Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVIII, вып. 1, 1969 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИНЪЕКЦИОННЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ЗАКЛАДКИ ОЧИСТНЫХ КАМЕР

Ю. Л. Минаев

В практике разработки месторождений полезных ископаемых имеется немало случаев применения комбинированных систем разработки с выемкой камерных запасов и оставлением временных целиков. При этом на месторождениях с относительно устойчивыми рудами и породами камеры отрабатывают, как правило, высокоэффективными системами с последующим заполнением выработанного пространства сухим закладочным материалом — скальной породой от проходки полевых выработок и вскрыши карьера. В оставляемых междукамерных и междуэтажных целиках часто остается до 50—60% общих запасов месторождения, которые извлекают трудоемкими и малопроизводительными системами (слоевого обрушения, со станковой крепью и закладкой и др.). В результате себестоимость добычи 1 *т* руды в целом по руднику оказывается высокой, а интенсивность отработки низкой.

Проблема повышения эффективности отработки междукамерных целиков может быть успешно решена при укреплении закладки в камерах цементными растворами. Одним из способов укрепления закладки является инъекционный способ, сущность которого сводится к заполнению пустот в закладочном материале цементно-песчаным раствором, который нагнетается в него через специально установленные инъекторы. Проникший в пустоты раствор уплотняет и укрепляет закладку, образуя монолитный массив.

Инъекционный способ цементации закладки предусматривает транспортировку растворов по трубам от растворосмесительного узла (или завода) до объекта бетонирования. Как показала практика, во время перекачивания растворы в большей или меньшей степени подвержены расслоению. Устойчивость растворных смесей в отношении расслоения зависит от тонкости помола цемента и соотношений воды и цемента ($В:Ц$), песка и цемента и воды и твердых составляющих.

Наряду с высокой устойчивостью против расслоения цементные растворы должны обладать хорошим проникновением в поры закладочного материала. Это свойство раствора, называемое подвижностью, нередко находится в противоречии с устойчивостью против расслоения. Как показывает опыт, наиболее подвижные растворы часто оказываются наименее устойчивыми против расслоения, а наиболее устойчивые плохо поддаются нагнетанию даже при значительных давлениях. Что касается марки раствора, то, как показывает практика рудников, ее достаточно иметь порядка 60—80 $кГ/см^2$.

Для успешного укрепления закладки инъекционным способом необходимо подобрать такие составы растворов, в которых перечисленные выше свойства были бы взаимно увязаны.

Для подбора инъекционных растворов, удовлетворяющих требованиям нагнетания их в закладочный материал, были исследованы растворы с соотношением цемента к песку 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3 и водо-твердым отношением от 0,2 до 0,5—0,8 ($В:Ц$ от 0,6 до 1,6—2). Наряду с чистыми цементно-песчаными растворами исследовались растворы с добавкой неорганического пластификатора — глины, которая, как известно, способствует сохранению однородности и стабильности растворов. При проведении исследований применялась порошкообразная жирная кембрийская глина. Ее химический состав следующий:

Компоненты	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	R_2O_2
Содержание, %	20,90	62,88	6,62	2,38	1,04

В качестве вяжущего применялся портланд-цемент Ленинградского завода им. Воровского, имевший во время проведения опытов марку 300 $кГ/см^2$. Инертным заполнителем служил «вольский» песок, удовлетворяющий требованиям ОСТ 6139—52, с объемным весом 1,58 $т/м^3$. При проведении исследований определялись расслаиваемость растворов, их подвижность и прочность полученного цементного камня.

Расслаиваемость растворов. Внешним признаком расслоения раствора служит отделение на его поверхности воды и потеря им однородности. Расслоение происходит вследствие седиментации частиц цемента и песка в поверхностном слое раствора. Объем отделившейся воды с течением времени увеличивается, пока процесс седиментации не завершится полностью.

Для успешного проведения работ по инъекционному бетонированию величина водоотделения не должна превышать заданного предела. Так, по данным доктора техн. наук И. А. Савримовича, для подводного бетонирования способом восходящего раствора расслаиваемость не должна превышать 2,5% *. При нагнетании инъекционных цементных растворов в каналы предварительно напряженных железобетонных конструкций величина водоотделения должна быть не более 2,0% **. По нашим опытным данным, водоотделение при инъекционном укреплении закладки не должно превышать 2,5%.

Во время исследований определение водоотделения производилось в стеклянных мерных цилиндрах объемом 250 $см^3$. Наблюдение за водоотделением продолжалось до полного выпадения твердых частиц в осадок, что отмечалось прекращением увеличения объема отделившейся воды. Скорость водоотделения определялась путем измерения объема воды, отделившейся с течением времени из раствора. Расслаиваемость подсчитывалась как отношение объема отделившейся воды к первоначальному объему раствора

$$\Delta V = \frac{V_1}{V} \cdot 100, \ \%,$$

где V — первоначальный объем раствора, $см^3$; V_1 — объем отделившейся воды, $см^3$.

Исследования проводились как с чистыми цементно-песчаными растворами, так и с добавкой глины 5—15, а в некоторых растворах до 40% от веса цемента. Результаты проведенных исследований представлены на рис. 1, 2, 3. Кривые водоотделения растворов показывают, что глина оказывает стабилизирующее действие, выражающееся в уменьшении скорости вы-

---

* Технические условия на производство подводных бетонных работ. Госэнергоиздат, 1953.

** Указания по приготовлению и применению строительных растворов, СН 290-64. М., 1965.

падения осадка и объема отделившейся воды. С увеличением количества глины это влияние возрастает. Из всех исследованных растворов фактору стабильности удовлетворяют только те растворы, которые находятся в пределах заштрихованной зоны на рис. 1—3.

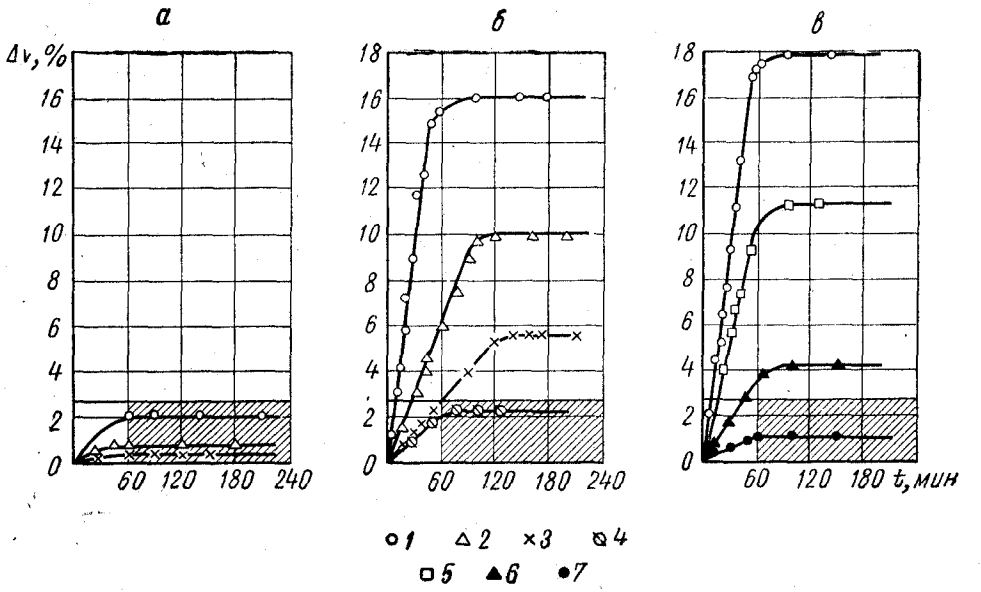


Рис. 1. Влияние глины на водоотделение в инъекционном растворе состава $Ц : П = 1 : 1$

$В : Т$ ($В : Ц$): *а* — 0,3(0,6); *б* — 0,5(1,0); *в* — 0,8(1,6)
Добавки глины, %: *1* — нет; *2* — 5; *3* — 10; *4* — 15; *5* — 20; *6* — 25; *7* — 30

Подвижность растворов. Подвижность раствора определялась по осадке стандартного конуса СтройЦНИЛ в соответствии с ГОСТ 5802—66. Для хорошего проникновения раствора в пустоты закладочного материала желательно иметь большую подвижность раствора. В соответствии с Указаниями по приготовлению и применению строительных растворов СН 290-64 [1965] их подвижность при заливке пустот в обычной бутовой кладке должна быть в пределах 13—15 *см* по осадке конуса СтройЦНИЛ.

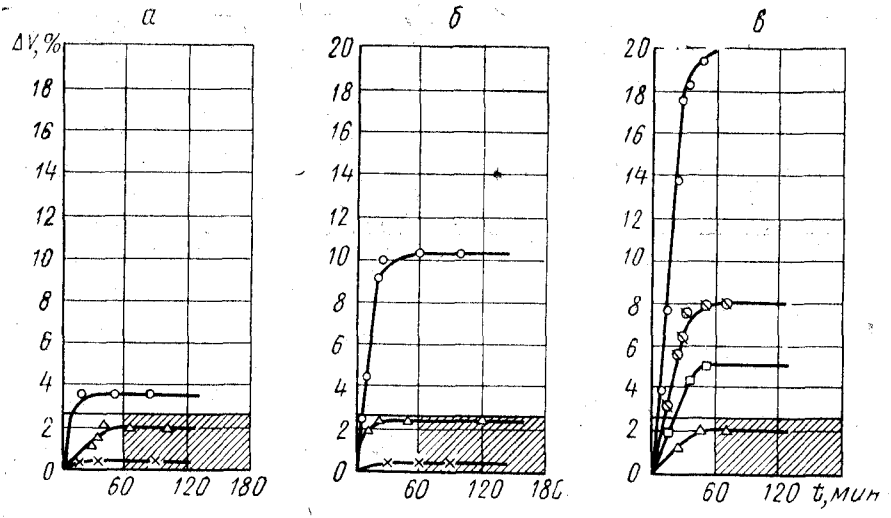


Рис. 2. Влияние глины на водоотделение в инъекционном растворе состава $Ц : П = 1 : 2$

$В : Т$ ($В : Ц$): *а* — 0,25 (0,75); *б* — 0,3 (0,9); *в* — 0,5 (1,5)

Условные обозначения см. на рис. 1

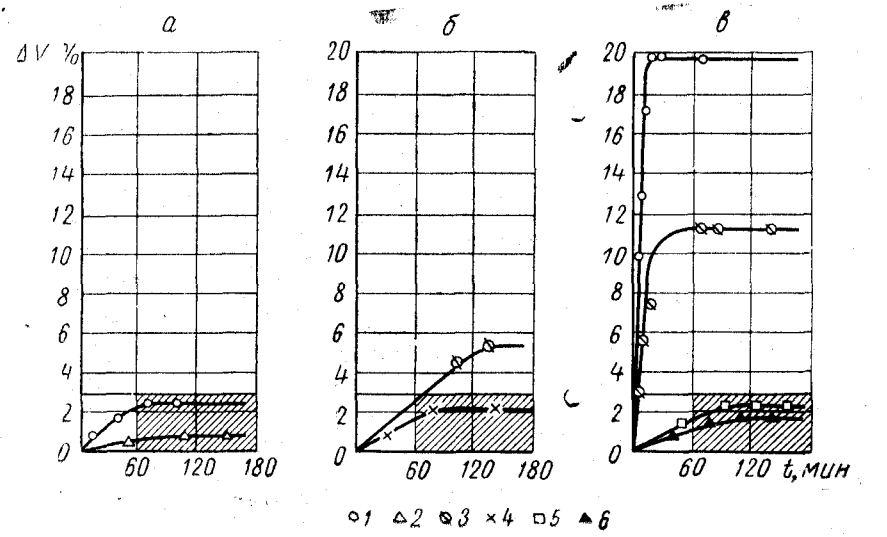


Рис. 3. Влияние глины на водоотделение в инъекционном растворе состава $Ц : П = 1 : 3$

$В : Т$ ($В : Ц$): *а* — 0,2 (0,8); *б* — 0,3 (1,2); *в* — 0,5 (2,0)

Добавки глины, %: *1* — нет; *2* — 5; *3* — 10; *4* — 15; *5* — 35; *6* — 40

Результаты исследования подвижности цементно-песчаных растворов

Группа раствора	Характеристика раствора				Объемный вес, *г/см³*	Подвижность по осадке конуса СтройЦНИЛ, *см*
	Ц : П	*В : Ц*	*В : Т*	добавка глины, %		
1	1 : 1	0,6	0,3	—	1,975	14*
				5	1,980	14*
				10	1,985	13,5*
				15	1,985	—
2	1 : 1	1,0	0,5	—	1,75	>15
				5	—	>15
				10	1,755	14,5
				15	1,765	14*
3	1 : 1	1,6	0,8	—	1,585	>15
				20	1,590	>15
				25	1,595	>15
				30	1,595	15*
4	1 : 2	0,75	0,25	—	—	13,5
				5	—	13*
				10	—	12
				15	—	12
5	1 : 2	0,9	0,3	—	—	15
				5	1,985	14,5*
				10	1,990	14
				15	1,995	14*
6	1 : 2	1,5	0,5	—	1,700	>15
				15	1,756	>15
				20	1,760	>15
				25	1,760	15*
7	1 : 3	0,8	0,2	—	2,12	15*
				5	2,17	14*
				10	2,19	13,5*
				15	—	12,5
8	1 : 3	1,2	0,3	—	1,940	>15
				10	1,945	15
				15	1,950	14*
9	1 : 3	2,0	0,5	—	—	>15
				10	1,60	>15
				25	1,70	>15
				30	1,77	15
				35	1,826	15*
				40	1,92	14*

По аналогии с Указаниями и на основании исследований, проведенных в производственных условиях, подвижность инъекционного раствора для укрепления закладочного материала очистных камер должна находиться в пределах 13—15 *см*.

Нами было исследовано 9 групп растворов. Результаты проведенных исследований представлены в таблице. На основании этих исследований установлено, что подвижность цементно-песчаных растворов с повышением водо-твердого (водо-цементного) отношения возрастает, а с увеличением добавки глины снижается. Растворы, удовлетворяющие фактору стабильности и подвижности, в таблице отмечены звездочкой.

Прочность цементного камня. Для определения прочностных характеристик растворов различного состава изготовлялись кубики размером 5×5×5 *см*. Испытания проводились в 14- и 28-дневном возрасте. По мере заполнения форм раствором проводилось его штыкование стальным стержнем. Через 24±2 *ч* после укладки растворной смеси образцы вынимались из форм и хранились в мокрых опилках при температуре 18±5° С до момента испытания.

Исследования показали, что прочность цементно-песчаных образцов с добавкой глины уменьшается в среднем на 2% на каждый процент добавки глины. В результате проведенных исследований установлено, что фактору стабильности, подвижности и необходимой прочности удовлетворяют следующие растворы:

Ц:*П*	*В*:*Ц*	(*В*:*Т*)	Добавка глины, % от веса цемента
1:2	0,75	(0,25)	1—3
1:2	0,9	(0,3)	5—6
1:3	0,8	(0.2)	1—3

Проведенные исследования позволяют рекомендовать следующую методику подбора растворов заданной прочности для инъекционного способа укрепления закладочного материала.

1. Определяют необходимое количество цемента на 1 $м^3$ песка для получения заданной прочности раствора:

$$Q_{ц} = \frac{R_{р}}{0{,}7\,R_{ц}} \cdot 1000,$$

где $R_{р}$ — необходимая прочность раствора; $R_{ц}$ — марка цемента; $Q_{ц}$ — количество цемента на 1 $м^3$ песка, *кг*.

2. Находят оптимальное водо-цементное отношение для получения заданной прочности раствора:

$$B:Ц=\frac{0{,}4\,\frac{R_ц}{R_р}}{1+0{,}2\,\frac{R_ц}{R_р}}.$$

3. Зная весовые соотношения частей раствора, приготовляют его в небольшом количестве (3 *л*) и определяют подвижность по осадке конуса СтройЦНИЛ.

4. Если приготовленный раствор не удовлетворяет фактору подвижности, то к нему добавляют воду до получения необходимой подвижности.

5. Раствор, удовлетворяющий требованию подвижности, проверяют на водоотделение.

6. Если величина водоотделения превышает 2,5%, то добавляют глину в количестве, определяемом по рис. 1, 2 и 3.

7. С учетом нового водо-цементного отношения и величины добавки глины уточняют прочность раствора и, если необходимо, корректируют ее добавкой цемента.

Выводы

1. Для укрепления сухой крупнопористой закладки инъекционным способом рекомендуются цементно-песчаные растворы с соотношением цемента к песку 1 : 2 и 1 : 3, водоцементным отношением 0,75—0,9 (водо-твердым отношением 0,2—0,3) и добавкой глины 1—6%.

2. При подборе инъекционных растворов следует пользоваться приведенной выше методикой.