

*Н.Т. Фатеев, С.В. Сергеев, В.Ф. Карякин,
С.В. Гапон, О.В. Щетинин*

**ТЕХНОЛОГИЯ НАПРАВЛЕННОГО ГИДРОРАЗРЫВА
ДЛЯ СОЗДАНИЯ В МАССИВЕ ПОРОД
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Семинар № 10

Ограждающие конструкции в массиве пород созданию в основном в целях формирования водонепроницаемых завес. Широко известны технологии сооружения стен в грунте с применением барражных машин. Однако в стесненных промышленных условиях или под существующими зданиями и сооружениями создание таких конструкций затруднено.

Нами, в течение ряда лет, разрабатываются технологии вертикального и горизонтального направленного гидроразрыва [1]. Такие завесы могут быть использоваться и как несущие конструкции. Обеспечение направленного гидроразрыва достигается с помощью образования концентратора напряжений на стенке скважины и последующего нагнетания закрепляющего раствора. При этом давление раствора должно быть больше предельного напряжения гидроразрыва.

В результате экспериментальных исследований выбраны два способа образования концентраторов:

- 1) вырезание линии в стенке скважины, пройденной в частично закрепленном массиве;
- 2) формование концентратора в скважине.

В первом варианте толщина закрепленной стенки должна быть в 1,5 раза больше необходимой глубины за-

сечки. Во втором – диаметр скважины должен обеспечить свободное размещение снаряда и извлечение его из скважины после затвердевания состава.

Давление гидроразрыва рекомендуется определять по формуле [2]:

$$P_{\text{ГР}} = (0,77 \div 1,14) \gamma H \quad (1)$$

где γ – удельный вес вышележащей толщи пород, кН/м^3 ; H – глубина ведения работ по гидроразрыву.

Поддержание расчетного давления нагнетания позволяет получить напряжение для образования трещины гидроразрыва необходимой протяженности. В проектных решениях для определения ожидаемой длины завесы рассчитывается объем инъецируемого раствора, время нагнетания и расход раствора в единицу времени. Разработанный метод вертикального гидроразрыва апробирован в полевых условиях в районе Белгородского песчаного карьера (рис. 1). Здесь было пробурено 12 скважин диаметром 89 мм, глубиной 6 м.

Анализ результатов исследований показывает, что в песках толщина вертикальной стенки достигает 0,25-0,30 м, в суглинке – 0,14-0,15 м, в глинах – 0,03-0,04 м.

Если в скважине сформировать аналогичные засечки в горизонтальной плоскости, то при определенных пара-

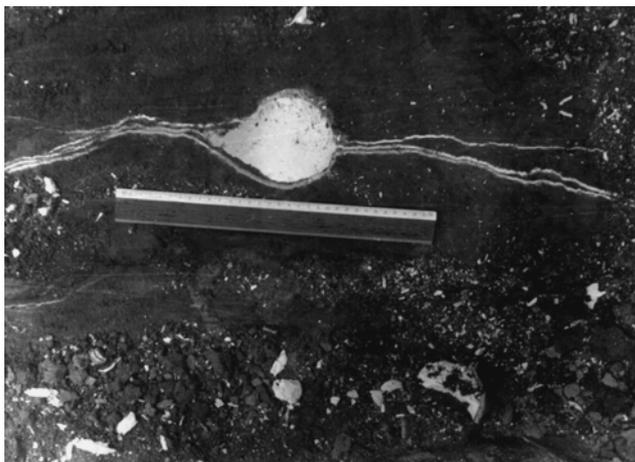


Рис. 1. Горизонтальные линии вертикального гидроразрыва после их вскрытия канавой

метрах нагнетания аналогичного раствора можно будет получить горизонтальный площадный гидроразрыв пласта.

Для проведения экспериментов по формированию горизонтального гидроразрыва пласта была разработана лабораторная установка для нагнетания твердеющего раствора с регулируемым давлением нагнетания. Установка (рис. 2) состояла из цилиндрического корпуса со снимающейся верхней крышкой с герметизирующейся резиновой прокладкой. На крышке располагались: манометр – 6, заливочное отверстие – 5 с пробкой, штуцер – 4 для подсоединения нагнетательного воздушного насоса. К корпусу – 3 в донной части выполнен патрубок с краном – 7, к которому подсоединялся нагнетательный шланг – 8, соединенный с приспособлением – 9 («ноу-хау»), размещаемым в скважине – 10.

Скважина формировалась в песке, засыпанном в цилиндрическую емкость диаметром 60 см и высотой 40 см.

Для гидроразрыва использовали раствор карбамидной смолы с водой 1:0,5 и раствор соляной кислоты –

3%-ной, в соотношении 10 объемных частей кислоты к 100 объемных частей смолы.

На следующем этапе были проведены полевые эксперименты по созданию геокомпозита нагнетанием твердеющего раствора в песчаный грунт. Поверхность уступа зачистили лопатой, образовав ненарушенный массив песка размером в плане: ширина – 1 м, длина – 2 м, высота – 0,8 м. В качестве нагнетательного оборудования использовали разработанную лабораторную установку.

В качестве материала для гидроразрыва использовали известный состав химического твердеющего раствора, включающего:

- карбамидной смолы марки КФМТ с исходной плотностью 1,15–1,25 г/см³;
- соляной кислоты, технической с исходной плотностью 1,19 г/см³;
- водопроводная вода.

Такое соотношение обеспечивало время твердения раствора в пределах 15–20 мин, что позволяло промыть насосом нагнетания технологическую цепочку: нагнетательную емкость – 4, запорный кран – 7 и нагнетательный шланг – 8.

Используемая карбамидная смола типа КФМТ представляет собой негорючую и невзрывоопасную синтетическую жидкость. Практика применения закрепляющих растворов на основе этих смол показала, что при инъектировании их в песках образуется нерастворимый полимер, вызывающий отверждение массива.

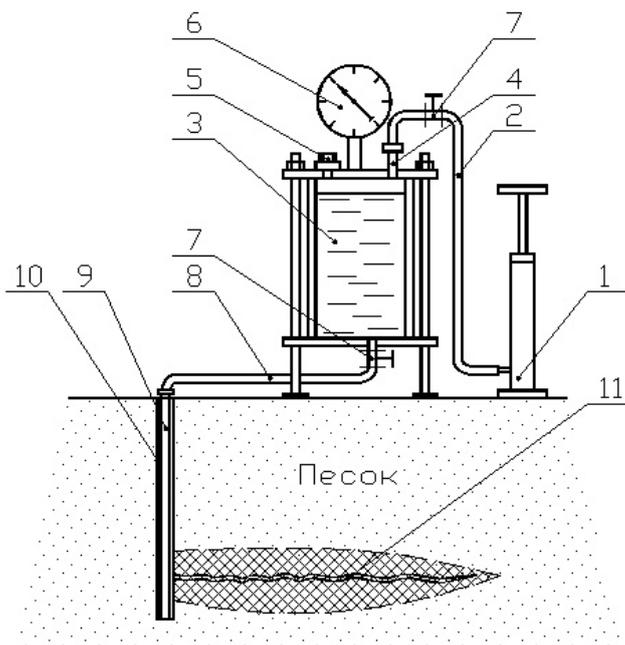


Рис. 2. Схема оборудования для формирования горизонтального гидроразрыва: 1 – воздушный насос; 2 – воздушный шланг; 3 – нагнетательная емкость; 4 – штуцер; 5 – зали-вочное отверстие с пробкой; 6 – манометр; 7 – запорный кран; 8 – нагнетательный шланг; 9 – приспособление; 10 – скважина; 11 – трещина гидроразрыва

Таким образом, предложенная технология не представляет опасности здоровью людей непосредственно занятых на производстве работ, при условии соблюдения регламентированных норм техники безопасности и промсанитарии. Кроме того, технология не загрязняет

известно, что карбамидные смолы содержат формальдегид до 0,15-2,0%, представляющий собой газ с резким запахом, хорошо растворимый в воде, обладающий некоторой токсичностью.

Однако при таких концентрациях водный раствор формальдегида используется, как дезинфицирующее и дезодорирующее средство.

Исследованиями установлено, что содержание свободного формальдегида в воздухе открытых стройплощадок, если сразу не вскрываются закрепленные пласты грунта, не превышает нормативные предельно допустимые концентрации (ПДК) для атмосферного воздуха – 0,035 мг/м³. содержание растворенного формальдегида в подземных водах по мере удаления от закрепленного участка (4-8 м) и в течение времени (2 месяца) непрерывно снижается до уровней, значительно меньших соответствующей ПДК – 25 мг/л. На расстояниях более 10 м формальдегид в подземных водах отсутствует.

подземную среду в частности, подземные воды на расстояниях более 10 м от закрепленного участка.

Гидроразрыв напластования песка осуществляли следующим образом: нагнетательный шланг – 7 экспериментальной установки подсоединяли к приспособлению – 9. В емкость со смолой разбавленной водой вливали раствор соляной кислоты при перемешивании составом по выше приведенной рецептуре. При этом, включали секундомер для контроля времени отверждения раствора, для чего часть раствора объемом 10-15 см³ отбирали в отдельный стакан. Затем, закрыв кран – 7, через отверстие – 5 заливали приготовленный твердеющий раствор в нагнетательную емкость – 3 и закрывали отверстие пробкой с прокладкой. Насосом – 1 в нагнетательной емкости создавали давление до 0,5 МПа по манометру – 6 и открыв резко кран – 7, поддерживая давление, осуществляли гидроразрыв. Начало развития трещины гидроразрыва отмечается падением давления. Развитие трещины и нагнетание

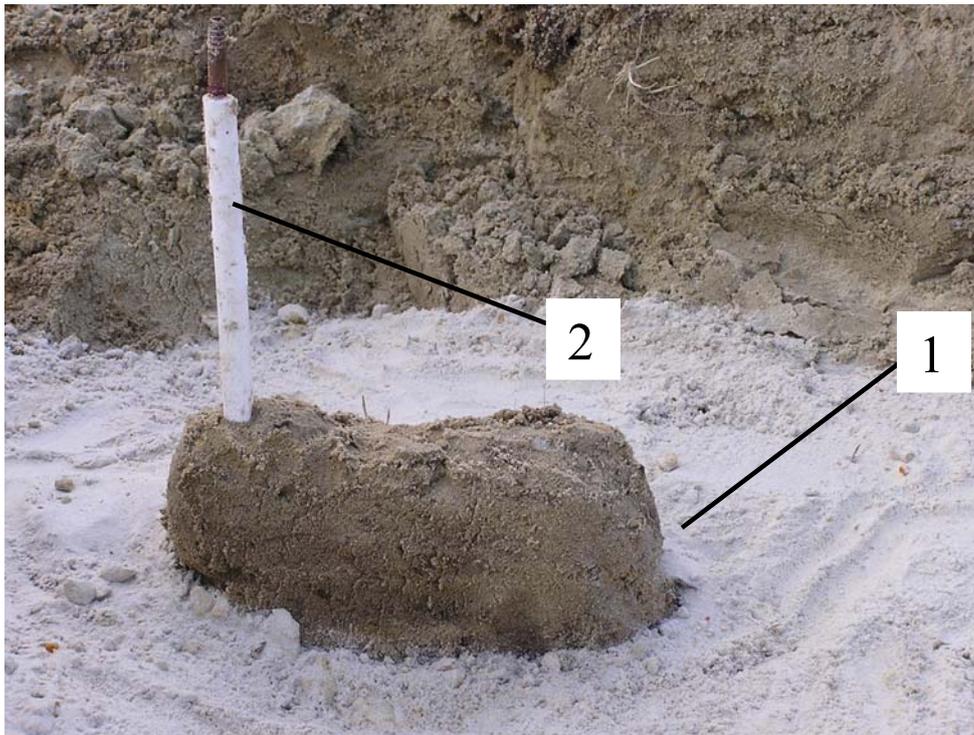


Рис. 3. Закрепленный массив песка по направлению горизонтального гидроразрыва (после вскрытия грунта до подошвы закрепленного массива песка): 1 – закрепленный массив песка; 2 – приспособление для направленного гидроразрыва

раствора в трещину осуществляли при давлении нагнетания 0,1-0,15 МПа до закачки 85-95 объема раствора, контролируемого по уровню водомерного стекла.

В отобранной пробе наблюдали за временем твердения раствора методом пехнодического падения капли раствора в воду. Если капля раствора в воде опускается на дно стакана в виде плотного тела вместо «хлопьев», останавливали секундомер – это время отверждения. Фактическое время отверждения раствора составило 17 минут. Вскрытие для фиксирования трещины гидроразрыва и определения ее параметров осуществляли через трех кратное время отверждения, так как в массиве песка оно несколько увеличивается вследствие

пониженной температуры, по сравнению с температурой на воздухе.

Снимая слоями песок, обнаружили в нижней части скважины пропитанный полимером отвержденный массив песка, вытянутый по заданному направлению, в виде сектора (рис. 3).

Анализ формы закрепленного массива песка по трещине гидроразрыва показал, что трещина гидроразрыва формируется на уровне концентратора и имеет форму в плане в виде усеченной трапеции по направлению трещины шириной верхнего основания (у скважины) примерно, $3d$ – диаметр скважины; нижнего основания – $10d$ и высоте (длина закрепления от скважины) в $10d$. При этом толщины закрепления составила у скважины $1,5d$, в нижнем основании – $0,5-0,8d$.

Толщина закреплённого слоя видимо зависит от плотности грунта. В данном случае гидроразрыв производится в рыхлом песчаном массиве. Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлена возможность направленного горизонтального гидро-

разрыва. Дальнейшие исследования должны быть направлены на формирование размеров закреплённого массива горизонтальной плоскости и на получение в массиве объема изолированного гидроразрывом со всех сторон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сергеев С.В., Гапон С.В.* Экспериментальные исследования деформативных характеристик армированных грунтов на моделях. // Известия Тульского государственного университета. Серия «Геомеханика. Механика подземных сооружений». Вып. 4. – Тула, 2006.

2. *Хямяляйнен В.А., Митраков В.И., Сыркин П.С.* Физико-химическое укрепление пород при сооружении выработок. – М.: Недра, 1986.

ГЛАВ

Коротко об авторах

Фатеев Н.Т., Щетинин О.В. – сотрудники ФГУП ВИОГЕМ.

Сергеев С.В. – профессор

Карякин В.Ф. – доцент,

Гапон С.В. – аспирант,

Белгородский технологический университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 10 симпозиума «Неделя горняка-2007».

Рецензент д-р техн. наук, проф. *Е.А. Ельчанинов.*



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

| Автор | Название работы | Специальность | Ученая степень |
|---|---|---------------|----------------|
| САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ им. Г.В. ПЛЕХАНОВА | | | |
| КАЗАКОВ Сергей Владимирович | Обоснование рациональных конструктивных и режимных параметров ударно-вибрационной конусной дробилки с двумя самосинхронизирующимися возбудителями колебаний | 05.05.06 | к.т.н. |