

**Департамент образования и науки города Севастополя
Государственное бюджетное образовательное учреждение
Центр дополнительного образования
«Малая академия наук»**

**ФЕРРАТ НАТРИЯ – ЭКОЛОГИЧЕСКИ ДРУЖЕСТВЕННЫЙ
РЕАГЕНТ ВОДОЧИСТКИ**

Работу выполнил:

Устинов Роман Олегович

учащийся творческого объединения
«Творческая химия» ГБОУ ЦДО «Малая
академия наук», ГБОУ СОШ»22,10 класс;

Научный руководитель:

Бежин Николай Алексеевич,

преподаватель д. о., руководитель
творческого объединения «Творческая
химия» ГБОУ ЦДО «Малая академия
наук», к.т.н., руководитель проекта отдела
«Биогеохимии моря» ФГБУН ФИЦ МГИ
РАН

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Раздел 1. Теоретический раздел	5
1.1 Современные методы очистки воды	5
1.2 Способы получения ферратов (VI)	7
Раздел 2. Методика исследований	11
Раздел 3. Результаты исследований и их обсуждение	14
Выводы	17
Заключение	18
Список использованной литературы	19

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Водные ресурсы являются вопросом стратегической важности для любой страны. В настоящее время и в будущем состояние водных ресурсов является определяющим показателем качества жизни людей, а также сильно влияет на экономику и уровень безопасности страны.

Во всем мире пресная вода признана главным товаром XXI века. В России огромные водные богатства, на ее территории насчитывается около шести тысяч рек и озер. По водным запасам наша страна находится на втором месте в мире.

Однако сейчас проблема очистки питьевой воды стоит очень остро. Это связано с тем, что объемы промышленных загрязнений постоянно растут, при этом ужесточаются стандарты качества воды. К тому же в последнее время возникают новые факторы загрязнения воды, такие как загрязнение из-за природных катаклизмов, промышленных аварий, а также существующая угроза террористических актов в отношении питьевой воды. Все это ведет к повышению требований к эффективности используемых методов очистки воды, а также к поиску новых технологий очистки воды.

В настоящее время проблема очистки питьевой воды состоит в поиске реагента, который будет удалять большую часть микробов и загрязнителей, а также побочных продуктов реакции, которые образуются широко используемым на данный момент хлором [1].

Поэтому можно с уверенностью сказать, что проблема очистки воды является фундаментальной современной научной проблемой. Для ее решения в настоящей работе предлагается использовать инновационный реагент – раствор феррата (VI) натрия.

Феррат (VI) натрия является наиболее мощным из существующих окислителей и благодаря окисляющему действию разлагает многие токсичные химические вещества до малотоксичных продуктов, а также благодаря дезинфицирующему действию вызывают гибель микроорганизмов. К тому же, продукт его разложения – гидроксид железа проявляет коагулирующее действие, обеспечивая тем самым дополнительную очистку воды путем коагуляции поллютантов.

Целью работы является получение экологически дружелюбного реагента водоочистки феррат натрия.

Для решения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

- рассмотреть современные методы очистки воды;
- изучить различные способы получения ферратов (VI);
- на основе изученных литературных данных собрать установку для электрохимического получения феррата (VI) натрия;
- провести лабораторные испытания по получению феррата (VI) натрия с количественным контролем образующегося продукта;
- по полученным результатам сделать вывод.

Научная новизна данной работы состоит в том, что проведены лабораторные испытания по получению феррата натрия (VI) с количественным

контролем образовавшегося продукта. Установлено, что образование феррата (VI) натрия идет в течение 2 часов, после чего наработка прекращается. Данный метод безопасен, эффективен и к тому же может быть реализован на месте применения реагента.

Объект исследования: феррат (VI) натрия.

Предмет исследования: электрохимический метод получения феррата (VI) натрия.

Методы исследования. Использовались гравиметрические и титриметрические методы анализа, а также электрохимические методы получения вещества.

Личный вклад учащегося. Устинов Р.О., под руководством научного руководителя Бежина Н.А., принимал участие в сборе электрохимической установки, выполнял работы по получению феррата (VI) натрия, участвовал в проведении измерений и в процессе обработки данных, выполнял анализ полученных результатов.

Исследование проведено в Федеральном государственной бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН» в октябре – ноябре 2020 года.

РАЗДЕЛ 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Современные методы очистки воды

Биологические методы очистки природных вод общепризнанно относятся к наиболее экономически эффективным и экологически приемлемым для удаления так называемых макрозагрязнений (соединений азота, серы, фосфора, биоразлагаемых органических веществ и т.п.) [1]. Но данные методы часто являются недостаточно эффективными по отношению к микрозагрязнениям, особенно ксенобиотической природы.

К характерным микрозагрязнениям такого рода относятся загрязнения грунтовых вод фосфонатными пестицидами из-за интенсивного сельского хозяйства, диоксинами и их производными, метилтретбутиловым эфиром, являющимся популярной добавкой к бензину с целью повышения октанового числа и др. Также не малую угрозу представляют компоненты бытовой химии, средств гигиены человека, фармацевтических препаратов и др., которые попадают в системы канализации и практически не разлагаются на традиционных биологических станциях очистки сточных вод. При этом большая часть приведенных выше загрязнителей обладают ярко выраженным канцерогенным или мутагенным действием, что и представляет тихую, но очень грозную опасность всему живому.

В настоящее время наиболее распространенными веществами, используемыми для доочистки воды, являются хлор, диоксид хлора, гипохлорит натрия, перекись водорода, озон, реактив Фентона и др.

Однако использование хлора, диоксида хлора и гипохлорита натрия вызывает загрязнение окружающей среды хлором. К тому же, в некоторых случаях использование данных веществ может привести к образованию даже более токсичных продуктов, чем исходные загрязнители. А газообразные окислители не могут применяться для очистки таких объектов, как, например, водоемы.

Поэтому актуальной задачей является создание более эффективных экологически чистых методов очистки вод, загрязненных устойчивыми к биоразложению микрозагрязнителями.

Новым и довольно перспективным способом очистки воды является применение сильнейших из известных окислителей – ферратов (VI) щелочных металлов, кроме того, обладающих выраженными свойствами флокулянтов и коагулянтов [2-5].

Ферраты (VI) относятся к одним из наиболее мощных существующих окислителей и благодаря окисляющему действию разлагают многие токсичные химические вещества до малотоксичных продуктов, а также благодаря дезинфицирующему действию вызывают гибель микроорганизмов. В кислой среде потенциал FeO_4^{2-} -иона выше потенциала озона и является самым высоким в ряду применяемых в настоящее время соединений (таблица 1.1) [5, 6].

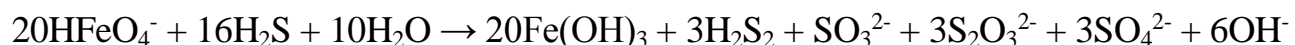
Таблица 1.1

Сравнение восстановительных потенциалов различных окислителей

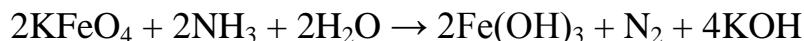
Окислитель	Реакция	E° , В
Диоксид хлора	$\text{ClO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 5e \rightarrow \text{Cl}^- + 4\text{OH}^-$	0,85
	$\text{ClO}_2 + 4\text{H}^+ + 5e \rightarrow \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	1,50
Гипохлорит	$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	0,88
	$\text{HClO} + \text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	1,50
Хлор	$\text{Cl}_{2(\text{r})} + 2e \rightarrow 2\text{Cl}^-$	1,36
Перхлорат	$\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+ + 8e \rightarrow \text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	1,38
Перманганат	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,51
	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,69
Пероксид водорода	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1,77
Озон	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	2,07
Феррат (VI)	$\text{FeO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3e \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	2,20

Ферратами (VI) легко нейтрализуют токсичные вещества [7]:

– окисляет сероводород, который приводит к снижению иммунобиологической реакции и может вызывать острые и хронические отравления с разного рода последствиями:



– окисляет аммиак, который приводит к замедлению пульса, а также вызывает резкое раздражение глаз, верхних дыхательных путей, вплоть до рефлекторной задержки дыхания:



– окисляет цианид, который вызывает головную боль, головокружение, жжение в горле и глазах, одышку, тахикардию, повышение артериального давления, потерю сознания и даже смерть:



– окисляет тиоцианат, который нарушает работу обмена веществ, поражает центральную и периферическую нервную систему, а также вызывает нарушения сердечно-сосудистой системы:



– окисляет тиоацетамид, который вызывает серьезное раздражение глаз и кожи, а также может вызвать раковые заболевания:



– окисляет тиомочевину, которая токсична и способствует развитию рака:



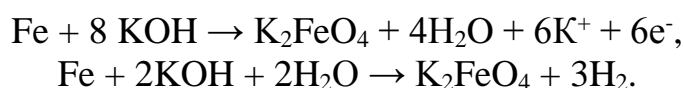
Продуктом разложения в растворе самих ферратов является гидроксид железа, т.е. малотоксичный продукт. К тому же, гидроксид железа проявляет

коагулирующее действие, он выделяется в виде коллоидных агрегатов с очень развитой поверхностью, которые эффективно адсорбируют частицы суспензий, ионы тяжелых металлов, а также органические остатки, обеспечивая тем самым дополнительную очистку воды путем коагуляции поллютантов.

1.2 Способы получения ферратов (VI)

В настоящее время разработано множество способов получения ферратов (VI) щелочных металлов.

Современным методом производства феррата (VI) является мембранный электролиз [2, 7–11]:



Электролиз ведут в цилиндрическом сосуде, в который установлен пористый керамический стакан, который укрепляется в пробковом кольце, пропитанном парафином. Данный стакан играет роль диафрагмы и должен касаться дна сосуда. Анодом выступает полоса трансформаторного железа, которая плотно прилегает к внешней стенке диафрагмы. В качестве катода выступает железная сетка, намотанная на цилиндр. Анод непосредственно припаивается к прочной железной проволоке, которая идет через стеклянную трубку в пробке. С целью изоляции от атмосферы заливают лицейном зазор между стеклянной трубкой и проволокой. В другие отверстия в пробке вставляют термометр и трубку для выхода в атмосферу с двумя шаровыми расширениями, наполненными 30%-ным KOH, а также короткую трубку для отбора проб.

Непосредственно перед началом процесса анод и катод промывают разбавленной (1:1) соляной кислотой, после чего водой. Во внешнее пространство, которое отделяется диафрагмой, заливают 200 мл 40%-ого раствора гидроксида натрия, а во внутреннее – 60 мл. Электролизер закрывают и снаружи охлаждают ледяной водой. Вначале включают анод как катод и в течение 3 – 5 мин подвергают раствор электролизу при силе тока 3,5 А и напряжении 110 В. Затем меняют полюса электролизера и ведут дальнейший электролиз в течение 4 ч при 5,8 В, при этом следят в анодном пространстве за температурой, она не должна превышать 35 °С.

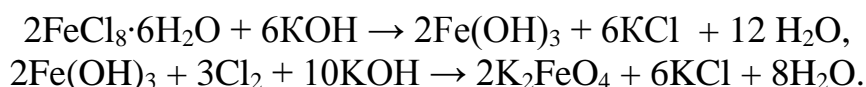
После отключения тока центрифугированием или быстрым фильтрованием освобождают анолит от незначительного количества Fe(OH)₃ и охлаждают раствор до 10 °С. Затем при дальнейшем охлаждении и непрерывном перемешивании добавляют в раствор 75 г твердого KOH и оставляют при 0 °С на 1 ч с целью завершения реакции. Выделившийся K₂FeO₄ быстро фильтруют, промывают метанолом, охлажденным во льду, и сушат над P₄O₁₀ в вакууме. Из анолита, в котором спустя 4 ч электролиза концентрация K₂FeO₄ составляет приблизительно 0,15 М, возможно получить 5 г (~95% основного компонента). Обычно продукт загрязнен карбонатом марганца (~ 0,1%), а также компонентами материала диафрагмы. Однако это возможно избежать, если

использовать диафрагму из политетрафторэтилена или другого полимерного материала. Выход по току составляет приблизительно 25 %.

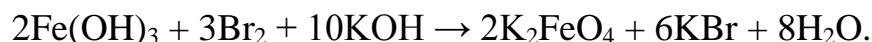
Данный метод безопасен, эффективен и к тому же может быть реализован на месте применения реагента. Также к преимуществам мембранного электролиза по сравнению с неразделенной ячейкой относятся значительное увеличение выхода по току и низкое энергопотребление, которое связано с проточной выработкой феррата с адаптивным изменением производительности и предотвращением разложения феррата на катоде, к тому же в отличие от электролиза в неразделенной ячейке, где применяется при неизменной токовой нагрузке непроточный режим. Еще к одному плюсу мембранного электролиза для получения феррата (VI) относится изоляция газообразного водорода, который отводится из катодной камеры, от газообразного кислорода, который образуется при разложении феррата. Благодаря разделению камер опасность получения взрывоопасных смесей остаточного кислорода и водорода минимальна, к тому же исключается потребность в инертной газовой продувке, которая необходима для неразделенной ячейки [2].

В статье [8] также предлагается получать феррат электрохимически, но с использованием вторичного железосодержащего сырья.

Не менее распространённым способом получения феррата (VI) является окисление хлором [7, 9]:



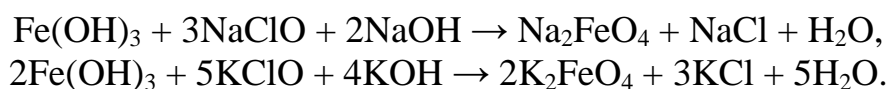
Также возможно окисление в сильнощелочной среде и другими окислителями [7, 12], например, Br_2 , NaOCl и т.п.:



Для проведения окисления в колбу с мешалкой, трубками для подачи и вывода газов, а также термометром, вносят 13,5 М раствор KOH и 2 М раствор FeCl_3 в количествах 1,6 л и 0,1 л соответственно. Нагревают при энергичном перемешивании содержимое колбы до 45 – 50 °С. После чего в течение 45 мин пропускают Cl_2 , контролируя температуру раствора, она не должна превышать 55 °С. Вначале выпадает осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$, который постепенно переходит в хорошо растворимый темно-фиолетовый феррат K_2FeO_4 , кристаллизация феррата которого наступает спустя несколько минут. Затем еще 15 минут выдерживают температуру раствора 45 – 50 °С, после чего погружают колбу в смесь поваренной соли со льдом с температурой – 10 °С. Образовавшийся осадок фильтруют и отжимают. Промывают на фильтре смесь K_2FeO_4 , KCl и $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 200 мл ледяной воды при перемешивании. Фильтрат с K_2FeO_4 и KCl охлаждают до – 5 °С и разбавляют 400 мл 20 М KOH , после чего охлаждают в ледяной воде в течение 30 мин, при этом выпадает дополнительное количество K_2FeO_4 и KCl . Осадок объединяют на фильтре и промывают 500 мл метанола охлажденного до – 10 °С, с целью полного удаления KCl промывание проводят несколько раз.

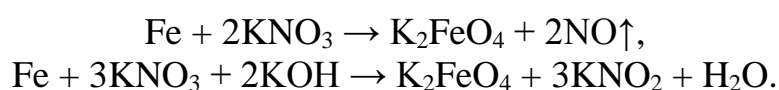
Выход K_2FeO_4 составляет приблизительно 8 – 10 г (< 20 – 25% от теоретического).

Согласно [12] возможно получение феррата путем окисления гипохлоритом натрия. Для этого Fe_2O_3 смешивают с избытком KOH, полученную смесь размалывают. После измельчения, смесь подвергают обжиганию горелкой. Реакцию ведут пока смесь не прекращает пузыриться и не образуется твердая корка. Полученному продукту дают остыть. Далее остывший продукт измельчают и добавляют в раствор гипохлорита и гидроксида калия:



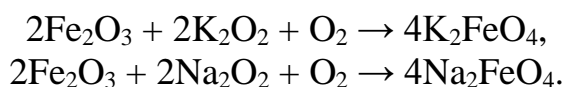
Раствор нагревают до растворения, тщательно перемешивая. Оставляют смесь в холодном месте. Затем порционно добавляют KOH, пока не всплывает большое количество кристаллов K_2FeO_4 и не исчезает фиолетовый окрас смеси. Оставляют смесь до полного охлаждения. Далее фильтруют полученную смесь, отделяя кристаллы. После чего сушат кристаллы продуванием воздуха в фильтре. Кристаллы извлекают из фильтра, и помещают в вакуум эксикатор. После чего их сушат около суток:

В [7, 12] предлагается получать феррат методом сплавления при 400 – 420 °С. Для этого в тигле нитрат калия или смесь нитрата калия и едкого калия смешиваются с железными опилками:

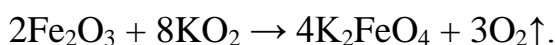


После чего это все зажигается с помощью зажигательной смеси. Смесь становится похожа на лаву, раскаляясь докрасна. Плав выщелачивается водой.

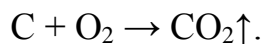
Аналогично в [7, 12] предлагается получать феррат, прокаливая оксид железа с едким натром или калием или с пероксидом натрия или калия при 400 – 700 °С при продувке кислорода:



В работе [13, 14] феррата калия (K_2FeO_4) получают методом высокотемпературного самораспространяющегося синтеза. Для этого готовят шихту, смешивая в определенном соотношении исходные компоненты – горючее, технический надпероксид калия и оксид железа (III). Полученную смесь помещают в реактор и уплотняют. За счет внешнего тепла разогревают шихту до температуры порядка 600 °С с целью инициирования взаимодействия исходных компонентов. После инициирования в начале идет эндотермическая реакция надпероксида калия с оксидом железа (III), в результате чего образуется феррат калия и кислород:



Часть образующегося кислорода взаимодействует с горючим с образованием углекислого газа:

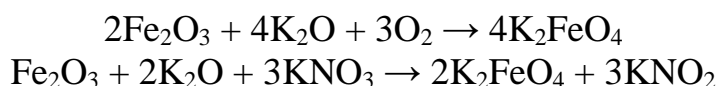


При этом тепловая энергия, которая выделяется, непосредственно способствует последующему протеканию основной эндотермической реакции.

Горючее при этом полностью сгорает без твердого остатка. Полученный продукт охлаждают и размалывают в порошок.

Согласно [12] возможно получать феррат (VI) натрия прокаливанием при 400 – 600 °С феррита натрия $Na_2Fe_2O_4$ с трехкратным избытком соды Na_2CO_3 в течение четырех часов в инертной атмосфере с последующим прокаливанием в токе кислорода в течение одного часа.

Также [7] растворы ферратов (VI) получают путем взаимодействия оксида железа(III) с оксидом калия в токе воздуха или кислорода при нагревании или с оксидом калия и нитратом калия при нагревании:



Производство сухого и стабильного феррата в виде порошка в одном центральном предприятии является не оправданной, т.к. после производства возникает необходимость упаковывать и герметически закрыть продукт, исключая возможность соприкосновения его с воздухом или водой, пока продукт не поступит на место использования.

Технология производства ферратов на месте потребления является наиболее оправданной, тем более она дешевле по сравнению с производством гипохлорита в том числе на месте, а также по сравнению с обработкой озоном и ультрафиолетом как в плане капитальных затрат, так и в плане эксплуатации и технического обслуживания в ценах за 1 л реагента.

Таким образом, широкое использование ферратов щелочных металлов при очистке питьевой воды дает возможность в одном соединении иметь экологически чистый и безопасный окислитель и коагулятор.

РАЗДЕЛ 2 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалы. Использовали гидроксид натрия (ч.д.а.), соляная кислота (х.ч.), серная кислота 0,1 н. фиксанал, йодид калия (ч.д.а.), тиосульфат натрия 0,1 н. фиксанал, крахмал (ч.д.а.) производства ООО «АО РеаХим» (г. Москва, Россия).

Приготовление 40%-ого раствора гидроксида натрия. Для получения 40%-ого раствора гидроксида натрия взвешивали 400 г гидроксида натрия и растворяли в 600 мл дистиллированной воды при постоянном перемешивании (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Получение 40%-ого раствора гидроксида натрия

Подготовка установки для электролиза. Для проведения электролиза в цилиндрический сосуд помещают полупроницаемое катодное пространство, представляющее собой также цилиндр и занимающее 10 % от объема исходного сосуда. В качестве анода используют полосу трансформаторного железа 40×8 см², в качестве катода – графитовый стержень диаметром 1,5 см.

Перед началом опыта анод промывают разбавленной (1:1) соляной кислотой, а затем водой.

В готовой установке с залитой 40%-ой щелочью на 5 минут меняют анод и катод местами, устанавливают ток 1,5А, напряжение 6-7 В.

Электролиз, получение феррата натрия. Возвращают анод и катод в нормальное положение, устанавливают ток 3 А, напряжение 4-6 В. Начинается образование феррата, наблюдается изменение окраски на пурпурно-фиолетовую (рис. 2.2).

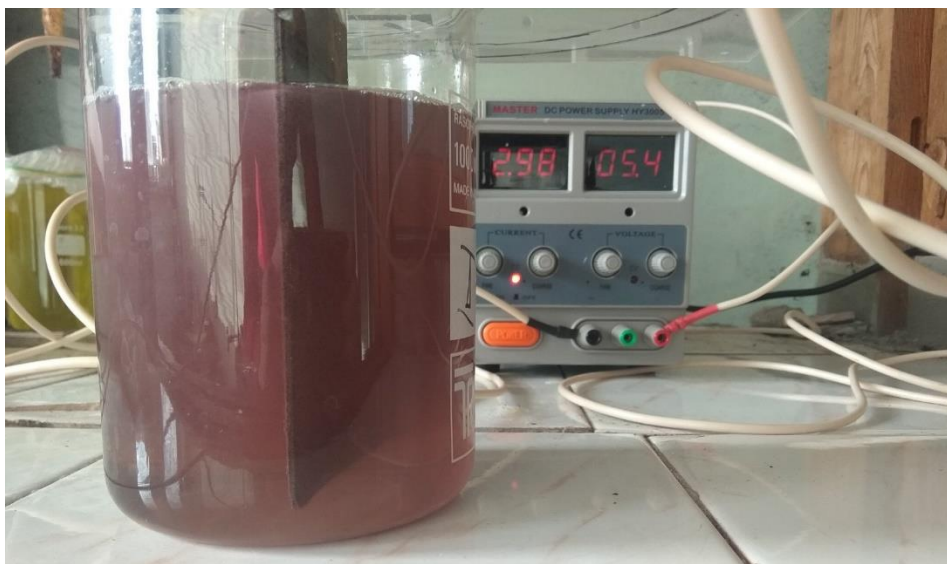


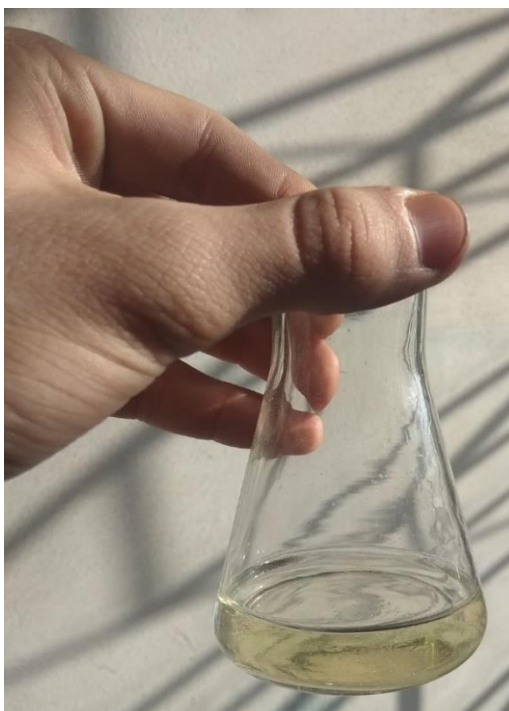
Рисунок 2.2 – Начало получения феррата

Наработку феррата проводят в течении 2-2,5 часов (рис. 2.3). Контроль количества образовавшегося феррата проводят путем титрования. Отбирают 1 мл аликвоты раствора феррата, нейтрализуют 10 мл 1 М серной кислоты, добавляют 10 мл 5% йодида калия.

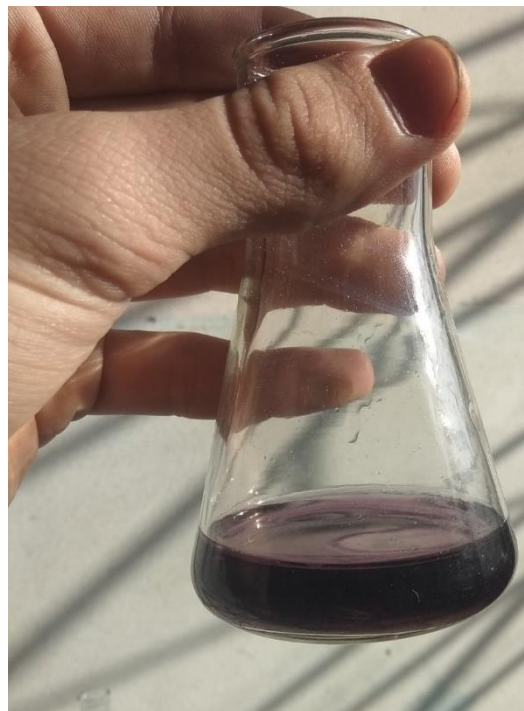
Выдерживают раствор в течении 10-15 минут, т.к. феррат окисляет йодид медленно. После чего титруют 0,001 М тиосульфатом натрия до изменения желтоватой окраски (рис. 2.4а) на бесцветную. Добавляют несколько капель 1% крахмала, цвет раствора меняется на сине-фиолетовый (рис. 2.4б). После чего продолжают титрование до бесцветной окраски (рис. 2.5).



Рис.2.3 – Нарработка феррата натрия



a



б

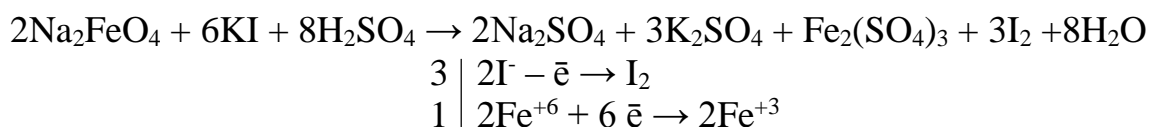
Рис.2.4 – Аликвота раствора феррата натрия: *a* – с добавкой 10 мл 1 М серной кислоты и 10 мл 5% йодида калия; *б* – после первого этапа фильтрования с добавкой 1% крахмала



Рис. 2.5 – Титрование феррата натрия

РАЗДЕЛ 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При титровании феррата идет реакция:



Отсюда концентрация образовавшегося феррата:

$$C_{\text{Na}_2\text{FeO}_4} \cdot V_{\text{Na}_2\text{FeO}_4} = 3 \cdot C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}, \quad (1)$$

$$C_{\text{Na}_2\text{FeO}_4} = \frac{3 \cdot C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}}{V_{\text{Na}_2\text{FeO}_4}}. \quad (2)$$

где $C_{\text{Na}_2\text{FeO}_4}$ – молярная концентрация Na_2FeO_4 , М;

$C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ – молярная концентрация $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, М;

$V_{\text{Na}_2\text{FeO}_4}$ – объем Na_2FeO_4 , взятого на титрование, л.

$V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ – объем $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, пошедшего на титрование, М.

Масса образовавшегося феррата:

$$m_{np} = C_{\text{Na}_2\text{FeO}_4} \cdot M_{\text{Na}_2\text{FeO}_4} \cdot V_{p-pa}, \quad (3)$$

где V – объем анализируемого раствора, л (0,8 л);

M – молярная масса феррата натрия, г/моль (166 г/моль).

В их основе электрохимических процессов лежат законы Фарадея. Согласно первому закону, масса вещества (m), выделившегося на электроде при прохождении постоянного тока (I) через электролит, прямо пропорционально силе тока и времени его прохождения (τ):

$$m_{теор} = q \cdot I \cdot \tau = q \cdot Q \text{ г}, \quad (4)$$

где q – электрохимический эквивалент, г-экв/(А·ч);

Q – количество электричества, Кл.

Согласно второму закону Фарадея, электрохимические эквиваленты веществ пропорциональны их химическим эквивалентам (химический эквивалент металла равен частному от деления атомной массы металла на валентность). Второй закон Фарадея выражают уравнением:

$$q = \frac{\mathcal{E}}{F} \text{ г-экв/(А·ч)}, \quad (5)$$

где \mathcal{E} – химический эквивалент веществ;

F – число Фарадея, А·ч/г-экв ($F = 26,8 \text{ А·ч/г-экв}$).

Объединив оба закона, получаем формулу для расчёта теоретической массы вещества, выделившегося на электроде:

$$m_{теор} = \frac{\mathcal{E}}{F} \cdot I \cdot \tau \text{ г.} \quad (6)$$

Расчёты массы вещества, которая выделится на электродах, по уравнениям (4) – (6) дают точные результаты в том случае, когда ток, проходящий через электролизёр, затрачивается полностью на выделение полезных продуктов. Но часто на практике часть тока тратится непроизводительно: утечка в землю, короткие замыкания электродов, выделение ионов водорода, обратное растворение катодного металла в кислых электролитах и других побочных процессов. Поэтому приходится учитывать только полезную часть тока, чтобы рассчитать производительность электролизёра по катодному металлу. Для этого вводится выходом по току (η_T) – коэффициент использования тока. Выход по току представляет собой отношение массы металла, фактически полученного при электролизе, к тому его количеству, которое должно было получиться в соответствии с законами Фарадея:

$$\eta_T = \frac{m_{np}}{m_{теор}}, \quad (7)$$

где m_{np} – масса феррата, фактически полученного при электролизе, г.

Полученные результаты измерений и расчетов представлены в таблице 3.1. Установленная зависимость массы образовавшегося феррата натрия от времени проведения электролиза на рисунке 3.1.



Рис. 3.1 – Зависимость массы образовавшегося феррата натрия от времени проведения электролиза

Таблица 3.1

Результаты измерений и расчетов

Время, мин	Объем тиосульфата, мл	Концентрация феррата, мМ	Масса феррата $m_{пр}$, Г	Масса теор $m_{теор}$, Г	Выход по току η_T
30	5,4	0,0162	2,1514	1,5482	1,3896
60	6,5	0,0195	2,5896	3,0964	0,8363
90	7,5	0,0225	2,9880	4,6446	0,6433
120	8,1	0,0243	3,2271	6,1927	0,5211
150	8,1	0,0243	3,2271	7,7409	0,4169

Таким образом на основании изученных литературных данных собрана установка для электрохимического получения феррата (VI) натрия. Установлено, что образование феррата (VI) натрия идет в течение 2 часов, после чего наработка прекращается.

Данный метод безопасен, эффективен и к тому же может быть реализован на месте применения реагента. Феррат одновременно является экологически чистый и безопасный окислителем и коагулятором. Продуктом разложения в растворе феррата является гидроксид железа, т.е. малотоксичный продукт, который проявляет коагулирующее действие, он выделяется в виде коллоидных агрегатов с очень развитой поверхностью, которые эффективно адсорбируют частицы суспензий, ионы тяжелых металлов, а также органические остатки, обеспечивая тем самым дополнительную очистку воды путем коагуляции загрязнителей.

ВЫВОДЫ

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрены современные методы очистки воды.
2. Изучены различные способы получения ферратов (VI).
3. Собрана установка для электрохимического получения феррата (VI) натрия.
4. Проведены лабораторные испытания по получению феррата натрия (VI) с количественным контролем образовавшегося продукта. Установлено, что образование феррата (VI) натрия идет в течение 2 часов, после чего наработка прекращается.

Данный метод безопасен, эффективен и к тому же может быть реализован на месте применения реагента. Феррат (VI) натрия является наиболее мощным из существующих окислителей и благодаря окисляющему действию разлагают многие токсичные химические вещества до малотоксичных продуктов, а также благодаря дезинфицирующему действию вызывают гибель микроорганизмов. Продуктом разложения в растворе феррата является малотоксичный гидроксид железа, который проявляет коагулирующее действие, обеспечивая тем самым дополнительную очистку воды путем коагуляции поллютантов.

Поставленные цели и задачи были выполнены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дальнейшем в рамках выполнения данной работы планируется получение феррата (VI) натрия в кристаллическом виде.

По итогам проведения работы рекомендуется внедрение способа получения феррата (VI) натрия на станции водоочистки с целью использования в качестве окислителя токсичных химических веществ, дезинфицирующего средства и коагулянта поллютантов, а также для замены окислителей на основе хлора, которые могут образовывать побочные токсичные продукты реакции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хенце М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван; пер. с англ. – М.: Мир; 2006. – 480 с.
2. Аракчеев Е.Н. Современная перспективная технология обеззараживания воды и стоков / Е.Н. Аракчеев, В.Е. Брунман, М.В. Брунман, А.Н. Волков, В.А. Дьяченко, А.В. Кочетков, А.П. Петкова // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 4. – С. 25–31.
3. Sharma V.K. Oxidation of inorganic compounds by ferrate (VI) and ferrate (V): One-electron and two-electron transfer steps / V.K. Sharma // Environmental Science & Technology. – 2010. – Vol. 44, No. 13. – P. 5148–5152.
4. Jiang J.Q. Progress in the development and use of ferrate salt as an oxidant and coagulant for water and wastewater treatment / J.Q. Jiang // Water Research. – 2002. – Vol. 36, No. 6. – P. 1397–1408.
5. Homonnay Z. Characterization of FeVI and Other Oxidation States of Iron by Spectroscopic Methods / Z. Homonnay, Yu.D. Perfilief, V.K. Sharma // Proceedings of International Symposium. 31 May 2004, Prague. – p. 55–63.
6. Dedushenko S.K. Mossbauer study of hexavalent iron compounds / S.K. Dedushenko, Yu.D. Perfiliev, M.G. Goldfeld, A.I. Tsapin // Hyperfine Interactions. – 2001. – Vol. 136–137. – P. 373–376.
7. Перфильев Ю.Д., Куликов Л.А., Дедушенко С.К. Новая ферратная технология очистки воды / Ю.Д. Перфильев, Л.А. Куликов, С.К. Дедушенко // Сборник тезисов выставки инновационных проектов. 20 ноября 2008 г. Москва. – С. 22–24.
8. Головки Д.А. Особенности электрохимического получения растворов феррата (VI) натрия из вторичного сырья / Д.А. Головки // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. – 2013. – № 47 (1020). – С. 26–33.
9. Руководство по неорганическому синтезу: В 6-ти т. Т. 5: Пер. с нем. / Под ред. Г. Брауэра. – М.: Мир, 1985. – 360 с.
10. Русинов Д. Ю. Синтез ферратов щелочных металлов в расплавах с использованием переменного тока / Д. Ю. Русинов, С. В. Смирнов // Проблемы теоретической и экспериментальной химии : Тезисы докладов XVI Российской молодежной научной конференции, посвященной 85-летию со дня рождения профессора В.П. Кочергина. 25-28 апреля 2006 г. Екатеринбург. – С. 152.
11. Аракчеев Е.Н. Экспериментальное обоснование целесообразности обеззараживания и очистки воды и стоков ферратом натрия / Е.Н. Аракчеев, В.Е. Брунман, М.В. Брунман, А.В. Коняшин, В.А. Дьяченко, А.П. Петкова, Р.Э. Некрасов // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 3. – С. 216–222.
12. Агишева А.А. Перспективы развития ферратных технологий / А.А. Агишева, А.Н. Бакирова, Б.М. Токбанов, А.Е. Казтаев // Вестник Актюбинского регионального государственного университета имени К. Жубанова. – 2014. – № 1 (35). – С. 19–23.

13. Андреев В.П. Ферратные технологии / В.П. Андреев, Ю.Б. Рылов // Труды ТГТУ. – 2008. – № 21. – С. 6–7.

14. Пат. 2356842 Российская Федерация, МПК C01G 49/00, C01D 13/00. Способ получения феррата (VI) натрия / Ю.А. Ферапонтов, М.А. Ульянова, Ю.Б. Рылов, В.П. Андреев, заявитель и патентообладатель ОАО «Корпорация «Росхимзащита». – № 2007130581/15, заявл. 09.08.2007; опубл. 27.05.2009, Бюл. № 15. – 5 с.