

P-183106

М. П. СЕРГЕЕВ и С. Л. БОРОК

**ПРИМЕНЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОГО
КОАГУЛЯНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ
НА ВОДОПРОВОДНЫХ СТАНЦИЯХ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАРКОМХОЗА РСФСР
МОСКВА 1944 ЛЕНИНГРАД

О Г Л А В Л Е Н И Е

	<i>Стр.</i>
1. Введение	3
2. Производство железного коагулянта	3
3. Химические и технологические свойства железного коагулянта	5
4. Растворимость коагулянта и его коррозирующие свойства	6
5. Применение железного коагулянта для очистки воды	9
а) Очистка воды железным коагулянтом с жидким хлором	10
б) Очистка воды железным коагулянтом с хлорной известью	11
в) Очистка воды железным коагулянтом при предварительной аэрации раствора	12
г) Очистка железным коагулянтом воды, предварительно аэрированной	13
д) Очистка воды хлорированным раствором железного коагулянта	13
е) Очистка воды железным коагулянтом с добавкой извести	14
6. Работа очистных сооружений при пользовании железным коагулянтом	17
7. Стоимость обработки воды железным коагулянтом	18
8. Контроль процесса коагулирования воды железным коагулянтом	19
9. Заключение	21
Приложение. Инструкция об определении дозы железного коагулянта сульфосалициловым методом	22

Н. П. Ермолов

Л77358	Подписано к печати 23, IX 1944 г.	Тираж 5000 экз.
Печ. л. 1½. Уч.-изд. 1,93 л. Зп. в 1 печ. листе 51460		Заказ 968

Типография ГВИЗ МВО «Красный Воин». Всеволожский пер., 2.

1. ВВЕДЕНИЕ

Улучшение физико-химических качеств воды на городских водопроводах СССР до последнего времени достигалось преимущественно коагулянтами «Мутта» — сернокислый глинозем — как очищенным, так в неочищенном.

Основным сырьем для производства сернокислого глинозема служил каолин, добываемый на Украине.

Недостаток глинозема и необходимость очистки воды в связи со специфическими загрязнениями водоемов промышленными водами неоднократно выдвигали вопрос об изыскании и освоении новых видов коагулянтов.

В США за последнее десятилетие на отдельных водопроводах широкое применение получили железные коагулянты в виде закисных или окисных солей железа.

Применение на водопроводах СССР железных коагулянтов затруднялось из-за огромных расходов хлора (жидкого или хлорной извести) при коагулировании воды закисными солями железа (железный купорос) и отсутствием заводского производства коагулянта в виде окисных солей железа (железный коагулянт). Кроме того, вопрос о коагулировании воды этими солями не был изучен на практике.

Условия, вызванные Отечественной войной, настоятельно потребовали изыскания новых видов коагулянтов и разработки технологии их производства для очистки воды.

Таковыми коагулянтами, примененными для очистки воды на Московском водопроводе, служат: зольный коагулянт, зольно-железный и железный коагулянт.

В настоящей брошюре излагается применение для очистки воды железного коагулянта марки ЖК производства Воскресенского химкомбината в различных соединениях: с хлором, хлорной известью, аэрацией воды и раствором и добавкой извести.

2. ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗНОГО КОАГУЛЯНТА

Железный коагулянт (сернокислая окись железа) изготавливают из отходов производства сернокислотных заводов, работающих на колчедане.

Отходы эти носят техническое название «колчеданных» или «маритовых» огарков. Для получения железного коагулянта используют аппаратуру и оборудование суперфосфатных заводов.

В этом случае технологический процесс заключается в следующем: в котел Лоренса, оборудованный механическим перемешивателем, загружают огарок и заливают его серной кислотой.

Кислоту (башенную) высокой концентрации (85—92 %) перед употреблением разбавляют водой до 65—75 % состава.

При разбавлении крепкой кислоты водой температура массы повышается до кипения (до 130—150°), за счет теплоты гидратации кислоты и теплоты реакции с огарком. Других источников тепла не требуется.

Тщательно перемешанная полужидкая масса выбрасывается той же мешалкой через специальный люк из котла Лоренса каждые 5—7 мин. в вагон-зрельник. Вагон-зрельник служит для дозревания коагулянта в продолжение не менее 12 час. Котел Лоренса загружают огарком и кислотой механическим путем. Средняя производительность котла за одну операцию 100 кг коагулянта. На тонну коагулянта расходуется до 500 кг огарка и от 400 до 500 кг серной кислоты по расчету на моногидрат.

В итоге получают твердую монолитную массу, которая содержит до 6 % свободной серной кислоты, до 30 % нерастворимого остатка и до 20 % воднорастворимых окислов железа.

При производстве железного коагулянта на суперфосфатных заводах имеются следующие недостатки, вызванные приспособлением оборудования:

а) Огарок не сортируется и для производства коагулянта поступает непосредственно из зрельников, что дает высокое содержание закисного железа. Для понижения содержания закисного железа необходимо использовать отвалы огарка, имеющего давность более 2—3 лет и окислившегося за счет атмосферного воздуха.

б) Нет точно установленной дозировки компонентов при производстве коагулянта, что дает разные его составы и особенно высокий процент свободной кислоты.

в) Время пребывания массы в котлах Лоренса (5—7 мин.) не позволяет получать комковато-зернистый пористый коагулянт с минимально допустимым содержанием свободной кислоты и закиси железа и высоким процентом окиси железа, в пределах до 28 и выше, так как нет длительного, до полного схватывания, перемешивания массы с последующим вызреванием в течение 4—6 час.

г) Недозревший коагулянт, выгруженный из вагона-зрельника в железнодорожный вагон, дозревает в пути и делается почти монолитным массивом, требующим при выгрузке его из вагонов применения ломов, клиньев, кувалд, т. е. трудоемких работ.

Для небольших водопроводных станций производительностью до 15—30 тыс. м³ в сутки производство железного коагулянта может быть ор-

ганизовано на месте более простым способом — растворением пиритовых огарков из отвалов в деревянных мешалочных баках с добавлением серной кислоты и дозреванием массы на деревянных же столах-зрельниках, куда она поступает самотеком в жидком состоянии из растворных баков по деревянному лотку.

3. ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗНОГО КОАГУЛЯНТА

Железный коагулянт марки ЖК выработки Воскресенского химкомбината, согласно «Временным техническим условиям», утвержденным Техническим Отделом Наркомхимпрома 29 декабря 1942 года, должен иметь:

1) общее содержание водорастворимых солей железа в пересчете на Fe_2O_3 не менее 18%;

2) содержание закисных солей железа в пересчете на FeO не более 4,8%;

3) содержание свободной кислоты в пересчете на H_2SO_4 не более 6,0%;

4) содержание меди не более 0,2%.

Для отдельных вагонов допускалось, в пределах 5—10% общей загрузки, повышенные содержания H_2SO_4 и FeO на 1% сверх указанных в технических условиях норм.

Практически отгружаемый с завода и прибывающий на водопроводную станцию коагулянт имел:

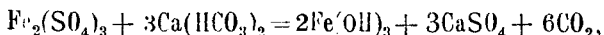
железа окисного в виде Fe_2O_3 от 18 до 24%,

железа закисного в виде FeO от 1 до 4%,

свободной кислоты H_2SO_4 от 2 до 7%,

нерастворимого остатка от 14 до 24%.

Основную часть коагулянта составляет сернокислая окись железа и нерастворимый остаток. Известно, что эта окись железа подвергается в водном растворе гидролитическому расщеплению с выделением гидрата окиси железа $Fe(OH)_3$. Гидрат окиси железа, будучи положительно заряженным коллоидом, способен при соответствующих условиях сорбировать и, коагулируя, выпадать в осадок. В присутствии бикарбонатов воды гидролиз сернокислой окиси железа идет по следующему равенству:

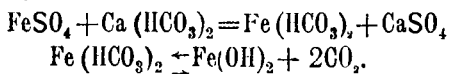


т. е. аналогично распаду сернокислой окиси алюминия.

Вторым (солевым) компонентом в железном коагулянте служит сернокислая закись железа $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

Сернокислая закись железа гидролизуется в природной воде значительно медленнее, чем окись железа, так как далеко идущему гидролизу подвергается не сама сернокислая закись железа, а кислая углекислая

соль, получающаяся в результате взаимодействия FeSO_4 с бикарбонатами воды по схеме:



Переход гидрата закиси железа в гидрат железа происходит в воде за счет растворенного в ней кислорода. Окисление вследствие медленного гидролиза может произойти уже в профильтрованной, чистой воде (в резервуарах и в трубах водопроводной сети), что ухудшает качество очищенной воды за счет этой добавочной коагуляции железа.

Ухудшение качества воды в таких случаях возрастает при увеличении дозировки коагулянта, так как увеличивается количество вводимого в воду закисного железа.

Лабораторные и производственные опыты коагулирования воды железным коагулянтом на станциях Московского водопровода полностью подтвердили это положение. Опыты показали, что в условиях обычной на водопроводных станциях технологической схемы обработки воды: коагуляция—смешение—отстой 3—4 часа—фильтрация на скорых или медленных песочных фильтрах, гидролиз и окисление закисного железа, без введения каких-либо добавочных окислителей или подщелачивания не успевают завершиться.

Закисное железо, как правило, проходит через фильтр, значительно ухудшая качество фильтрата. Сигналом неизбежного ухудшения качества воды фильтрата служит повышенное содержание закисного и окисного железа в пробах воды отстойника и после фильтров.

Ухудшение качества фильтрованной воды наступает даже и в том случае, когда на первый взгляд коагуляция воды при больших дозах железного коагулянта прошла эффективно и наблюдалось быстрое хлопьеобразование, выпадение осадка, осветленный раствор над осадком, а показатели мутности и цветности воды были в пределах стандарта. Повторные определения этих же проб воды через 12—24 часа дают резкое ухудшение качества воды, в то время как первоначальные определения не вызывали никаких сомнений.

Как правило, закисное железо отрицательно влияет и на сернистую окись железа, замедляя ее гидролиз, а следовательно задерживая хлопьеобразование. В воде, богатой гуминовыми веществами, закисное железо способно давать органические соединения, которые, будучи защитными коллоидами, задерживают коагуляцию.

4. РАСТВОРИМОСТЬ КОАГУЛЯНТА И ЕГО КОРРОЗИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА

Железный коагулянт хорошо растворяется в воде, «основная часть» его растворяется уже в первые 30 мин. от начала загрузки в растворные мешалочные баки или вращающиеся барабаны.

Из данным лабораторного исследования, установлена следующая растворимость железного коагулянта, при крепости раствора в 10% и температуре воды 18°.

Растворимость коагулянта	Время в часах					
	1	2	4	8	12	14
Нерастворимый остаток в процентах	24,5	24,1	23,87	23,29	21,7	21,3
Растворимость в процентах по разности	75,5	75,9	76,13	76,61	78,3	78,7

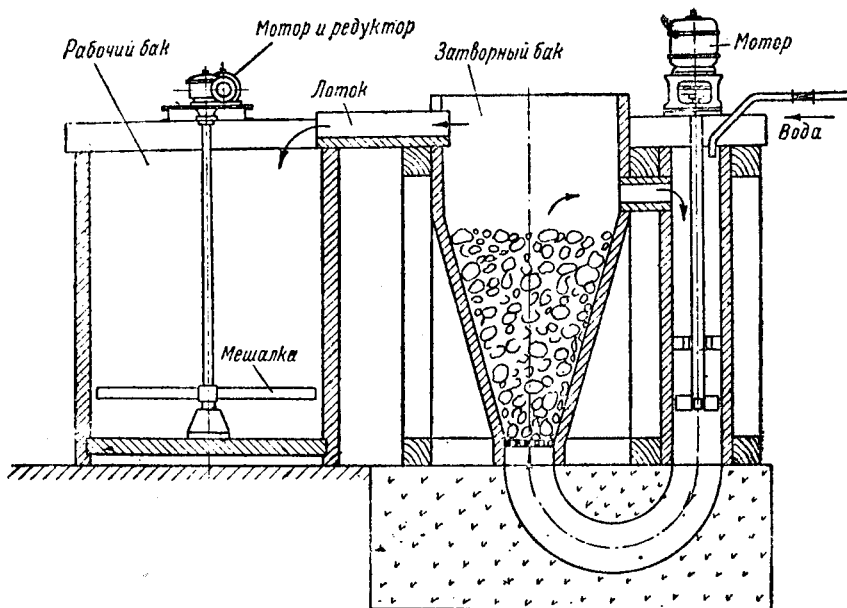
Железный коагулянт отличается избытком свободной серной кислоты, что затрудняет его применение на водопроводных станциях. При дозировке в сухом виде, когда производится его дробление и посылка в воду мелкой крупкой, коагулянт полностью в воде не растворяется. Тонкая пыль от дробления сильно разъедает одежду и обувь и действует раздражающе на кожу, глаз и дыхательные органы рабочих, обслуживающих установки.

При мокром способе дозирования (т. е. предварительного растворения с транспортировкой коагулянта в виде раствора по трубам к месту ввода) указанные недостатки в некоторой степени устраняются, однако, появляется другая опасность—сильная коррозия металлических частей аппаратуры и оборудования. Например, наблюдалось, что части железного барабана для растворения (только асфальтированные) разъедались в течение 30—37 час. непрерывной работы, а части оцинкованного эжектора (сопло) разъедались через 16—20 час. работы.

Повидимому, как в первом, так и во втором случаях, помимо химического воздействия, имело место и механическое трение мелких, твердых частиц коагулянта о стенки эжектора и барабана. Коррозирующее действие железного коагулянта на стальные и чугунные части оборудования, повидимому, объясняется не только наличием свободной кислоты и кислорода, но и окислительно-восстановительными процессами, возникающими при соприкосновении окисного, закисного и металлического железа.

Практика применения железного коагулянта показала, что растворение его правильнее всего вести в деревянных или бетонных баках с облицовкой из кислотоупорных материалов. Для перемешивания раствора лучше всего пользоваться деревянными мешалками пропеллерного типа с числом оборотов от 80 до 120 в мин. и с расположением приводных механизмов над баком (Фиг. 1). Баки растворные и рабочие необходимо

размещать с таким расчетом, чтобы избежать механической транспортировки раствора из баков к месту ввода коагулянта в сооружениях. Правильнее баки и дозирочные устройства размещать с сохранением



Фиг. 1. Баки для заготовки и хранения раствора.

для раствора самотеком по деревянным желобам, лоткам или трубам. Дозировку коагулянта лучше всего вести из деревянного бака небольшой емкости (до 1,0 м³), расположенного непосредственно над местом ввода (фиг. 2).

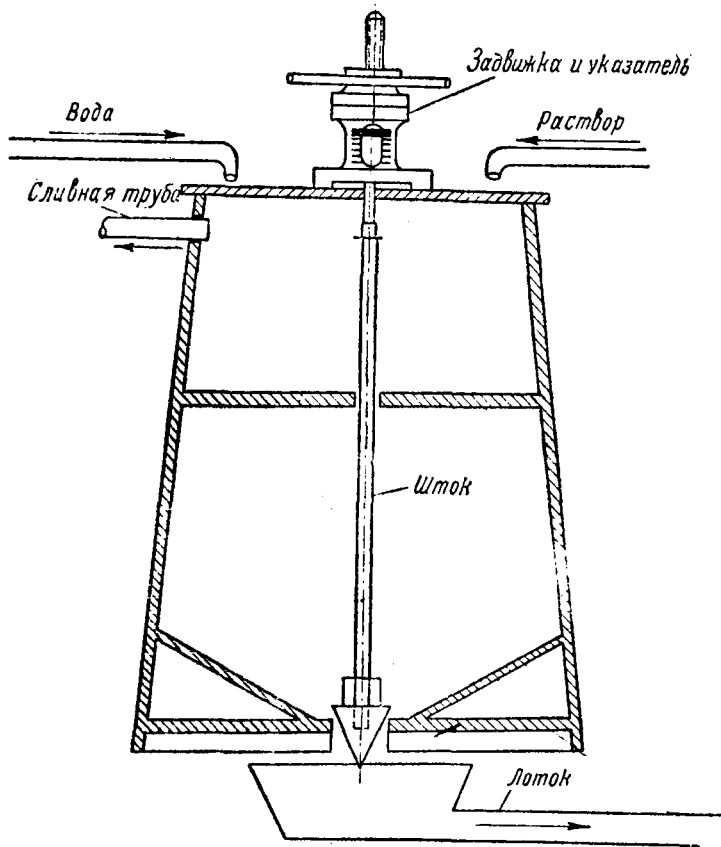
Расход раствора определяют через деревянную диафрагму дозирочного бака. Для перекрытия отверстия диафрагмы служит деревянный шток с конусом. Шток приводится в движение рукояткой на верху бака и имеет указатель степени открытия диафрагмы.

Крепость раствора для более точной дозировки желательна минимальная (2—5%), хотя это и требует увеличения размеров баков.

Более высокая крепость раствора (10—20%) создает резкие колебания в дозировке и агрессивна к оборудованию из-за высокого содержания свободной серной кислоты.

5. ПРИМЕНЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОГО КОАГУЛЯНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Применение железного коагулянта для очистки воды потребовало изыскания новых и проверки существующих окислителей, а также создания оптимальных условий для перевода закисного железа в окисное с таким расчетом, чтобы иметь полную гарантию неизменяемости качества фильтрата с момента первоначального определения на очистной станции до



Фиг. 2. Дозировочный бак.

городской водопроводной сети включительно. С этой целью были опробованы и проверены: хлор, хлорная известь, аэрация воды, аэрация раствора коагулянта и известь.

а. Очистка воды железным коагулянтom с жидким хлором

Хлор—один из наиболее доступных окислителей и широко применяется в водопроводной практике.

При обработке воды железным коагулянтом с хлором последний дозировался из расчета окисления закисного железа, содержащегося в коагулянте с некоторым избытком на хлоропоглощаемость воды. В табл. I приводятся данные расхода хлора на окисление закисного железа в зависимости от дозы коагулянта и процента содержания в нем закисного железа.

Таблица 1

Потребное количество хлора в г/м³ на окисление закиси железа в железном коагулянте, без учета хлоропоглощаемости воды

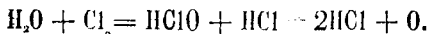
Процент закиси железа в коагулянте в пересчете на FeSO ₄ ·7H ₂ O	Доза коагулянта, мг/л						
	10	30	50	70	80	90	100
1	0,012	0,038	0,063	0,089	0,102	0,114	0,127
2	0,027	0,085	0,135	0,195	0,22	0,245	0,275
3	0,037	0,11	0,19	0,226	0,30	0,33	0,37
4	0,051	0,15	0,26	0,36	0,41	0,46	0,51
5	0,063	0,19	0,31	0,44	0,50	0,58	0,63
6	0,075	0,22	0,37	0,52	0,60	0,67	0,75
7	0,089	0,27	0,44	0,62	0,71	0,80	0,89
8	0,102	0,31	0,51	0,71	0,82	0,92	1,02
9	0,113	0,34	0,57	0,79	0,90	1,02	1,13
10	0,127	0,38	0,64	0,89	1,02	1,14	1,27
11	0,18	0,54	0,90	1,26	1,44	1,62	1,8

Практически, с учетом хлоропоглощаемости воды, при дозе железного коагулянта в 100—130 мг/л, хлор вводился в количестве от 4 до 7 мг/л.

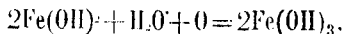
Для наиболее полного использования хлора, как окислителя закисного железа в железном коагулянте, хлор вводился спустя 1—2 мин. после ввода коагулянта.

Взаимодействие хлора с водой, содержащей железный коагулянт, идет в нескольких направлениях.

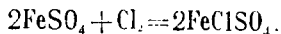
1. Хлор разлагает воду с выделением активного кислорода:



Кислород, встречая гидрат закиси железа, переводит его в гидрат окиси:



2. Хлор действует на негидролизованную сернокислую закись железа, переводя ее в окисную соль, которая затем гидролизуется:



3. Хлор или выделенный им активный кислород разрушает органические защитные коллоиды воды, тем облегчая ее коагуляцию.

Получаемая при обработке воды хлором соляная кислота снижает щелочной резерв и активную реакцию воды, что в отдельные периоды (при низком щелочном резерве воды) может служить отрицательным фактором, особенно, когда сам коагулянт содержит высокое количество свободной кислоты.

В последнем случае необходимо воду подщелачивать.

При коагуляции воды железным коагулянтом с хлором фильтрованная вода, как правило, соответствует стандарту, не меняется по своим качествам с течением времени и не содержит повышенных количеств закисного и общего железа.

Для получения воды хорошего качества требуется строго выдерживать заданную дозировку реагентов: железного коагулянта и хлора. Особенно вред качеству воды наносят повышенные, против заданных, дозы железного коагулянта. В таких случаях из-за недостатка хлора в очищенную воду попадает закисное железо, которое неизбежно будет коагулировать воду в резервуарах чистой воды и в сети труб. К тому же при больших дозах коагулянта снижается активная реакция до значения $\text{pH} = 5,0 - 5,3$, что, в свою очередь, задерживает окисление закисного железа.

Снижение доз против приемлемых также дает отрицательный эффект, так как при этом положении, хотя закисное железо и отсутствует, образуются очень мелкие хлопья, которые не успевают выпасть в осадок за время отстаивания и проходят через фильтр.

Особенно тщательно требуется следить за смешиванием реагентов. Полное смешивание улучшает процесс коагулирования. При недостаточном перемешивании реагенты движутся по сооружениям слоями и не взаимодействуют со всей массой воды, что нарушает правильный ход реакции.

При работе с железным коагулянтом и хлором нужно помнить, что хорошее размешивание реагентов с водой—основа правильной эксплуатации, так как проскоки в фильтрате алюминия при работе с сернокислым глиноземом могут быть не замечены, проскоки железа в фильтрате резко изменяют качество воды, как по физико-химическим, так и по вкусовым данным.

6. Очистка воды железным коагулянтом с хлорной известью

При очистке воды железным коагулянтом с хлорной известью реакция идет по той же схеме, как и с хлором. Несколько меньше снижается

щелочной резерв и активная реакция, так как в хлорной извести содержится от 1 до 4% окиси кальция, которая нейтрализует образующиеся соляную и угольную кислоты.

Хлорную известь дозируют из расчета на активный хлор, причем выдерживают то же соотношение к дозам коагулянта, как указано в табл. 1. В зависимости от процента содержания активного хлора в извести расход по весу хлорной извести составлял от 16 до 28 мг/л.

Все указанное в отношении жидкого хлора к железному коагулянту по правильности дозировки реагентов, перемешиванию и месту ввода полностью относится и к хлорной извести.

в. Очистка воды железным коагулянтом при предварительной аэрации раствора

Как дефицитность хлора и хлорной извести в условиях военного времени, так и повышенная стоимость обработки воды при их применении заставили разрабатывать методы коагуляции воды железным коагулянтом без применения хлора.

Одним из первых методов была аэрация заготовленного раствора железного коагулянта.

Мотивом к применению аэрации раствора послужило то, что если в природных водах закисное железо переходит в окисное благодаря наличию в воде растворенного кислорода, то это явление могло быть и в растворе коагулянтов при подаче в него в достаточном количестве воздуха. Аэрация проводилась подачей воздуха в бак с 10%-ным рабочим раствором коагулянта от воздухоудовки по трубопроводу $d=12$ мм. Трубопровод оканчивался распределителем воздуха с отверстиями, расположенными в шахматном порядке. Продолжительность аэрации доводилась до 7—8 час., с подачей воздуха, в 15 раз большей (считая на кислород), чем требуется на окисление закисного железа. Установлено, что содержание закисного железа в растворе уменьшилось незначительно. Опыты же коагуляции воды аэрированным раствором дали отрицательные результаты.

Качество воды, прошедшей обработку аэрированным раствором железного коагулянта, было следующее:

№ опыта	Показатели качества воды (средние данные)	С о о р у ж е н и е		
		река	отстой- ник	фильтры
7	мутность, мг/л	9,3	11,1	2,2
	цветность, американ. град.	54	87	42
8	мутность, мг/л	9,7	9,9	3,4
	цветность, американ. град.	59	125	36

В продолжение опыта показатели мутности и цветности воды фильтрата, по времени обработки, составляли в процентах к общему времени опыта:

№ опыта	М у т н о с т ь			Ц в е т н о с т ь		
	до 1,5 мг/л	от 1,5 до 2,0 мг/л	свыше 2 мг/л	до 20°	до 30°	свыше 30°
7	31	31	38	0	21	79
8	25	0	75	0	0	100

Одновременно с отрицательными результатами коагулирования, в растворе железного коагулянта отмечается увеличение нерастворимого остатка.

г. Очистка железным коагулянтом воды, предварительно азрированной

Обработка железным коагулянтом воды, предварительно азрированной с целью насыщения ее кислородом и проведения за счет этого окисления закисного железа, удовлетворительных результатов не дала.

Воздух вводился в воду в количестве до 0,5 м³ на 1 м³ воды.

Показатели качества воды—мутность и цветность—не отличаются от данных, полученных при коагулировании воды железным коагулянтом без ввода окислителей.

Качество фильтрата значительно ухудшается спустя 12—24 час. от первоначального определения. В фильтрате наблюдается высокое содержание закисного железа.

д. Очистка воды хлорированным раствором железного коагулянта

Значительные расходы хлора при коагуляции воды железным коагулянтом, даже при хороших результатах обработки воды, увеличивают эксплуатационные расходы. С целью экономии хлора было проведено хлорирование не всей обрабатываемой воды, а только раствора коагулянта. Хлорирование 10% раствора коагулянта производилось в баке через шланг от аппарата-хлоратора. Дозировка принималась из расчета 1,0—1,1 мг хлора на 100 мг железного коагулянта в продолжение 30—40 мин. Расход хлора уменьшался в 6—7 раз по сравнению с хлорированием всей массы воды, обрабатываемой железным коагулянтом. Доза в 1,0—1,1 мг хлора принималась из расчета наличия сернистой закис-

си железа в коагулянте в пределах 8%; эта доза хлора достаточна для полного окисления закиси железа в коагулянте.

Хлорированный раствор коагулянта вводился в обрабатываемую воду в смесителе через дозировочный бачок. Качество воды было следующим:

Показатели	С о о р у ж е н и е		
	река	отстойник	фильтры
Мутность, мг/л	8,6	8,1	1,4
Цветность, американ. град. . . .	62	106	36

В продолжение опыта мутность и цветность фильтрата в процентах по времени составляли:

М у т н о с т ь			Ц в е т н о с т ь		
до 1,5 мг/л	от 1,5 до 2 мг/л	свыше 2 мг/л	до 20 ⁰	от 20 до 30 ⁰	свыше 30 ⁰
48	52	0	24	7	69

Отмечается увеличению содержания нерастворимого остатка в растворе (до 35%), что, по-видимому, идет за счет образования нерастворимых окислов железа.

Было также установлено, что в растворе железного коагулянта, наряду с наличием избыточного хлора, содержится закисное железо. По-видимому, кислая реакция раствора (рН=2—3) задерживает полное окисление закиси железа.

Ухудшаются условия работы обслуживающего персонала, так как наблюдается отравление воздуха в рабочих помещениях за счет испарения хлора из раствора, вследствие малого объема раствора и больших количеств хлора.

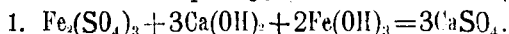
в. Очистка воды железным коагулянтом с добавкой извести

Как уже указывалось, закисное железо может быть окислено растворимым в воде кислородом. В нормальных условиях окисление идет медленно и не успевает завершиться за время коагуляции и отстаивания воды в отстойниках. Многочисленные опыты, проведенные на Рублевской станции Московского водопровода с водой различного состава, по-

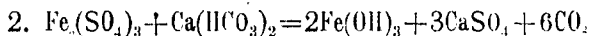
казали, что для создания оптимальных условий окисления закисного железа можно применить известь или другую щелочь.

Известь, введенная в воду с железным коагулянтom, ускоряет гидролиз и закисной и окисной соли железа, переводя их соответственно в гидраты закиси и окиси. Гидрат закиси железа быстро окисляется в гидрат окиси за счет растворенного в воде кислорода. Окисление происходит в широких (от 6,8 до 8,4) пределах активной реакции (рН). В отдельные периоды коагуляции проходит эффективно и при более низких значениях рН (от 6,0—6,2). Для окисления закиси железа практически требуется от 5 до 40 мг/л CaO, или от 7 до 55—60 мг/л, считая на продажную известь. Норму коагулянта и извести необходимо устанавливать пробным коагулированием воды в лабораторных условиях.

Серниокислая закись железа реагирует с известью по следующей схеме:

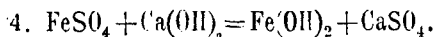


В присутствии бикарбонатов воды происходят дополнительно следующие реакции:



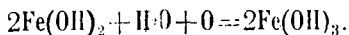
В результате реакций 1 и 2 получается гидрат окиси железа, который затем коагулирует.

Серниокислая закись железа превращается под влиянием извести в гидрат закиси железа:



Таким образом, известь, снабжая воду готовыми ионами OH, переводит серниокислую закись железа в гидрат закиси, минуя длительную фазу обменного разложения бикарбонатов воды.

Гидрат закиси железа быстро окисляется растворенным в воде кислородом:



Получающийся гидрат окиси железа вместе с гидратом окиси, полученным в результате гидролиза серниокислой окиси железа (реакции 1 и 2) успевает за время отстаивания воды коагулировать и выпасть в осадок.

При правильной работе с железным коагулянтom и известью в фильтрате не должны обнаруживаться повышенные количества закисного и общего железа и изменения качества фильтрата со временем. В редких случаях допускается наличие в фильтрате до 0,2 мг/л закисного и до 0,5 мг/л общего железа.

Для окисления закисного железа при максимальном содержании его в коагулянте до 4,5% и при дозе железного коагулянта в пределах 150—180 мг/л, требуется иметь в воде не более 1 см³/л или 1,43 мг/л

кислорода. Москворецкая вода содержит в разные периоды года от 4 до 7 см³/л или 5,72—10,01 мг/л кислорода, что намного превышает потребность в нем для окисления закислого железа.

Большое значение при работе с железным коагулянтом и известью имеет порядок ввода реагентов. Установлено, что хлопьеобразование наступает быстрее, а хлопья образуются крупнее, опалесценция над осадком меньше и цветность воды снижается значительно эффективнее при условии введения в воду сначала коагулянта, а затем извести, с разрывом во времени от 1 до 5 мин. Объясняется это, по-видимому, тем, что коллоиды, образующие цветность воды, разрушаются эффективнее в кислой среде, а предварительный ввод извести способствует быстрому образованию гидрата окиси железа, который коагулирует и выпадает из сферы реакции, не успев войти во взаимодействие с компонентами воды.

Предварительный ввод извести, а затем коагулянта требует, как правило, на 20—30 % больше коагулянта, что неэкономично. В отдельные периоды, во время высокой гуминовой цветности воды, коагуляция при условии предварительного ввода извести не происходит совсем и цветность воды в этом случае не уменьшается, а возрастает по ходу очистки на сооружениях.

При работе с железным коагулянтом и известью необходимо строго выдерживать непрерывность дозировки реагентов, особенно извести. В производственных условиях известь дозируют в виде известкового молока (2—5 % раствор) или в сухом виде.

При дозировке известковым молоком нерастворившиеся частицы извести должны все время находиться во взвешенном состоянии; в этом случае заготовка раствора извести должна вестись в баках с механическими мешалками при постоянном перемешивании. Особо требуется обратить внимание на то, чтобы в баках для размешивания не накапливались нерастворившиеся комки извести и камни, так как они забивают отводящие трубы и нарушают равномерность и непрерывность дозировки. Для избежания этого явления требуется для растворения применять баки, оборудованные гидроструйным размешиванием, с установкой переливной перегородки, или обычные баки с мешалками, но при этом выходные трубы должны находиться не у дна бака, а на высоте 0,7—1,0 м от дна.

Трудности контроля дозировки извести заставляют ориентироваться на концентрацию раствора, истечение струи из трубки или дозирующего устройства в единицу времени и следить за изменением активной реакции (рН) воды смесителя и конца камеры реакции. Учитывая, что концентрация раствора может непрерывно меняться, что затруднит контроль, лучше в этих случаях только тщательнее следить за изменением рН и не допускать снижения активной реакции ниже 6,6.

В условиях сухой дозировки реагенты не используются полностью, особенно если они плохо измельчены, так как часть их не успевает за время реакции раствориться. Влияние размешивания, отмеченное выше, целиком относится и к работе с железным коагулянтом, в присутствии извести.

6. РАБОТА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПОЛЬЗОВАНИИ ЖЕЛЕЗНЫМ КОАГУЛЯНТОМ

На опытной станции очистки воды и в производственных условиях не наблюдалось каких-либо резких отклонений от режима работы сооружений (смеситель, камера реакции, отстойник и фильтры скорые и медленные), по сравнению с применением для коагуляции воды сернокислого глинозема «Мутта».

Горизонтальные, перегородчатого типа, смеситель и отстойники, при заданных режимах работы и производительности, вполне справлялись со смешением воды с реагентами и с прохождением реакции коагулянта с хлором или известью.

Отмечается повышенная цветность воды конца отстойника за счет окрашенных хлопьев гидрооксида железа. Однако хлопья эти хорошо задерживаются фильтрами.

Выпадение осадка в отстойниках происходит быстрее, чем при коагулировании глиноземом «Мутта» за счет большого удельного веса хлопьев железного коагулянта. Выпадение взвеси по длине отстойника (проверка в лабораторных условиях) на $\frac{2}{3}$ заканчивается в начале отстойника, на $\frac{1}{3}$ в середине отстойника, и отклонение от этих величин приходится на долю конца отстойника.

Осадок имеет неприятный запах. Анализ сырого осадка показал:

- а) влажность отфильтрованного осадка 55—60 %,
- б) растворимость в 3,6 % соляной кислоте до 84 %,
- в) нерастворимый осадок до 16—17 %,
- г) осадок уплотняется в первые 24 часа и в дальнейшем не млепает объема.

Фильтрация воды на скорых безмешалочных фильтрах проходит при скорости фильтрации 4—6 м/час. Потеря напора нарастает на фильтрах без больших отклонений и к концу межпромывочного цикла (16—20 час.) достигает 1,75—2,0 м.

Расход промывной воды нормальный в пределах 2—2,5 % профильтрованной воды. Отмечается, особенно при малых дозах хлора и больших дозах коагулянта, а также при дозах коагулянта ниже приемлемой, увеличение нагрузки на фильтры за счет мелких хлопьев, не выпадающих в отстойнике и проходящих на фильтры.

7. СТОИМОСТЬ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ЖЕЛЕЗНЫМ КОАГУЛЯНТОМ

Стоимость коагуляции воды железным и другими коагулянтами в условиях Московского водопровода приведена в табл. 2.

Таблица 2

Стоимость очистки 1 м³ воды разными коагулянтами

Наименование коагулянта	Количество прокоагулированной воды, тыс. м ³	Средняя доза, мг/л	Количество израсходованного коагулянта, т	Цена 1 т, руб.	Стоимость израсход. коагулянта, тыс. руб.	Стоим. коагулянт. 1 м ³ воды (коп.)
Сернокислый глинозем "Мутта"	116818,7	88,6	10353,2	165	1708,3	1,45
Зольный коагулянт	24729,4	190	4692,4	165	774,2	3,13
Железный коагулянт	6080,7	170	1029,7	260	267,7	4,4

Примечание. В таблице указаны расходы коагулянтов на Рублевской и Черепковской станциях во время паводков 1940 и 1943 года.

В стоимость обработки воды тем или другим коагулянтом не включены эксплуатационные расходы. Эти расходы значительно возрастают с увеличением дозы коагулянта.

При определении стоимости очистки железным коагулянтом не учтены расходы на добавочный реагент — жидкий хлор, хлорная известь или известь, — необходимый при коагуляции воды для перевода закиси железа в окись.

Для наглядности, при оценке работы с железным коагулянтом, в табл. 3 приведены приближенные данные о стоимости обработки им 1 м³ воды, с применением одного из указанных дополнительных реагентов.

Таблица 3

Стоимость обработки 1 м³ воды железным коагулянтом с добавлением реагентов

Железный коагулянт		Другие реагенты на 1 м ³ воды					
		Х л о р		Хлорн. известь		Известь (СаО)	
доза, г/м ³	стоимость, коп.	доза, г	стоимость, коп.	доза, г	стоимость, коп.	доза, г	стоимость
50	1,3	2,05	0,077	6,15	0,21	10—20	0,18—0,36
80	2,1	3,31	0,12	9,9	0,33	10—20	0,18—0,36
120	3,1	5,0	0,19	15,0	0,5	10—20	0,18—0,36
150	4,1	6,15	0,23	18,5	0,62	10—20	0,18—0,36

Примечания. 1. Отпускные цены на тонну приняты: хлор 375 руб., хлорная известь 1-го сорта 335 руб. и известь 71 руб.

2. Содержание СаО в технической извести принято в 40%.

Из приведенных данных видно, что стоимость обработки воды железным коагулянтом в несколько раз выше, чем другими коагулянтами.

Одна из причин высокой стоимости заключается в его высокой отпускной цене (260 руб. вместо 165 руб. за тонну).

Высокая отпускная цена Воскресенского химкомбината, повидимому, вызвана условиями освоения производства коагулянта и приспособлением для этой цели сложного и дорогого оборудования, имеющего другое назначение.

Правильно технологически организованное и полностью освоенное изготовление железного коагулянта из отходов сернокислотных заводов несомненно позволит снизить отпускную цену, так как производство его еще проще, чем других коагулянтов, и не требует затрат тепла (пара).

Вторая причина высокой стоимости обработки воды железным коагулянтом: большие дозы и обязательное применение при его использовании добавочного реагента (хлора или извести). Для сокращения доз коагулянта и снижения стоимости обработки воды требуется строгое соблюдение расхода коагулянта и соотношения реагентов, увеличение процента растворения коагулянта в воде и применение вместо дефицитного хлора дешевой извести. Достигнуть этого можно за счет хорошо налаженного контроля, полного перемешивания раствора коагулянта с водой и правильного выбора места и времени введения реагентов в воду.

8. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА КОАГУЛИРОВАНИЯ ВОДЫ ЖЕЛЕЗНЫМ КОАГУЛЯНТОМ

При применении железного коагулянта особое значение имеет хорошо налаженный и непрерывный контроль качества воды по стадиям очистки. Железный коагулянт—это новый реагент в водопроводной практике и требует при его применении добавочных реагентов (хлора, хлорной извести или извести). Это обстоятельство заставляет несколько изменить и существующие методы контроля воды. Первым затруднением в контроле было отсутствие метода определения дозы железного коагулянта в воде. Существующие методы определения по понижению щелочного резерва в присутствии хлора или извести дают искаженные результаты. Опытами установлено, что сам железный коагулянт снижает щелочной резерв эквивалентно вводимой его дозе, только при условии применения доз не выше 100—120 мг/л. С повышением дозы дальнейшее снижение щелочного резерва воды идет непропорционально.

В процессе применения железного коагулянта на Московском водопроводе (Рублевская станция) был разработан способ определения дозы

коагулянта по общему содержанию железа в пробе воды из смесителя очистных сооружений. Для проведения частых наблюдений за дозой коагулянта (через 15—30 минут) рекомендуется пользоваться ускоренным сульфосалициловым методом определения железа, разработанным там же, применительно к Москворецкой воде (см. приложение в конце книги).

Второе затруднение, не устраненное и в настоящее время в тех случаях, когда коагуляция воды проходит неправильно, это—невозможность правильного определения активного хлора в воде в присутствии окисного железа выше 1—2 мг/л, так как ортотолуидиновый метод определения хлора дает дополнительную окраску воды пробы за счет железа. При йодометрическом определении хлора железо также мешает правильности определения. Это подчеркивает необходимость соблюдения такого технологического режима очистки воды железным коагулянтом, при котором исключался бы проскок железа в фильтрате, так как указанное количество железа в фильтрованной воде делает воду непригодной для питья и по другим качественным показателям.

При работе с известью особенное внимание следует уделять реакции рН. дозировке коагулянта и содержанию железа по ходу очистки.

Кроме обычного контроля, необходимо ежечасно определять рН в воде камеры реакции и через два часа содержание железа (общего, закисного и окисного) в отстаенной, фильтрованной и хлорированной воде. Дозу железного коагулянта нужно определять через каждый час. Отбор проб для определения дозы железного коагулянта следует производить перед введением хлора или извести. При правильной дозировке реагентов отстаиваемая вода содержит не более 0,5 мг/л закисного железа, а фильтрованная вода не содержит совсем или содержит следы закисного железа. Проскоки больших количеств закиси в отстаиваемую и фильтрованную воду свидетельствуют о нарушении дозировки реагентов. Проскоки закисного железа чаще всего наблюдаются при рН = 5,3—6,0. Для исправления положения необходимо вслед за пониженным рН дать резко увеличенное количество извести или, при работе с хлором, уменьшить дозу железного коагулянта и прибавить хлора. Фильтрованную воду, хотя и соответствующую стандарту по мутности и цветности в момент определения на станции, но содержащую закись железа, следует оставлять для наблюдений на 12—24 часа, после чего вновь определять указанные выше физико-химические ее качества.

Дозировку реагентов на производстве нужно устанавливать по пробному коагулированию воды в лабораторных условиях.

Проводя пробное коагулирование воды, необходимо перед и после введения в воду каждого реагента воду в бутылки энергично взболтать и только после этого размешивать, как обычно, на мешалке Вагнера.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Железный коагулянт можно использовать для очистки воды, как в присутствии хлора, так и, главным образом, без применения хлора, как дефицитного продукта, с заменой его известью.

Содержащаяся в коагулянте закись железа может быть окислена растворенным в воде кислородом. Для создания оптимальных условий окисления закиси железа нужно вводить известь. Хорошая коагуляция воды в присутствии извести происходит в широких пределах активной реакции (рН) от 6,8 до 8,4. Предварительный ввод коагулянта дает лучший эффект очистки, чем последующий, и экономит до 30 % коагулянта. Высокое содержание свободной серной кислоты в коагулянте затрудняет эксплуатацию, вызывая коррозию оборудования. Необходимо на заводах-изготовителях добиваться снижения содержания кислоты до 1—1,5 %.

Экономически коагулирование воды железным коагулянтом по сравнению с сернокислым глиноземом «Мутта» не выгодно, так как стоимость его 240—260 руб. тонна (вместо 140—165 руб.), и требуются еще добавочные расходы на хлор (жидкий или хлорную известь) или известь. При обработке воды заменителями коагулянта «Мутта» в виде зольного коагулянта или коагулянта из местных глини (типа Жудиновских), с содержанием Al_2O_3 до 4—5 %, когда доза их в 2—2,5 раза выше, чем «Мутта», коагулирование воды железным коагулянтом может быть рентабельным.

ИНСТРУКЦИЯ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДОЗЫ ЖЕЛЕЗНОГО КОАГУЛЯНТА СУЛЬФОСАЛИЦИЛОВЫМ МЕТОДОМ

Сущность метода

Соли железа образуют с сульфосалициловой кислотой в кислой среде неустойчивое розово-красное окрашивание. В аммиачной среде это окрашивание переходит в желтый цвет. Интенсивность окраски желтого соединения очень устойчива, не зависит от концентрации аммиака и пропорциональна содержанию железа в растворе.

Реактивы

1. Соляная кислота, разбавленная 1 : 10 (по объему).
2. Хлористый аммоний 1%-ный раствор.
3. 10%-ный раствор сульфосалициловой кислоты.
4. Аммиак 25% или 10%.
5. Титрованный раствор железо-альмоновых квасцов (для стандартных растворов), 1 мл которых содержит 0,1 мг Fe.

Посуда

1. Цилиндры Нesslerа бесцветного стекла.
2. Цилиндры Генера, pipетки на 1 см³ и 2 см³ с делениями.

Подготовка жидких стандартов

В ряд цилиндров Нesslerа вносят титрованный раствор железа, 1 мл которого равен 0,1 мг Fe, в количестве 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,25, 0,30, 0,35, 0,40, 0,45, 0,50, 0,60, 0,80 мл, что соответствует 0,005, 0,010, 0,015, 0,020 мг и т. д.

В каждый цилиндр добавляют по 1 см³ HCl 1 : 10 и 2 мл сульфосалициловой кислоты (10%-ный раствор), содержимое цилиндров энергично взбалтывают в течение одной минуты.

Иногда при этом появляется розовое окрашивание. В некоторых случаях розовое окрашивание появляется только после первых капель аммиака.

Затем добавляют по 1 мл хлористого аммония (1% раствора) и по каплям аммиак до появления устойчивого ярко-желтого окрашивания и наличия запаха аммиака. Затем содержимое цилиндров опять взбалтывают, при этом происходит самопроизвольное разогревание реакционной жидкости. После этого доводят раствор дистиллированной водой до метки 100 мл, и стандарты готовы к употреб-

Определение дозы

Пробы воды следует отбирать в месте, где при достаточном смешении еще не успели образоваться совсем или образовались только очень мелкие хлопья.

При работе с хлором или известью пробу для определения дозы нужно брать до введения указанных реагентов.

Один или два мл воды начала камеры реакции или конца смеси из предварительно взболтанной (для равномерного распределения хлопьев) пробы вносят в цилиндр Несслера, добавляют сюда же 1 мл соляной кислоты, взбалтывают для растворения хлопьев, добавляют 2 мл сульфосалициловой кислоты, опять взбалтывают, вносят 1 мл хлористого аммония и по каплям аммиак до желтого окрашивания и запаха аммиака, затем энергично взбалтывают, доводят раствор до метки 100 мл дистиллированной водой, переливают в цилиндр Генера или другой бесцветный цилиндр и сравнивают с одним из стандартов, перелитых во второй цилиндр Генера или со стандартной шкалой.

Расчет производят по формуле:

$$X = \frac{a \cdot 1000 \cdot 100}{b}$$

где: X — фактическая доза железного коагулянта,

a — количество мг железа в виде Fe, найденное в 1 мл испытуемой воды при сравнении со шкалой,

b — количество мг Fe, содержащееся в 100 мг коагулянта, по анализу 1000 мл, приведенное к литру.

В тех случаях, когда для исследования берут 2 мл испытуемой воды, формула имеет вид:

$$X = \frac{a \cdot 500 \cdot 100}{b}$$

При взятии для анализа 5 см³ исследуемой воды:

$$X = \frac{a \cdot 200 \cdot 100}{b}$$

И т. д.

При дозах железного коагулянта от 50 до 100 мг/л следует брать для анализа 2 мл испытуемой воды, при дозах выше 100 мг/л достаточно брать 1 мл испытуемой воды.

Примечание. В случае отсутствия сульфосалициловой кислоты можно пользоваться обычным родановым методом колориметрического определения железа, добавляя к пробе воды на холоде несколько кристаллов персульфата аммония для окисления закисного железа. Расчет не меняется.

Цена 2 руб.