

УДК 66.067  
ББК 628.16.065.2

**ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ШАХТНОЙ  
ВОДЫ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ СМЕШАННЫХ  
КОАГУЛЯНТОВ**

*Амирзода Ориф Хамид - кандидат технических наук, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии. 734042, Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни 14а, e-mail: orif2000@mail.ru*

*Ходжиев Саидмуқбил Қосимович - кандидат технических наук, заведующий лабораторией анализа воды Горно-металлургического института Таджикистана. 735730, Таджикистан, г. Бустон, ул. А. Баротова 6, e-mail: saidmukbil@mail.ru*

*Давлатов Давлатмахмад Сангинович - начальник центра регистрации и тестирования Горно-металлургического института Таджикистана, 735730, Таджикистан, г. Бустон, ул. А. Баротова 6, e-mail: davlat-ds@mail.ru*

**ПАРАМЕТРҶОИ МУНОСИБИ  
РАВАНДИ ТОЗАКУНИИ ОБИ ШАХТА  
АЗ МЕТАЛЛҶОИ ВАЗНИН БО  
ИСТИФОДАБАРИИ КОАГУЛЯНТҶОИ  
ОМЕХТА**

*Амирзода Ориф Ҳамид - номзади илмҳои техники, директори Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология. Тоҷикистон, ш. Душанбе, куч. Айни 14а, e-mail: orif2000@mail.ru*

*Ҳоҷиев Саидмуқбил Қосимович - номзади илмҳои техники, мудири озмоишгоҳи таҳлили оби Донишқадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон., 735730, Тоҷикистон, ш. Бӯстон, куч. А. Баротов 6, e-mail: e-mail: saidmukbil@mail.ru*

*Давлатов Давлатмахмад Сангинович - сардори маркази бақайдгирӣ ва тести Донишқадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон, 735730, Тоҷикистон, ш. Бӯстон, куч. А. Баротов 6, e-mail: davlat-ds@mail.ru*

**OPTIMAL PARAMETERS OF THE MINE  
WATER PURIFICATION PROCESS  
FROM HEAVY METALS USING MIXED  
COAGULANTS**

*Amirzoda Orif Khamid - Candidate of Technical Sciences, Director of Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, e-mail: orif2000@mail.ru*

*Hojiev Saidmukbil Kosimovich - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory Water Analysis Mining - Metallurgical Institute of Tajikistan. 735730, Republic of Tajikistan, Buston city, St. A. Barotova 6, e-mail: saidmukbil@mail.ru*

*Davlatov Davlatmahmad Sanginovich - Head of Testing and Registration Center of Mining-Metallurgical Institute of Tajikistan. 735730, Republic of Tajikistan, Buston city, St. A. Barotova 6, e-mail: davlat-ds@mail.ru*

**Ключевые слова:** шахтная вода, коагуляция, смешанные коагулянты, влияющие факторы, тяжелые металлы, принципиальная технологическая схема.

В статье приведены результаты исследования коагуляционного метода очистки воды шахты «Восточная». Используются смешанные коагулянты на основе соединений железа и алюминия для очистки воды. Показаны оптимальные параметры процесса коагуляции воды и разработана принципиальная технологическая схема очистки воды шахты «Восточная».

**Вожаҳои калидӣ:** оби шахта, коагулятсия, коагулянтҳои омехта, омилҳои таъсиррасон, металлҳои вазнин, нақшаи принсипиалии технология.

Дар мақола натиҷаҳои таҳқиқот бо усули коагулясионӣ тозакунии оби шахтаи «Восточная» оварда шудаанд. Коагулянтҳои омехтаи дар асоси намакҳои оҳан ва алюминий барои тозакунии об истифода бурда шуданд. Параметрҳои муносиби раванди коагулятсияи об ва қор қада баромадани нақшаи принсипиалии технологияи тозакунии оби шахтаи «Восточная» нишон дода шудаанд.

**Key words:** mine water, coagulation, mixed coagulants, influencing factors, heavy metals, basic technological scheme.

*The article presents the results of the study of the coagulation method of water purification of the Vostochnaya mine. Mixed coagulants based on iron and aluminum compounds were used for water purification. The optimal parameters of the water coagulation process are shown and a basic technological scheme for water treatment at the Vostochnaya mine is developed.*

В работах [1, 2] приведены подробные сведения о физико-химическом составе воды шахты «Восточная». Они показывают, что почти все параметры вод данного объекта превышают ПДК для питьевой воды [3].

Также в работах [4-6] приведены подробные сведения об очистке воды шахты «Восточная» от тяжелых металлов.

Из результатов проведённого сравнения можно заключить, что при дозе смешанного коагулянта 100 мг/л, количестве замутнителя 100 мг/л, температуре 30°C и продолжительности процесса 60 минут наиболее предпочтительным смешанным коагулянтом является коагулянт на основе хлоридов железа и алюминия в соотношении 2:1. Отмечено, что с увеличением дозы хлорида железа в составе смешанного коагулянта с 33 до 67 мг/л степень очистки воды от тяжелых металлов возрастает почти на 11%. При этих условиях степень очистки воды становится достаточно высокой для того, чтобы результирующий фильтрат удовлетворял санитарным нормам для питьевой воды. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Также было изучено влияние температуры на степень очистки воды от ТМ при температурах 5-30°C. Для проведения опытов по разным температурам брались дозы смешанных коагулянтов 100 мг/л, по 100 мг/л замутнителя, продолжительность процесса составляла 60 минут. Как видно из табличных данных (табл. 2), наибольшая степень очистки воды от ТМ получается с применением хлоридов железа и алюминия при температуре 30°C. При оптимальных условиях без замутнителя степень очистки воды от ТМ со смешанным коагулянтом из хлоридов железа и алюминия составила от 53,1% до 64,6%.

На основе вышеприведенных оптимальных условий была разработана принципиальная технологическая схема по очистке воды шахты «Восточная» от тяжелых металлов (рис. 1). Она состоит из следующих стадий:

На первой стадии подготавливаются рабочие растворы реагентов для приготовления смешанного коагулянта. Для каждого реагента (хлорид железа и хлорид алюминия) подготавливается 10%-ный раствор в дистиллированной воде, которая предварительно трижды отфильтрована через фильтры с порами диаметром 0,2 мкм до достижения нулевой мутности.

На второй стадии при помощи дозатора отбираются дозы реагентов для приготовления смешанного коагулянта, которые составляют 67 мг/л и 33 мг/л (для хлорида железа и хлорида алюминия соответственно), т.е. в соотношении 2:1.

На третьей стадии в подготовленный к очистке объем шахтной воды добавляется отмеренная доза смешанного коагулянта, и затем происходит быстрое перемешивание результирующего раствора. В процессе перемешивания к рабочему раствору постепенно добавляется необходимая доза замутнителя (белая глина в количестве 100 мг/л). Быстрое перемешивание происходит при следующих условиях: температура среды – 30°C; время перемешивания – 1 мин; рН среды – 6-6.5; скорость перемешивания – 400 об/мин.

На четвертой стадии происходит медленное перемешивание рабочего раствора в течении 59 минут со скоростью 75 об/мин.

На пятой стадии происходит седиментация (отстаивание) раствора в течении 10 мин.

На шестой стадии раствор с получившимся осадком, в который были коагулированы примеси очищаемой воды, проходит через фильтр с диаметром пор 0,45 мкм, разделяющим очищенную воду и осажденные загрязняющие вещества.

Таким образом, можно заключить, что наиболее оптимальными условиями для очистки воды шахты «Восточная» от ТМ являются: смешанный коагулянт на основе хлоридов железа и алюминия в соотношении 2:1 (100 мг/л); температура 30°C; pH=6-6,5; 60 минут продолжительности процесса, 100 мг/л белой глины в качестве замутнителя. При этих условиях степень очистки воды становится достаточно высокой для того, чтобы результирующий фильтр удовлетворял санитарным нормам для питьевой воды.

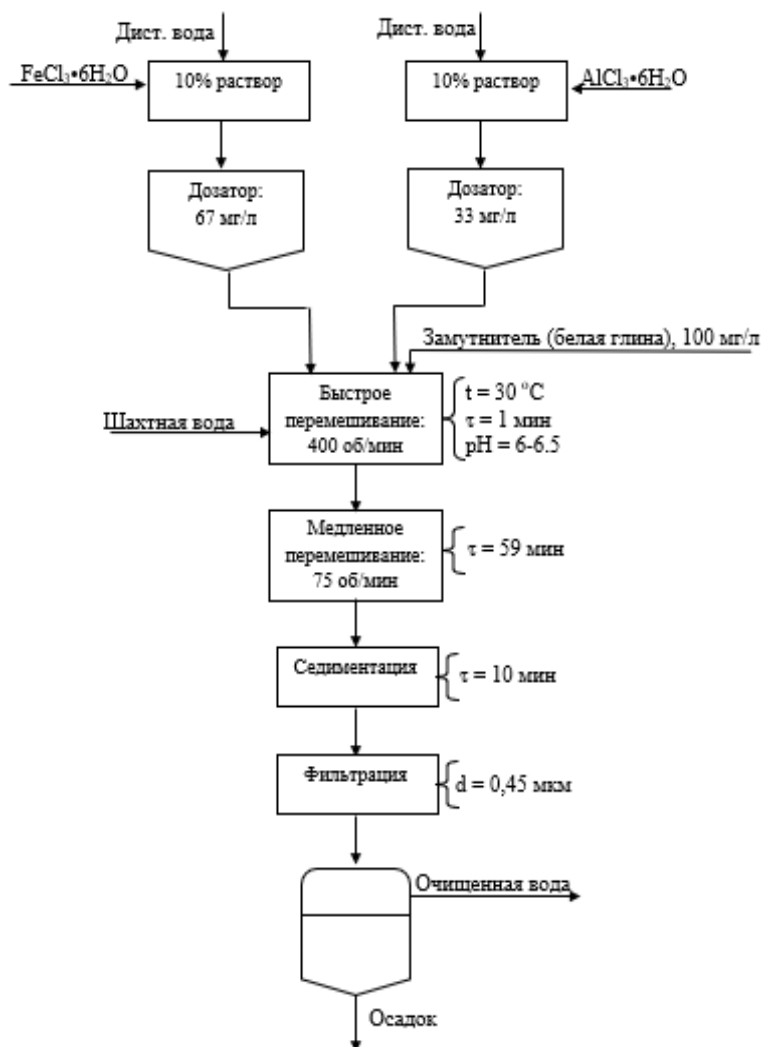


Рисунок 1. Принципиальная технологическая схема по очистке воды шахты «Восточная» от тяжелых металлов.

Таблица 1  
Зависимости степени очистки воды от концентрации смешанных коагулянтов (100 мг/л) при продолжительности процесса коагуляции 60 минут и количестве замутнителя 100 мг/л

№ п/п	Определяемые элементы	Содержание тяжелых металлов в исходной пробе мг/л	Соотношение коагулянтов	$FeCl_3 + Al_2(SO_4)_3$	$FeCl_3 + F_2(SO_4)_3$	$FeCl_3 + AlCl_3$
				Степень очистки		
				%		
1	Pb	0,6341	1:2	65,7	72,47	81,19
2			1:1	77,43	79,41	87,69
3			2:1	84,2	85,41	95,69
4	As	0,4387	1:2	68,9	76	85,14
5			1:1	79	80,14	90,62
6			2:1	81,7	87,14	97,62

7	Zn	0,5465	1:2	68,7	81,3	91,08
8			1:1	78,4	76,48	94,88
9			2:1	85,3	86,48	98,88
10	Cu	1,3762	1:2	66,45	73,3	82,12
11			1:1	83,2	75,75	86,46
12			2:1	86,4	80,75	90,96
13	Ni	0,3107	1:2	67	73,91	82,8
14			1:1	79,6	83,81	93,37
15			2:1	84,5	87,81	98,37
16	Mn	2,37	1:2	51	78,32	87,74
17			1:1	74,5	79,18	89,07
18			2:1	80	82,18	99,07

Таблица 2

Зависимость степени очистки воды от температуры при дозах смешанных коагулянтов 100 мг/л (2:1), количестве замутнителя 100 мг/л и продолжительности процесса 60 минут

№ п/п	Определяемые элементы	Содержание ТМ в исходной пробе мг/л	Температура °С	$FeCl_3 + Al_2(SO_4)_3$	$FeCl_3 + F_2(SO_4)_3$	$FeCl_3 + AlCl_3$
				Степень очистки %		
1	Pb	0,6341	5	36,3	40,7	43,55
2			10	54,6	58,4	78,34
3			15	66,4	69,31	83,31
4			20	75	78	87,98
5			25	80	82,5	91,2
6			30	84,2	85,41	95,69
7	As	0,4387	5	40,4	46,8	48,68
8			10	55,6	59	76
9			15	67	68,07	86,07
10			20	71,5	74,8	94,8
11			25	78,46	83,93	96,93
12			30	81,7	87,14	97,62
13	Zn	0,5465	5	30,6	35,9	33,82
14			10	52,5	55,8	66,86
15			15	70	73	78,43
16			20	77,2	79,5	89,36
17			25	81,3	83,7	93,55
18			30	85,3	86,48	98,88
19	Cu	1,3762	5	28,8	33,02	33,02
20			10	44,3	61,27	61,27
21			15	52,5	70,53	70,53
22			20	68,6	73,65	80,03
23			25	74,5	77,5	87,51
24			30	86,4	80,75	90,96
25	Ni	0,3107	5	40	42,72	42,72
26			10	55,6	64,5	71,55
27			15	66,2	74,11	83,11
28			20	74,1	81,71	89,71
29			25	79,3	84,68	92,68
30			30	84,5	87,81	98,37

31	Mn	2,37	5	33	37,64	37,64
32			10	50,5	61,54	72,54
33			15	60	68,4	86,99
34			20	71,4	74	93,9
35			25	76,1	78	97,97
36			30	80	82,18	99,07

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атомно-абсорбционный метод определения содержания тяжелых металлов в шахтных водах / Ходжиев С.К., Кобулиев З.В., Амирзода О.Х., Ашуров Х.Ё., Давлатов Д.С. // Мачмӯи корҳои конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ Бӯстон, 15 ноябри соли 2020. –С.30-32.
2. Фотометрический метод определения физико-химических показателей шахтных вод / Ходжиев С.К., Кобулиев З.В., Амирзода О.Х., Ашуров Х.Ё., Давлатов Д.С. // Мачмӯи корҳои конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ Бӯстон, 15 ноябри соли 2020. –С.32-33.
3. СанПиН 2.1.4.004-07. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения.
4. Смешанные коагулянты для очистки шахтной воды от свинца и меди методом коагуляции. Д.С. Давлатов, С.К. Ходжиев, Х.Ё. Ашуров. Вестник педагогического университета. –Душанбе 2020. -№1-2 (5-6). –С.138-141.
5. Влияние дозы смешанного коагулянта и замутнителя на степень очистки воды от никеля и марганца методом коагуляции. Д.С. Давлатов, С.К. Ходжиев, Х.Ё. Ашуров Вестник педагогического университета. –Душанбе 2020. -№1-2 (5-6). –С.132-135.
6. Очистки воды шахты «Восточная» от мышьяка и цинка методом коагуляции. С.К. Ходжиев, Д.С. Давлатов. Конференсияи илмӣ-амалӣ «Олудашаваии умумии об ва роҳҳои тозакунии он» Бахшида ба сеюмин солгарди «Об барои рушди устувор 2018-2028». –С.59-61.

## LITERATURE

1. Atomic absorption method of determining heavy metals content in mine water / Hojiev S.K., Kobuliev Z.V., Amirzoda O.Kh., Ashurov Kh.Y., Davlatov D.S. // Materials of the Republic science and practice conference held in Buston, November 15, 2020. –P.30-32.
2. Photometric method of determining physical and chemical parameters of mine water / Hojiev S.K., Kobuliev Z.V., Amirzoda O.Kh., Ashurov Kh.Y., Davlatov D.S. // Materials of the Republic science and practice conference held in Buston, November 15, 2020. –P.32-33.
3. СанПиН 2.1.4.004-07 (Sanitary norms). Drinking water. Hygiene requirements for water quality in centralized systems of drinking water supply.
4. Mixed coagulants for the purification of mine water from lead and copper by the coagulation method. D.S. Davlatov, S.K. Hojiev, Kh.Y. Ashurov. Herald of the Pedagogical University. –Dushanbe 2020. -№1-2 (5-6). –P.138-141.
5. Effect of coagulant dose of mixed emulsions and turbidizer on the degree of water purification from nickel and manganese by coagulation. D.S. Davlatov, S.K. Hojiev, Kh.Y. Ashurov. Herald of the Pedagogical University. –Dushanbe 2020. – №1-2 (5-6). –P.132-135.
6. Purification of “Vostochnaya” mine water of arsenic and zinc using coagulation method. S.K. Hojiev, D.S. Davlatov. Science and practice conference “General pollution and its prevention methods” dedicated to the third anniversary of “Water for stable development 2018-2028”. –P.59-61.