК 622.232.522.2

ЗАКРЕПЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ПЕРЕКРЕСТНОЙ ГИДРОСТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

Головин К.А., Сапронов И.В.

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

Рассматривается технология перекрестной гидроструйной цементации неустойчивых горных пород.

В конце 1980-х годов, представлена новая концепция инновационного развития гидроструйных технологий, а именно, двойные струи сталкивающиеся друг с другом, с целью ограничения их разрушительной способности, обеспечив тем самым точное получение необходимого диаметра в независимости от типа почвы. Расположение этих струй показано на рис. 1 [1].

Концептуальные сравнения традиционной технологии и метода сталкивающихся струй показано на рис. 2. Не сталкивающиеся струи выполняют столбы переменного диаметра, из-за различных свойств горной породы, встречающейся на пути струи. Сталкивающиеся струи создают колонны заданного диаметра, не зависимо от свойства горного массива.

Сталкивающаяся струйная цементация повысила требования к качеству разработки оборудования с момента своего появления под названием «крест-струйной цементации».



Рис.1. Сталкивающиеся струи.

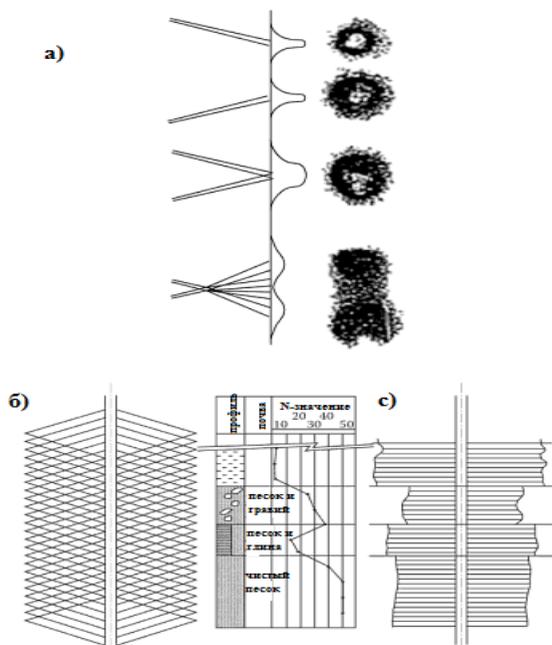


Рис. 2. Принцип перекрещивающей технологии, а) показания датчиков давления от воздействия на них встречных струй б) резка почвы двойной встречной струей с) резка почвы одной струей

В начале 1990-х, крест-струйная технология стала включать в себя метод глубокого смешивания, что существенно увеличило спектр применения. Обычно при выполнении работ вблизи стен, появляется недостаток, который мешает непрерывному производству работ, из-за неоднородности диаметра полученной колонны, однако, при использовании технологии сталкивающихся струй с применением нагнетательного оборудования, внедренного в долото или лезвие буровой колонны, получают колонны необходимого диаметра [1].

Суть технологии перекрещивающихся струй.

Технология перекрещивающейся струйной цементации (рис. 3) – это метод, который используется для разрушения горной породы и последующего создания колонн диаметром от 2 до 2.5 метров, путем фокусировки водо-воздушного потока выходящего из насадок, направленных под определенным углом, в точке пересечения, обычно лежащей на расстоянии одного метра от выходных отверстий.

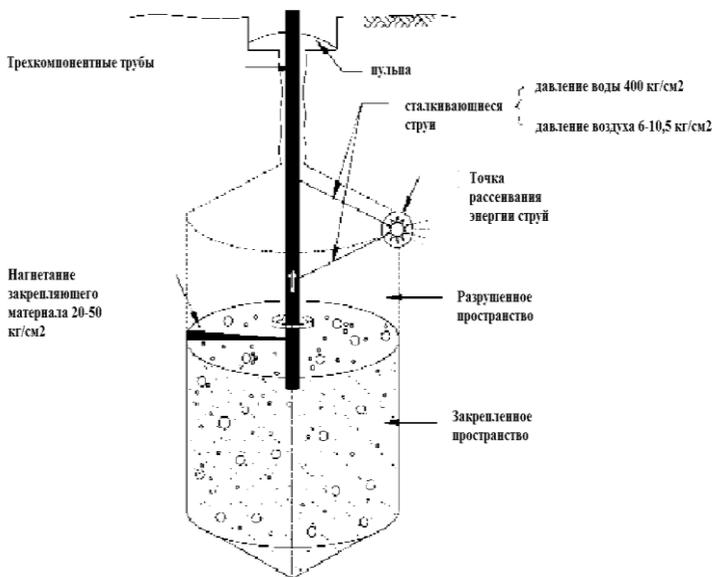


Рис. 3. Принципиальная схема перекрещивающейся струйной цементации.

В точке столкновения, размывающая энергия струи рассеивается, что значительно снижает усилие резки. Цементирующий раствор вводят ниже размывающих насадок, с целью вытеснения размывтой породы и создания грунтобетонных колонн более высокого качества. В почвах, обладающих большой вязкостью, переменной прочностью, или очень стратифицированных, технология дает важное преимущество в виде известной геометрии закрепленного массива и однородности требуемого закрепляющего материала.

Метод возведения перекрещивающихся струй подобен трехкомпонентной струйной технологии, но скорость подъема и частота вращения достаточно медленные, чтобы гарантировать, что водоцементные струи смогут разрушить массив и достигнуть точки перекрещивания. Регулируемая насадка имеет решающее значение для обеспечения столкновения струй и рассеивания энергии. Необходимо специализированное оборудование для нагнетания рабочих жидкостей и точной их фокусировки [2].

Технологические параметры технологии перекрещивающихся струй применяемые во время проведения работ (табл. 1) [3].

Таблица 1. Технологические параметры метода перекрещивающихся струй

Место проведения работ.	Тип почвы	Расчетное значение N		
	Песчаные почвы	$N \leq 50$	$50 < N \leq 100$	$100 < N \leq 150$
	глинистый грунт	$N \leq 3$	$3 < N \leq 5$	-1
Диаметр закрепленного массива (м)		2.5	2.5	2.5
Пересекающиеся струи воды	Давление (МПа)	40		
	Расход (м ³ /мин)	180 (90x2)		
Сжатый воздух	Давление (МПа)	0,6-1,05		
	Расход (л/мин)	6±2		
Нагнетаемый материал	Давление (МПа)	4±1		
	Расход (м ³ /мин)	0,25	0,19	0,19
Скорость вращения буровой колонны (оборотов в минуту)		20		
Скорость подъема буровой колонны (м/мин)		0,125	0,0625	0,0417

Примечание: 1) При значениях $N > 150$ для песчаных грунтов и $N > 5$ для глинистых, следует произвести выполнение опытного образца колонны, с целью его дальнейшего изучения и корректировки параметров работы оборудования.

2) Вязкость глины более 0.5кг/см² может повлиять на эффективный диаметр закрепленного массива, из-за того, что не будет достигнута точка пересечения.

3) При работе на глубине более 30м, каждые последующие отрезки длиной 5 метров, сократят диаметр колонны на 0,05м.

Оборудование для технологии сталкивающихся струй состоит из машины для подачи раствора, бункер для цементирующего вещества, бака для воды, смесителя и мешалки, гидравлического блока, генератора и компрессора, как показано на рис. 4.

Машина для подачи раствора состоит из буровой установки и оборудования для подачи труб. Связующий раствор, приготовленный в смесителе, передается на инъекционную машину с гидравлическим насосом, и вводится в землю. Нагнетательные трубы имеют наружный диаметр 90 мм. Три форсунки установлены на боковой поверхности трубы вблизи нижней части, два верхних сопла предназначены для впрыска воды под высоким давлением и подачи воздуха в спутном потоке, а нижнее сопло предназначено для подачи связующего раствора.

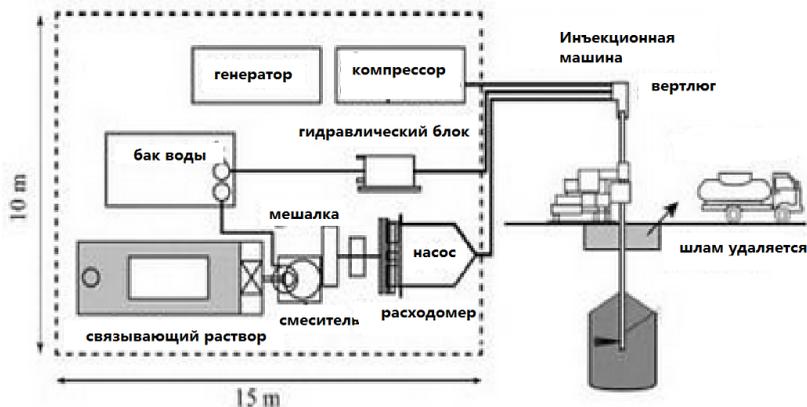


Рис. 4. Схема расположения оборудования.

Сравнение трехкомпонентной струйной технологии и технологии перекрещивающихся струй: Станция очистки сточных вод Кайстер, Великобритания[1].

Для первой группы отстойников, построенных на очистных сооружениях в Кайстере, двух метровые бетонные плиты были возведены с помощью трехкомпонентной технологии, для предотвращения вертикальных колебаний и изолирования котлована от притока грунтовых вод. Хотя этот метод был эффективным, ожидалось, что перекрещивающаяся струйная цементация продемонстрирует значительные технические и экономические преимущества для аналогичных плит, которые будут построены под вторым набором бассейнов. На экспериментальном участке были проведены работы, позволяющие напрямую сравнить трехкомпонентную и перекрещивающуюся струйные технологии, до начала проведения основных работ.

Результаты экспериментальных работ:

Состав почв, на месте проведения эксперимента, состоял из объектов размером 0,8 м, в виде прочного черного органического материала, заполняющего пустоты в очень мягкой илистой органической глине на глубину 5 м. Ниже был 2-х метровый слой волокнистого торфа. Тест был разработан для оценки геометрии колонны, целостности и прочности для двух данных систем в заданных почвах. Колонны были построены на 1,5 м равном удалении от центра. Опытные образцы были взяты для оценки прочности, а динамические зонды использовались для оценки геометрической формы полученных колонн. Ожидаемый, для перекрестной техноло-

гии, диаметр столбцов 2.2 м был достигнут, с прочностью грунтобетонной конструкции в 500 кПа.

Трехкомпонентная система показала более изменчивые результаты, а высокое качество грунтобетонной конструкции выполненной перекрестной технологией подтвердил превосходство этой техники для производства работ в этих очень трудных почвах.

Результаты работ перекрестной струйной цементации.

Строительство грунтобетонной плиты было осуществлено в пределах 41 м, из которых 11 м приходится на шпунтовые переемы. Основанный на результатах экспериментальных работ, диаметр колонны 2.2 м был направлен для производственной работы, используя постоянный равноудаленный интервал 1.65 м. Колонны, по перекрещивающейся струйной цементации, были построены на глубине от –6 м до –4 м ниже уровня основания фундамента. Образцы отобранного керна были извлечены и доставлены в лабораторию для проведения испытаний, результаты показали прочность грунтобетона в 1000 кПа на 7 день с момента создания колонны, и увеличение прочности до 1500 кПа на 28 день. Отклонение шпунтовых свай в нижней точке было минимальным, просачивание грунтовых вод не наблюдалось.

Выводы по итогам экспериментальных работ.

Использование перекрестной струйной технологии в данном типе почв выявило ряд очевидных преимуществ:

- технология в существенном количестве заменяет разрушенный материал, а не смешивает его с бетоном, тем самым, создавая грунтобетонные колонны очень высокого качества

- сокращение на 25 % испорченного материала

- Большие колонны, созданные перекрестной струйной технологией, в результате на 57 % сократили календарный план проекта и, соответственно, это привело к значительной экономии средств.

Так как перекрестная струйная цементация производит замену материала на месте, а не смешивает его, нет заметной экономии цемента в сравнении с трехкомпонентной технологией. Тем не менее, более эффективное использование цемента стало возможно в связи с высокой прочностью закрепленного массива.

Перекрестная струйная технология требует сложного, более дорогостоящего оборудования и специализированных подрядчиков, имеющих большой опыт в проведении работ в области струйной цементации. Тем не менее, в сложных почвах, таких как те, которые встречаются в Кайстере, где выбор возможных вариантов крайне ограничен, этот метод оказывается эффективным и технически рентабельным по времени.

Новизна технологии перекрещивающихся струй предоставляет широкое поле для исследовательских работ, с целью установления новых областей применения, параметров работы оборудования, физико-механических свойств закрепленного массива. Новая технология для строительного рынка России повысит конкуренцию в области возведения грунтобетонных свай, особенно в крайне сложных грунтах, что позволит снизить стоимость работ, а следовательно и общие экономические затраты при проведении строительных или ремонтных работ.

Литература:

1. Мозли, М.П. .Улучшение почвы, второе издание: учебное пособие /М.П. Мозли, К. Киш – Оксон.: Издательство SponPress, 2004 - 431с.
2. Велш, Д.П. .Достижения в струйной технологии / Д.П. Велш,, Д.К. Бурке – США, Мэриленд., 2006 - 18с.
3. Материалы сайта <http://www.geotech.org>.

УДК 622.232.52

СРАВНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЗАКРЕПЛЕННОГО ГРУНТОБЕТОННОГО МАССИВА ДЛЯ ТРАДИЦИОННОЙ И ПЕРЕКРЕСТНОЙ ГИДРОСТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

Головин К.А., Сапронов И.В.

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

Производится сравнительный анализ традиционной и перекрестной гидроструйной цементации неустойчивых горных пород.

Основным параметром, показывающимся эффективное закрепление массива, является прочность. Во многих источниках приводится прочность на одноосное сжатие. Однако представленные в литературе зависимости имеют под собой сложную и зачастую неясную методику расчета, так же нет связи с технологическими параметрами работы установки для закрепления грунта. Решение этой задачи проводилось в ряде экспериментов, целью которых было определение взаимосвязи технологических параметров работы установки, таких как: давление водоцементной смеси (P), диаметр струеформирующих насадок (d_0), скорость подъема буровой колонны (V), частота вращения буровой колонны (n), коэффициентом сцепления горных пород (с), с прочностью закрепленного грунтобетонного массива. В результате выявлена зависимость(1) [1 - 3].

$$R = \frac{664.35426 \cdot P^{0.7543} \cdot d_0^{0.83604}}{V^{0.7582} \cdot n^{0.1407} \cdot C^{0.3397}}, \text{Па} \quad (1)$$