

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ ТАМПОНАЖА В ГЕОТЕХНИКЕ

М. Е. Володин, руководитель направления «Подземное строительство», ООО «ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ»

В данной статье рассмотрены технологии ведения тампонажных работ в несвязных грунтах разных фракционных составов, приведены примеры распространения материала внутри массива.

С развитием современных материалов и технологий в строительстве все большую роль играет вопрос эффективности того или иного метода работ и оценки качества. Системы консолидации грунтов начали массово применяться в строительстве последние 50 лет. Данные работы относятся к разделу специальных способов строительства. Среди тампонажа можно выделить следующие виды (рис. 1):

- посредством гидроразрыва;
- уплотнительный;
- проникающий;
- скальных пород.

Более подробно остановимся на проникающем тампонаже несвязных грунтов: данный вид тампонажа осуществляется посредством проникновения материала между частицами несвязного грунта без изменения структуры последнего. Основными фактора-

ми, влияющими на проникновения материала внутрь массива, являются:

- вязкость – это свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой;
- время гелеобразования – это время между начальным смешением компонентов смеси и образованием геля (потери подвижности материалом). Время гелеобразования зависит от пропорций компонентов (самого материала, ускорителя, ингибитора);
- время схватывания – время до обретения тампонажным материалом проектных значений по прочности;
- чувствительность к внешним факторам, таким как температура, химический состав грунтовых вод и грунта и т. д.

В любом случае, конечная прочность консолидированного массива должна быть достаточной для выполнения по-

ставленных перед проектировщиком задач (табл.).

Проникающая способность грунта представлена на рис. 2.

Наиболее эффективная система проникающего тампонажа – манжетная технология, которая позволяет максимально точно предсказать конечные параметры массива (рис. 3).

Основные характеристики, которые необходимо контролировать во время проникающего тампонажа

Критерий проникновения тампонажного состава в грунт

1. По Митчеллу и Катти:

$$N = D15/d65,$$

где D15 – минимальный размер частиц в количестве 15 % по кривой отсева образца грунта;

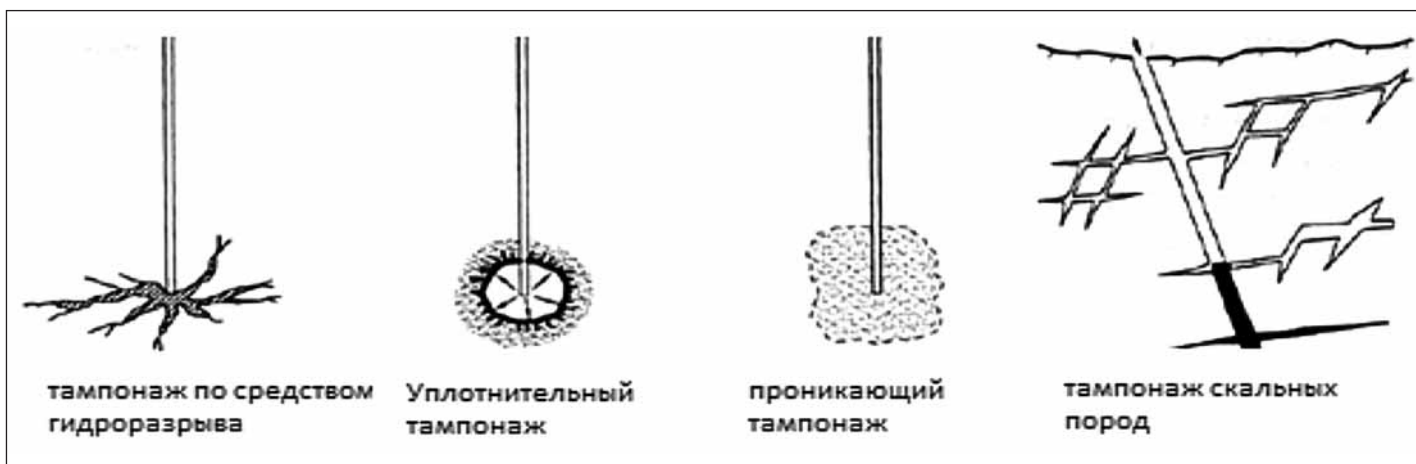


Рис. 1. Виды тампонажа

Таблица

Название таблицы

Тип материала	Свойства					
	проницаемость	долговечность	сложность приготовления	токсичность	горючесть	относительная стойкость
Портланд цемент	низкая	высокая	средняя	малая	не горюч	низкая
Силикаты	высокая	средняя	высокая	малая	не горюч	низкая
акрилаты	высокая	средняя	высокая	средняя	слаб горюч	высокая
Лигнины	высокая	средняя	средняя	высокая	горюч	высокая
полиуретаны	низкая	высокая	средняя	высокая	горюч	высокая

d_{65} – минимальный размер частиц в количестве 65 % по кривой рассева образца материала.

Если $N > 24$, то грунт возможно инъецировать данным материалом.

2. По Каролу:

$$N_c = D_{10}/d_{95},$$

где D_{10} – минимальный размер частиц в количестве 10 % по кривой рассева образца грунта;

D_{95} – минимальный размер частиц в количестве 95 % по кривой рассева образца материала.

Если $N_c > 11$, то грунт возможно инъецировать данным материалом.

Объем закачиваемого материала

$$V = 4/3 \cdot \pi \cdot R^3 \cdot n,$$

где R – радиус закрепляемого массива;

n – эффективная пористость;

V – объем материала.

Скорость подачи материала

$$Q = (4\pi \cdot k \cdot H \cdot R) / \eta,$$

где k – проницаемость грунта;

H – гидравлический напор;

R – диаметр инъекционной колонны;

Q – скорость подачи.

Время гелеобразования (начало изменения вязкости)

$$T = (\eta \cdot n \cdot D^3) / (3k \cdot H \cdot R),$$

где η – относительная вязкость;

n – эффективная пористость;

D – диаметр распространения материала;

k – проницаемость грунта;

H – гидравлический напор;

R – диаметр инъекционной колонны;

T – время гелеобразования.

Материал

Groutmaster – материал, разработанный путем усовершенствования минерального вяжущего, основанного на растворенных силикатах и алюминатах, воплотивший в себе проникающие свойства коллоидного раствора и механические свойства цементных суспензий. Материал имеет форму мелкодисперсного порошка, который смешивается с водой в пропорции 1:2,3 или 1:1,5 в зависимости от температуры окружающей среды. После затворения водой раствор необходимо в течение 2 мин перемешивать в коллоидном миксере (1200 об/мин) до образования однородной коллоидной суспензии. Конечный тампонажный состав обладает следующими свойствами:

- вязкость около 6 сантипуазов (Вода 1), плотность 1,3 кг/л, прочность на 28 суток до 5 МПа;

- проницаемость обработанного массива – около 10^{-9} м/с. После конечного схватывания материал становится химически инертным и не подвержен разложению под действием напорных грунтовых

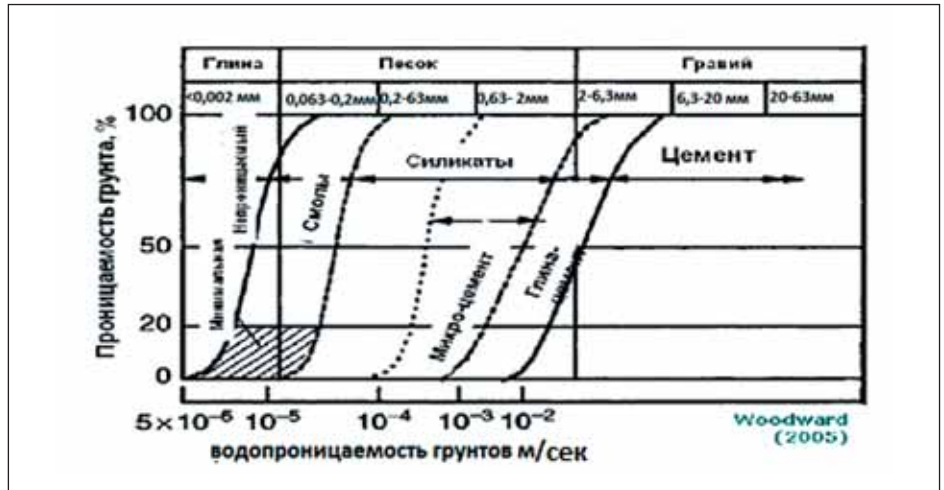


Рис. 2. Пределы проницаемости тампонажных смесей

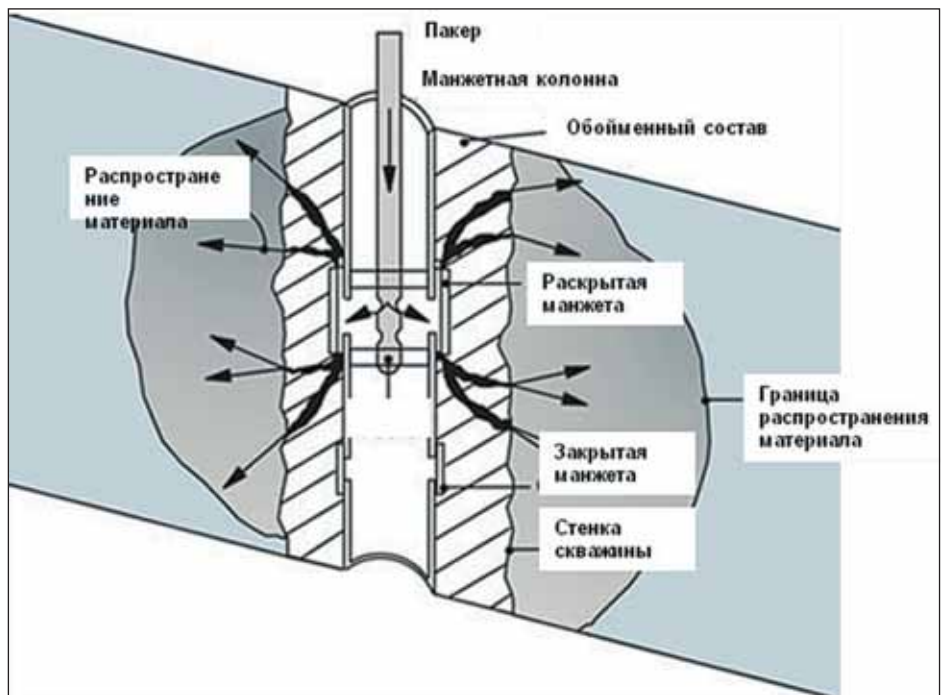


Рис. 3. Манжетная технология

Рис. 4. Кривая изменения вязкости от времени

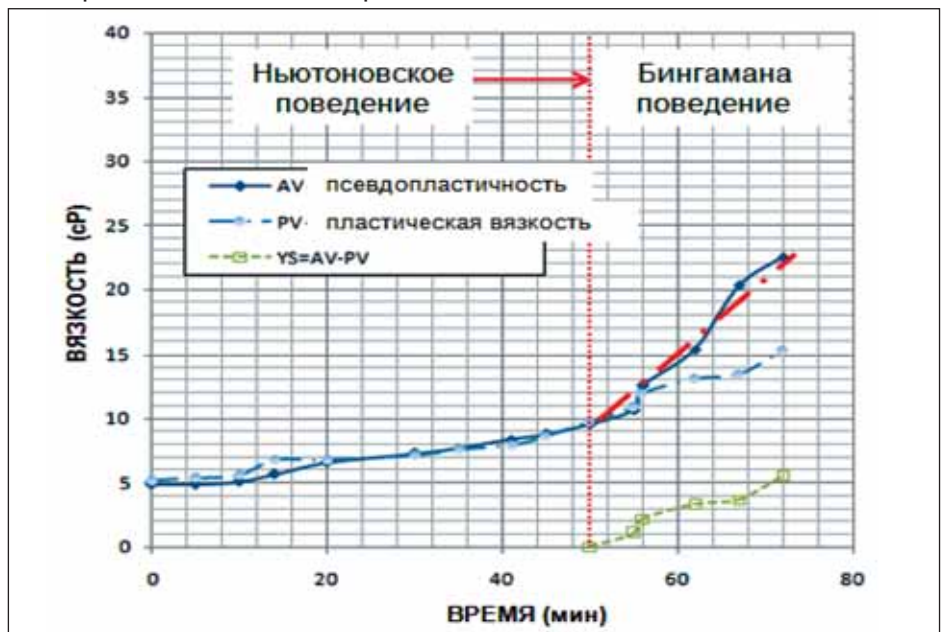




Рис. 5. Лабораторные тесты материала Groutmaster

вод. Материал является экологически безопасным для окружающей среды и здоровья людей. В отличие от цементных материалов стабилен и не имеет признаков водоотделения и усадки.

Рис. 7. Форма консолидированного массива



Кривая изменения вязкости от времени показана на рис. 4.

Groutmaster в виде гранулированного порошка

Для проведения испытания был взят контейнер объемом 1 м³, засыпанный песком с модулем крупности 2 мм и содержанием глинистых около 3%. Посередине данного куба установили трубу с возможностью вертикального хода. На поверхности контейнера сделали бетонную стяжку толщиной 10 см для предотвращения обратного тока вдоль оси трубы и выхода раствора на поверхность, первоначальное положение трубы – 50 см вниз от плоскости бетонной пробки. Тампонаж проходил в восходящем порядке с шагом 25 см и ограничением по объему тампонажа в каждой точке 31 литр, давление при этом не превышало 4 атм. Вскрытие происходило после 48 ч после тампониования. Для определения контура обработанного массива использовалась вода под напором, которая смывала неконсолидированные части песка.

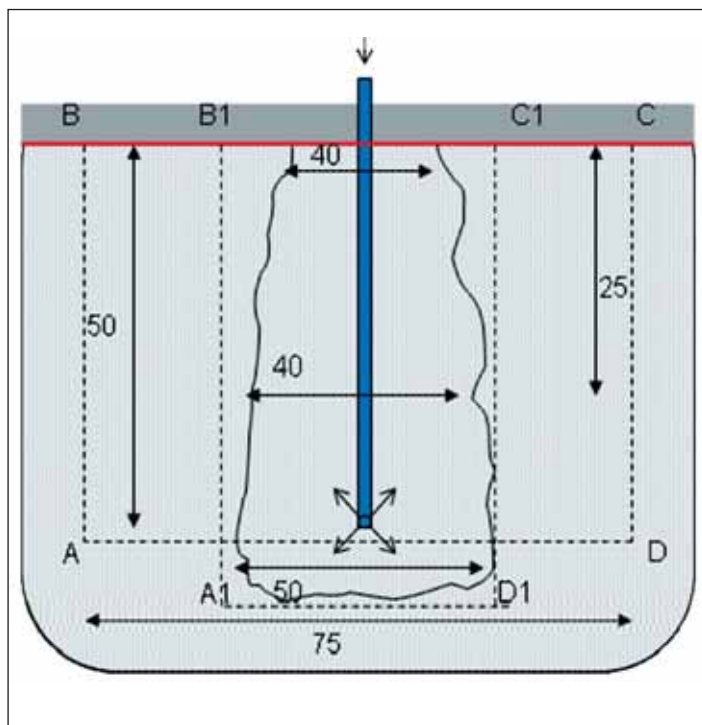


Рис. 6. Общая схема проведения теста

Форма консолидированного массива представлена на рис. 7.

Параметры нагнетания раствора

Объем закачанного материала – 72 л
 Объем закачанного материала на заходку в 25 см – 31 л
 Плотность раствора – 1,3 кг/л
 Подача насоса – 9,5 л/м
 Максимальное давление – 4 атм

Выводы

В ходе проведенных тестов тампонажного материала Groutmaster была доказана простота его изготовления и применения, а также возможность инъектирования грунта с проникающей способностью грунта до 10–5 см/с. В отличие от материалов-аналогов на рынке, Groutmaster не подвержен воздействию напорных грунтовых вод и не теряет свою прочность под их воздействием. Порошковая форма помогает избежать возможных проблем с транспортировкой и хранением материала, особенно в зимнее время, а также дает возможность изготовить материал непосредственно на строительной площадке.

Литература

1. Ultrafine Cement in Pressure Grouting, Raymond W. Henn, Nathan C. Soule. ASCE
2. Construction and Design of Cement grouting, A.C Houlsby, 1990
3. Grout Permiation theory, John Hismal Ground engineering September, p. 28–31
4. The mechanics of engineering soils, Fisher Cassie, 1965
5. Selecting the grouting intensity, Lombardi, The international journal on Hydropower and Dams, 1996, p. 62–66