

УДК 622.33:550.372

Д.И. Рудковский, С.М. Простов, А.В. Покатилов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ СИЛИКАТНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ОДНОСТАДИЙНОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ

Приведены результаты лабораторных исследований процессов гелеобразования силикатных растворов.

Ключевые слова: глинистые грунты, силикатные растворы, обработка грунтов, электрохимическое закрепление.

Семинар № 2

D.I. Rudkovskiy, S.M. Prostov, A.V. Pokatilov

THE STUDY ON THE GEL FORMATION OF THE SILICATE MUD FOR THE ONE-STAGE ELECTROCHEMICAL ENFORCEMENT

The laboratory results of the gel formation of the silicate muds are presented.

Key words: clayey soils, silicate muds, soil processing, electrochemical enforcement.

Для управления свойствами глинистых грунтов с коэффициентом фильтрации менее 10^{-6} м/с применяют электрохимическое закрепление (ЭХЗ), основанное на комбинированном применении электрического тока и химических растворов. Особенностью метода ЭХЗ является необратимое повышение механической прочности и водонепроницаемости грунта в результате его обработки постоянным электрическим током.

Для укрепления горных пород с повышенным содержанием глинистых частиц перспективно применять силикатные растворы, рецептуры которых содержат кремнефтористоводородные, силикатно-органические и лигносульфанохромовые компоненты. Силикатные растворы обладают большой проникающей способностью, которая обу-

словлена их низкой вязкостью, близкой к вязкости воды. Поэтому они применяются для закрепления грунтов с широким диапазоном фильтрационных свойств.

В работе [1] проводилось исследование влияния ЭХЗ на свойства глинистых грунтов. Использовался двухрастворный метод, в качестве укрепляющего раствора применялось "жидкое стекло" Na_2SiO_3 и хлористый кальций CaCl_2 . В результате опытов было доказано, что с ростом концентрации "жидкого стекла" в диапазоне плотностей $\gamma = 1,02-1,10$ г/см³ происходит уменьшение размера зоны электрохимического насыщения, а также получен оптимальный диапазон концентраций раствора $\text{Na}_2\text{SiO}_3 - \gamma = 1,04-1,08$ г/см³.

В связи с тем, что трудно добиться равномерного насыщения грунта крепителем и отвердителем, а, следовательно, и равномерного закрепления при двухрастворном методе, целесообразно использовать одnorазовые рецептуры, обеспечивающие более равномерную обработку грунтов и повышающие их устойчивость к воздействию агрессивных сред.

На основе силиката натрия разработано большое число рецептур инъекционных растворов [2] (табл. 1).

Таблица 1

Растворы на основе силиката натрия

Состав раствора	Плотность ρ , г/см ³	Объемное соотношение компонентов	Характеристики растворов		Прочность укреплен- ного грунта, МПа
			Время гелеобразо- вания T , ч	Вязкость $\mu \cdot 10^{-3}$ Па·с	
Сернокислый аммоний	1,06	1,0	1,0–16,0	2,0–3,0	0,5–0,4
Силикат натрия	1,19	3,9–4,2			
Силикат натрия	1,12	1,0	4,0–10,0	2,0–3,0	0,2–0,3
Фосфорная кислота	1,025	3,0–4,0			
Серная кислота	1,06	2,0–2,1			
Силикат натрия	1,15	3,5	0,5–2,0	< 2,2	0,15–0,2
Алюминит натрия	1,05	1,0			
Силикат натрия	1,04	1,0	0,5–15,0	1,2–7,5	0,2
Кремнефтористово- дородная кислота	1,037	0,12			
Силикат натрия	1,3	10,0	0,1–1,0	3,0–5,0	3,0–4,0
Кремнефтористово- дородная кислота	1,08–1,1	2,5–3,0			

Рецептура, использующая кремнефтористоводородную кислоту H_2SiF_6 , обеспечивает простоту контроля времени гелеобразования и применяется для повышения прочностных характеристик пород. Данная кислота получается при растворении SiF_4 в воде или фтористоводородной кислоте. Она является очень сильной, нетоксичной и ее применение наиболее экономично по сравнению с другими кислотами.

Контролируемыми параметрами при ЭХЗ являются радиус проникновения раствора, прочность закрепленного грунта, коэффициент фильтрации и ряд других физических параметров. На радиус проникновения большое влияние оказывает вязкость раствора: чем вязкость ниже, тем более полным будет проникновение в грунт. Конечная прочность массива зависит как от концентрации поступающего раствора, так и от продолжительности обработки электричеством. Таким образом, необходимо использовать раствор со временем гелеобразования, равным или близким продолжительности времени электрообработки грунта.

Данные, приведенные в табл. 1, являются недостаточно точными и имеют широкие диапазоны времени гелеобра-

зования. Для практического использования этих данных необходима проверка и подбор оптимального соотношения компонентов раствора. Ниже приведены результаты лабораторных исследований процессов гелеобразования силикатных растворов.

Для проведения опытов по определению раствора с оптимальной концентрацией компонентов использовались кремнефтористоводородная кислота с плотностью $\rho_k = 1,439$ г/см³ и "жидкое стекло" с плотностью $\rho_c = 1,465$ г/см³. Плотность жидкостей определялась ареометрами общего назначения типа А1 с градуировкой по нижнему краю мениска. Для получения необходимой плотности применялась дистиллированная вода при комнатной температуре. Контроль плотностей осуществлялся после размешивания компонентов с водой и перед смешиванием раствора "жидкого стекла" с раствором кислоты.

В экспериментах использовались следующие плотности растворов: $Na_2SiO_3 - \rho_c = 1,04; 1,06; 1,08$ г/см³; $H_2SiF_6 - \rho_k = 1,02; 1,03; 1,037; 1,045; 1,054$ г/см³. Использовались три объемных отношения объемов кислоты и "жидкого стекла" $V_k/V_c - 0,09; 0,10; 0,12$.

Таблица 2

Параметры статистической зависимости (1)

Плотность кислоты $\rho_k, \text{г/см}^3$	Плотность "жидкого стекла" $\rho_c, \text{г/см}^3$	Параметры уравнения				
		$T_0, \text{ч}$	K_1	R	t	$\square, \text{ч}$
1,03	1,04	32,39	31,49	0,99	10,88	1,37
	1,06	93,92	50,46	0,95	4,26	11,40
	1,08	102,52	33,36	0,98	6,74	6,72
1,037	1,04	35,37	93,21	0,99	8,15	3,45
	1,06	63,45	111,10	0,98	6,85	7,94
	1,08	80,77	74,16	1,00	1000	2,29
1,045	1,04	4,76	112,78	0,98	6,49	0,49
	1,06	14,10	108,45	0,93	3,51	4,13
	1,08	81,37	84,08	0,88	2,59	15,14
1,054	1,04	0,25	64,52	0,99	12,57	0,013
	1,06	1,48	64,31	1,00	1000	0,02
	1,08	5,46	98,77	0,99	12,10	0,34

Полученные экспериментальные зависимости в графической форме приведены на рис. 1.

Из графиков следует, что время гелеобразования T зависит от объемного соотношения кислоты и "жидкого стекла" V_k/V_c и их концентрации. При $\rho_k < 1,02 \text{ г/см}^3$ взаимодействия с Na_2SiO_3 при плотностях $\rho_c = 1,04; 1,06; 1,08 \text{ г/см}^3$ для приведенных соотношений V_k/V_c не зафиксировано. С увеличением относительного объемного отношения кислоты V_k/V_c время гелеобразования T снижается.

Для полученных графиков (рис. 1) в диапазоне $V_k/V_c = 0,09 \div 0,12$, при помощи компьютерной программы статистической обработки получено корреляционное уравнение

$$T = T_0 \exp \left\{ -K_1 \left[\frac{V_k}{V_c} - \left(\frac{V_k}{V_c} \right)_0 \right] \right\}, \quad (1)$$

где T_0, K_1 – постоянные; $\left(\frac{V_k}{V_c} \right)_0$ – начальное объемное отношение.

Результаты статистической обработки экспериментальных данных приведены в табл. 2. (R – корреляционное

отношение; t – критерий надежности оценки; δ – остаточное среднеквадратичное отклонение).

Величина T_0 монотонно изменяется при изменении плотностей компонентов ρ_k и ρ_c (рис. 2).

Из данных табл. 1 следует, что силикатно-кремнефтористоводородная рецептура обеспечивает достаточно высокую прочность укрепляемого грунта, при ЭХЗ за счет воздействия физических полей (электрического, теплового) конечная прочность дополнительно возрастет.

В реальных условиях при обработке массива возможно существенное влияние на интенсивность процессов гелеобразования дополнительных факторов. В частности, при протекании токов большой плотности при ЭХЗ происходит нагревание породы в приэлектродных областях. Кроме того, рассматриваемые физико-химические процессы зависят от качества применяемых компонентов, интенсивности их взаимной диффузии, усиливающейся при вибрационном воздействии на массив, и других факторов.

Изучено влияние температуры на изменение времени гелеобразования

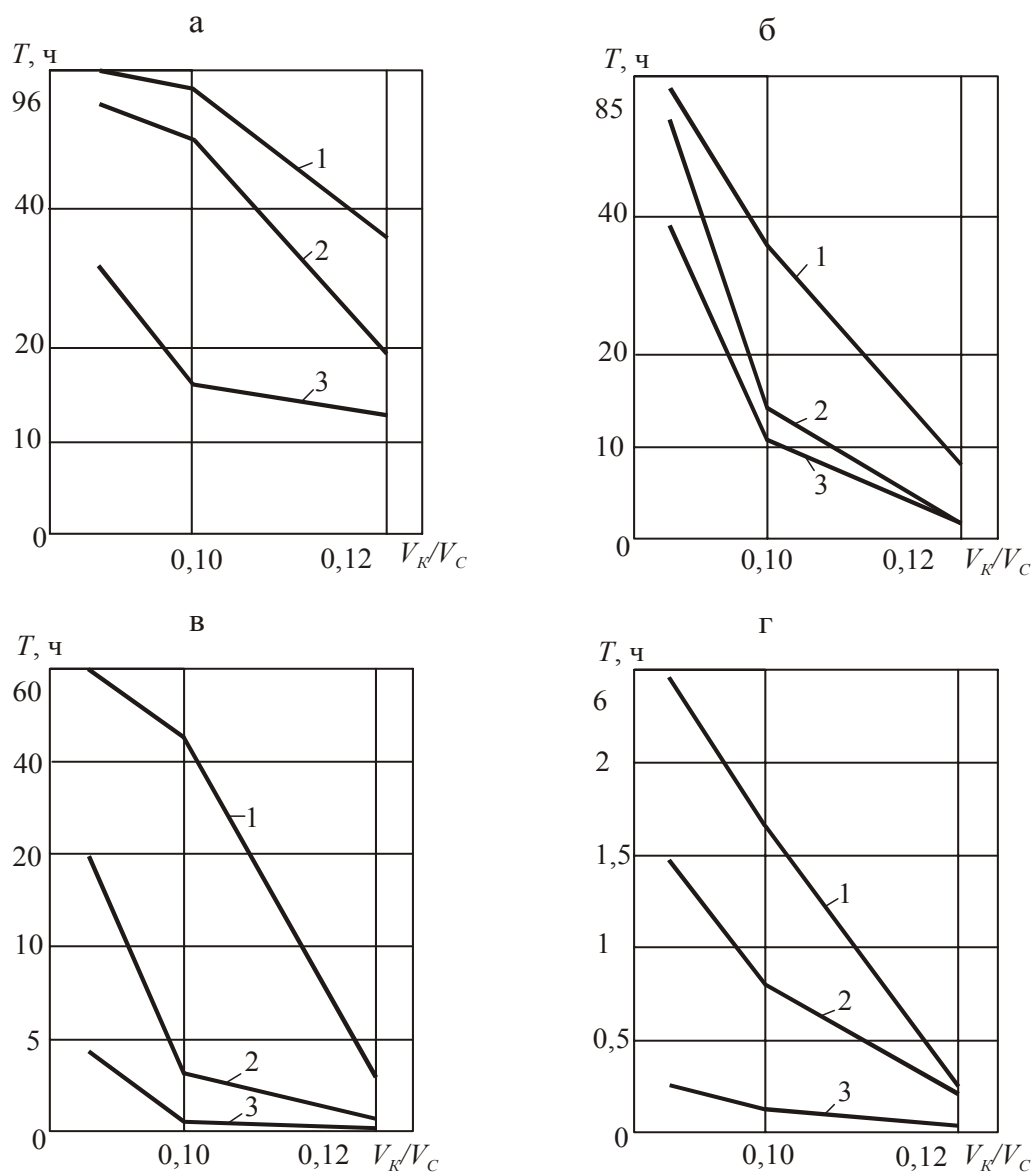
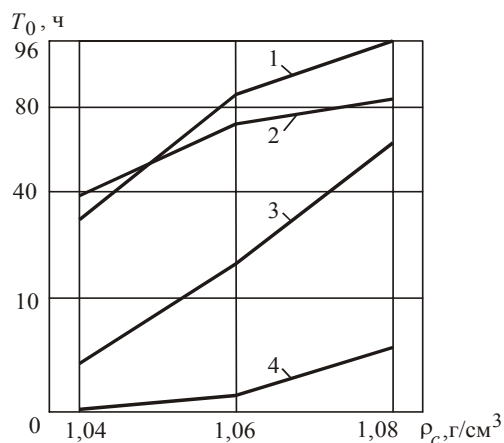


Рис. 1. Зависимость времени гелеобразования T от объемного соотношения компонентов раствора V_K/V_C , при плотности кислоты $\rho_K = 1,030 \text{ г/см}^3$ (а); $1,037 \text{ г/см}^3$ (б); $1,045 \text{ г/см}^3$ (в); $1,054 \text{ г/см}^3$ (г): 1 – плотность силиката натрия $\rho_C = 1,08 \text{ г/см}^3$; 2 – $1,06 \text{ г/см}^3$; 3 – $1,04 \text{ г/см}^3$

силикатных растворов. Для этого пробы растворов выдерживались в специальных сосудах с горячей водой при температуре $t^\circ = 25\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$. Полученная экспериментальная зависимость описывается уравнением

$$\frac{T}{T_0} = \exp[-K_2(t^\circ - t_0^\circ)], \quad (2)$$

где K_2 – постоянная; t_0° – начальная температура, град.



Числовые значения параметров статистической зависимости (2) для указанного диапазона температур:

Рис. 2. Зависимость начального времени гелеобразования T_0 от плотностей ρ_k и ρ_c компонентов укрепляющего раствора: 1 – $\rho_k = 1,030$ г/см³; 2 – 1,037 г/см³; 3 – 1,045 г/см³; 4 – 1,054 г/см³

t_0°	K_2	R	t	δ
25 °С	0,034 град ⁻¹	0,98	9,84	0,05 ч

Установленные закономерности и полученные эмпирические зависимости необходимы для обоснования оптимальных режимов технологии однорастворного ЭХЗ неустойчивых грунтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Покатилов, А.В.* Изучение влияния концентрации укрепляющего раствора на интенсивность процессов электрохимического закрепления грунтов / А. В. Покатилов, С. М. Простов // Строительство и эксплуатация угольных шахт и городских подземных сооружений: Материалы IV Россий-

ско-Китайского симпозиума. – Кемерово, 2006. – С. 238–244.

2. *Хямяляйнен, В.А.* Физико-химическое укрепление пород при сооружении выработок / В. А. Хямяляйнен, В. И. Митраков, П.С. Сыркин – М.: Недра, 1996. – 352 с.

ГЛАВ

Коротко об авторах

Рудковский Д.И. – ассистент,

Простов С.М. – доктор технических наук, профессор,

Покатилов А.В. – кандидат технических наук, доцент,

кафедра «Технология строительного производства» ГУ КузГТУ, nvi@kuzstu.ru

