

Афонский Игорь Владимирович

аспирант

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

г. Тула, Тульская область

ФАКТОРЫ И ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МАШИНЫ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА МЕТОДОМ ГСЦ

Аннотация: в статье выявлены основные параметры машины для закрепления дорожного полотна методом гидроструйной цементации (ГСЦ), описаны показатели эксплуатации оборудования. Приведена обобщенная эмпирическая зависимость для определения эффективности использования систем ГСЦ.

Ключевые слова: глубина закрепления, удельная энергоемкость, стендовая установка.

Принципиально, работы по гидроструйной цементации дорожного полотна (далее по тексту ГСЦ) могут проводиться при расположении струеформирующего устройства как непосредственно на поверхности грунта, так и некотором расстоянии от поверхности. Первая схема более предпочтительна с точки зрения увеличения эффективности воздействия на закрепляемый массив и уменьшения потерь водоцементного раствора на разбрызгивание при входе струи в грунт, поэтому к рассмотрению принимаем случай, когда струеформирующая насадка находится непосредственно на поверхности закрепляемого массива [1; 2].

Процесс ГСЦ, представленный на рис. 1, осуществляется следующим образом: в струеформирующее устройство (диаметром d_0 , коэффициентом расхода μ) производится подача водоцементного раствора (с плотностью ρ) под высоким давлением P . После этого осуществляется перемещение струеформирующего устройства со скоростью V по поверхности закрепляемого массива.

После затвердевания, формируется закрепленный массив треугольного сечения глубиной h и углом при вершине γ .

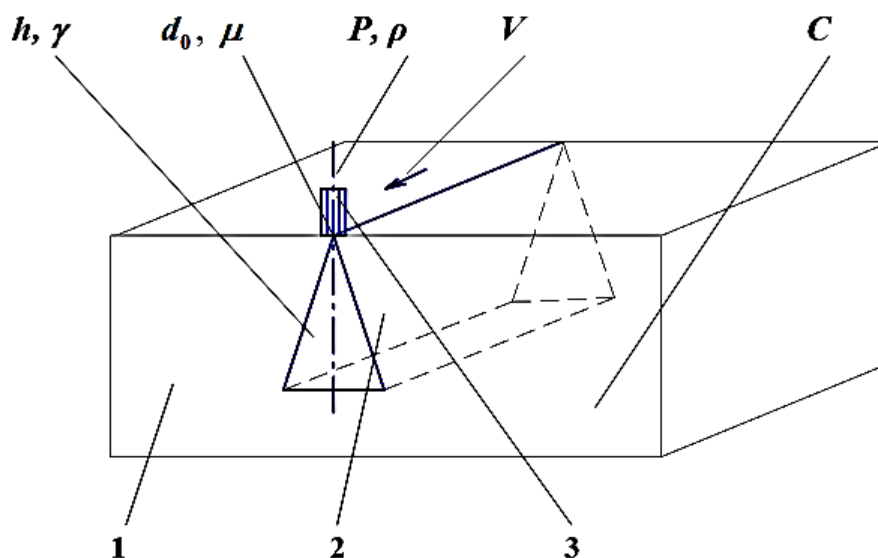


Рис. 1. Схема ГСЦ дорожного полотна: 1 – закрепляемое полотно; 2 – породобетон; 3 – струеформирующая насадка; h – глубина цементации, м; γ – угол при вершине породобетонного массива, град; d_0 – диаметр струеформирующей насадки, м; μ – коэффициент расхода через струеформирующую насадку; P – давление цементного раствора, МПа; ρ – плотность водоцементной суспензии, кг/м³; V – скорость перемещения струеформирующей насадки, м/с; C – коэффициент сцепления горной породы, Мпа

Все перечисленные факторы процесса ГСЦ можно разделить на следующие группы:

– конструктивные: коэффициент расхода водоцементной суспензии через струеформирующую насадку μ , диаметр отверстия струеформирующей насадки d_0 ;

– режимные: плотность водоцементной суспензии ρ , скорость перемещения инструмента V , давление водоцементной суспензии P ;

– физико-механические свойства горных пород (на основе анализа данных литературных источников в качестве критерия, характеризующего сопротивляемость грунтов гидроструйному воздействию принимаем C – коэффициент сцепления горной породы).

В качестве основных критериев оценки эффективности процесса ГСЦ горных пород были приняты следующие показатели: глубина закрепления h , скорость приращения объема закрепляемого массива G_0 (производительность) и удельная энергоемкость процесса ГСЦ грунтов E_0 .

Скорость приращения объема закрепляемого массива G_0 (м³/с) рассчитывалась как произведение скорости перемещения инструмента на площадь закрепляемого массива и определялась по формуле:

$$G_0 = Vh^2 \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}, \quad (1)$$

где h – глубина цементации, м; γ – угол при вершине закрепляемого массива, град.; V – скорость перемещения буровой колонны, м/с.

Удельная энергоемкость процесса ГСЦ горных пород E_0 (МДж/м³) определяется по формуле:

$$E_0 = \frac{N}{G_0}, \quad (2)$$

где N – потребляемая гидравлическая мощность насосной установки, МВт;

В свою очередь, потребляемая гидравлическая мощность определяется по формуле:

$$N = 1,11Pd_0^2 \mu \sqrt{\frac{P}{\rho}}, \quad (3)$$

где P – давление цементного раствора перед насадкой, МПа; d_0 – диаметр струеформирующей насадки, м; μ – коэффициент расхода через насадку (в нашем случае $\mu = 0,75$); g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ – плотность водоцементной суспензии, кг/м³ (в нашем случае $\rho = 2000$ кг/м³).

После подстановки постоянных величин и преобразования получим зависимость:

$$N = 0,019d_0^2 P^{1,5}. \quad (4)$$

Исследования процесса ГСЦ дорожного полотна является весьма сложной теоретической задачей. Взаимодействие суспензионной струи с массивом зависит от целого ряда случайных факторов, часть из которых просто невозможно учесть. Поэтому изучение процесса ГСЦ горных пород проводилось с применением экспериментально-статистического метода, предусматривающего проведение экспериментальных исследований с последующим графоаналитическим анализом опытных данных с применением методов теории вероятности и математической статистики.

Для проведения экспериментальных исследований по изучению влияния основных действующих факторов на показатели процесса ГСЦ грунтов, была разработана специальная установка.

Основные технические характеристики стендовой установки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики стендовой установки

№	Наименование характеристики	Значение
1	Давление водоцементной суспензии перед струеформирующей насадкой, МПа	до 60
2	Диаметр струеформирующей насадки, м	0,0020; 0,0025; 0,0030
3	Частота вращения поворотного стола, с ⁻¹	0–0,5
4	Скорость перемещения ГСЦ инструмента в радиальном направлении, м/с	0–0,0083
5	Мощность электродвигателя насосной установки, кВт	75
6	Суммарная мощность электродвигателей привода, кВт	10,5
7	Номинальное напряжение, В	380
8	Масса (без учета массы насосной установки и горной породы), кг	450

В качестве исследуемых образцов грунтов взяты грунты характерно встречающиеся при дорожном строительстве. Коэффициент сцепления грунтов, принятых к рассмотрению C , представлен в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициента сцепления исследуемых горных пород

Горная порода	Коэффициент сцепления C , МПа
Глина	0,064

Суглинок	0,045
Супесь	0,032
Гравий	0,023
Песок	0,006

Обработка массива экспериментальных данных [3], полученных на стендовой установке, методом множественной регрессии позволила получить обобщенную формулу для расчета диаметра закрепляемого массива:

$$h = 0,17 \frac{d_0^{1,2} P^{1,2}}{V^{0,4} C^{0,3}} \quad (5)$$

Индекс корреляции для данного выражения составил $R = 0,88$, критерий Фишера $F = 65,8$. Критическое значение критерия Фишера для зависимости (5) при 5% уровне значимости составляет $F_{0,05} = 5,03$, что подтверждает адекватность полученного выражения экспериментальным данным. Сопоставление по формуле (5) ($K_{\text{exp}} = 18,2\%$) показало удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных.

Список литературы

1. Бреннер В.А. Разработка оборудования для закрепления массивов неустойчивых горных пород методом гидроструйной цементации. Монография / В.А. Бреннер, К.А. Головин, А.Е. Пушкарев. – Тула, Изд-во ТулГУ, 2007. – 206 с.
2. О применении метода гидроструйной цементации пород в горном деле / К.А. Головин, А.Е. Пушкарев, Р.А. Ковалев // Горный журнал. – 2008. – №6. – С. 60–63.
3. К вопросу об усилении конструкции дорожного полотна / И.В. Афонский, Е.В. Белякова, Р.А. Ковалев // Научно-технический и производственный журнал «Транспортное строительство». – 2013. – №11. – С. 4–6.