



Головки Д. А.,
Головки И. Д.,
Шевченко Л. В.,
Гончарова И. В.

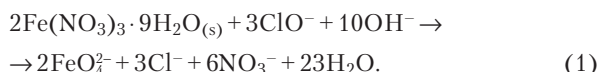
МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРАТОВ(VI) ИЗ ГИДРОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

Изучены закономерности синтеза ферратов(VI) из гидроксидов железа гипохлоритным способом. Установлено, что при использовании $Fe(OH)_2$ кроме феррат-анионов FeO_4^{2-} образуется побочный продукт – магнетит. Исследовано влияние температуры, соотношения реагентов и времени на выход соединений $Fe(VI)$. Разработаны практические рекомендации для получения ферратов(VI) на основе гидроксидов $Fe(II)$ и $Fe(III)$.

Ключевые слова: синтез ферратов(VI), гидроксид натрия, гипохлорит, гидроксиды $Fe(II)$ и $Fe(III)$.

1. Введение

Значительно возросший в последние годы интерес к ферратам(VI) – одним из самых сильных окислителей – обусловлен перспективой их широкого применения для решения экологических проблем [1–4]. Однако высокая стоимость соединений $Fe(VI)$, получаемых по традиционным технологиям, стимулирует поиск путей снижения затрат на их производство. Химический синтез ферратов(VI) сводится к окислению соединений $Fe(II)$ или $Fe(III)$ с помощью сильных окислителей (O_3 , Cl_2 , ClO^- , Na_2O_2 и др.) [1–3, 5–8]. Так, наилучшие результаты получены при взаимодействии гипохлорита с кристаллогидратом нитрата железа(III):



Однако эта технология из-за большого количества отходов подвергается обоснованной критике. Кроме того, для ее проведения с удовлетворительным выходом $Fe(VI)$ требуется использование нитрата железа наивысшей степени чистоты [8].

Очевидно, что использование гидроксидов железа(II) или (III), получаемых из растворов солей, вместо особо чистых кристаллических солей с экономической точки зрения для синтеза ферратов представляется более целесообразным. В этой связи актуальным является поиск путей совершенствования технологии получения соединений $Fe(VI)$ на основе гидроксидов железа с целью улучшения показателей синтеза и снижения себестоимости производства.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом данного исследования являются процессы, происходящие при окислении гидроксидов $Fe(II)$ и $Fe(III)$ анионом ClO^- в концентрированных щелочных растворах.

Рациональный подбор доступного, дешевого и безопасного исходного сырья является основой любой химической технологии. Для усовершенствования синтеза ферратов предложено в гипохлоритный раствор вводить

не твердые соли, а синтезированные по специальной методике гидроксиды железа. Такое альтернативное технологическое решение должно привести не только к ускорению синтеза соединений $Fe(VI)$, но и упростить очистку маточного раствора от посторонних анионов, а также обеспечить управление чистотой и выходом целевого продукта. Последний во многом зависит от различных факторов, главными из которых являются: температура, продолжительность синтеза, концентрация и соотношение реагентов. Их влияние на эффективность процесса синтеза ферратов(VI) будет рассмотрена ниже.

3. Цель и задачи исследований

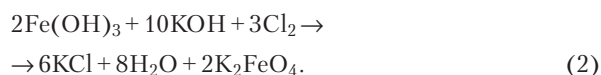
Цель исследования – изучить особенности синтеза ферратов(VI) из гидроксидов $Fe(II)$ и $Fe(III)$ гипохлоритным методом.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить химические превращения гидроксидов железа в ферраты в концентрированных щелочных растворах.
2. Исследовать влияние различных факторов на процесс окисления гидроксидов железа анионом ClO^- .
3. Разработать практические рекомендации для синтеза ферратов(VI) на основе $Fe(OH)_2$ и $FeO(OH)$.

4. Исследование существующих решений проблемы

Идея использования гидроксидов железа для синтеза ферратов не нова. Так, взаимодействие в щелочной среде гидроксида железа(III) с хлором было одним из первых успешных синтезов ферратов(VI) и в качестве классического примера приводится во многих руководствах по неорганической химии [5]:



Однако этот способ так и не получил широкого развития ввиду сложности процедур, присутствия в реакционной массе большого количества хлоридов и низкого выхода K_2FeO_4 , составляющего всего 20–25 %

от теоретического. К сожалению, теоретические основы технологии синтеза ферратов разработаны недостаточно и развиваются они в основном эмпирическим путем.

И хотя в дальнейшем некоторые недостатки были устранены (например, изменен порядок смешения реагентов [2, 6, 8, 9]), для этих технологий, как упоминалось выше, по-прежнему характерно большое количество отходов. Так, в результате протекания реакции (1), на каждый моль целевого продукта образуется примерно в четыре раза больше нитрат-анионов, что существенно усложняет технологический процесс и, в конечном счете, значительно удорожает себестоимость ферратов. Кроме того, при непосредственном внесении солей железа [6, 8, 9] в щелочной гипохлоритный раствор некоторая его часть превращается в основные соли [10], переход которых в ферраты затруднен.

С формальной точки зрения современные синтезы ферратов [2, 6, 8, 9] с использованием солей (сульфатов, хлоридов или нитратов) железа можно рассматривать как последовательные двухстадийные процессы. Вначале в результате взаимодействия соединений Fe(II) или Fe(III) с доминирующим в системе анионом OH⁻ образуются соответствующие гидроксиды, а затем последние окисляются гипохлоритом до FeO₄²⁻.

В [7] предложено получать ферраты путем барботаж озоном через суспензию Fe(OH)₃. Озон благодаря его высокой реакционной способности и большому значению окислительно-восстановительного потенциала имеет ряд преимуществ по сравнению с хлором или гипохлоритом. С экологической точки зрения, он является наиболее подходящим окислителем, поскольку в процессе синтеза в реакционной массе не происходит накопления посторонних анионов, например хлоридов, как в случаях использования Cl₂ или ClO⁻. Однако в силу ряда причин (взрывоопасность, низкая растворимость в концентрированных щелочных растворах, цена и др.) широкого применения в синтезе ферратов озон так и не получил. Синтезы на основе O₃ пригодны только в лабораторных целях, что связано также с весьма низким выходом ферратов [7].

Необходимо также добавить, что в [11] сообщается об электрохимическом окислении Fe(OH)₃ и FeO(OH) до Fe(VI) на алмазном допированном бором (АДБ) электроде. Однако если учесть крайне низкую производительность этого процесса и высокую стоимость АДБ электродов, то, очевидно, что и этот способ также не пригоден для промышленного производства ферратов.

О возможности получения ферратов гипохлоритным способом из гидроксида железа(II) было в 2015 году сообщено в [9], однако детальных исследований этого процесса не проводилось.

Фактически, синтез соединений Fe(VI) на основе гидроксидов железа является недостаточно изученным процессом. Восполнение этого пробела представляется перспективным, т. к. использование гидроксидов обещает определенные преимущества по сравнению с ныне применяемыми технологиями.

5. Методы исследования

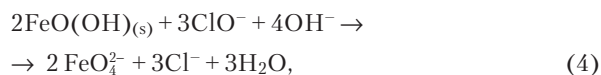
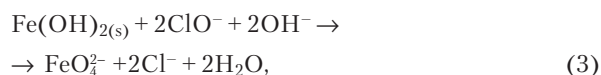
Ферратные растворы получали гипохлоритным способом из гидроксидов железа, синтезированных на основе NaOH (х.ч.), FeSO₄·7H₂O (х.ч.), Fe₂(SO₄)₃·9H₂O (х.ч.), FeCl₃·6H₂O (ч.д.а.), Fe(NO₃)₃·9H₂O (х.ч.) по методи-

кам, описанным в [2, 5, 8]. Синтез высушенных гидроксидов железа осуществляли в соответствии с [5]. В экспериментах также использовали рентгеноаморфные влажные осадки. В этом случае их вводили в заранее приготовленный охлажденный раствор 12–16 М NaOH, содержащий 1–4 моль/л гипохлорита натрия [8].

Концентрацию ClO⁻ устанавливали по методике, принципиально не отличающейся от приведенных в [12, 13]. Концентрацию анионов FeO₄²⁻ в растворе определяли спектрофотометрическим методом при длине волны λ = 505 нм (молярный коэффициент светопоглощения ε = 1070 л·см⁻¹·моль⁻¹).

6. Результаты исследований

Теоретическая степень превращения α гидроксидов железа(II) и железа(III) в анион FeO₄²⁻ в ходе реакций:



может быть оценена по значению стандартной константы равновесия K⁰, рассчитанной по уравнению:

$$K^0 = \exp(-\Delta G^0_T/RT). \quad (5)$$

Очень большие значения K⁰ (величины порядка 10³³ [9]) свидетельствуют о практически полном смещении равновесия этих реакций в сторону образования ферратов. Следовательно α_{теор} близка к 100 %.

Однако если исходить из анализа литературных данных [2, 3, 5, 8, 9], то на практике при проведении т. н. «мокрых» синтезов на основе гидроксидов железа или его солей экспериментальные значения α всегда меньше теоретического и составляют примерно 10–80 %. Поэтому были проведены исследования по установлению влияния различных факторов на эффективность процессов (реакции (3) и (4)). Результаты этих исследований представлены ниже.

Как видно из данных, представленных на рис. 1, кинетические кривые α = f(τ), имеют характерную форму с экстремумом, положение которого зависит от температуры. Так, с ростом t максимальное значение α достигается быстрее, однако выход целевого продукта при этом уменьшается. Аналогичная закономерность зарегистрирована и для гидроксида железа(III) (рис. 2).

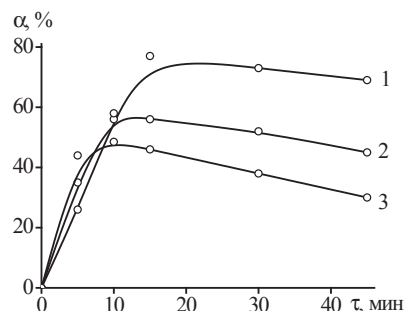


Рис. 1. Зависимость степени превращения Fe(OH)₂ в Fe(VI) от времени синтеза в 14,2 М NaOH при температурах: 1 – 10 °C; 2 – 30 °C; 3 – 50 °C. [ClO⁻]/[Fe(II)] = 3:1

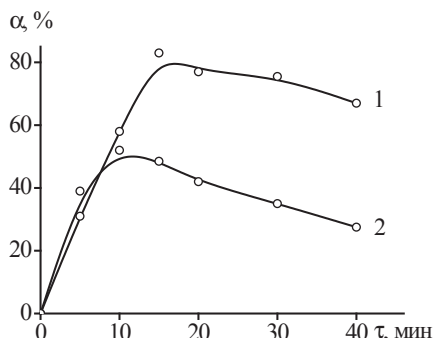


Рис. 2. Зависимость степени превращения $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в $\text{Fe}(\text{VI})$ от времени синтеза в 14,2 М NaOH при температурах: 1 – 10 °С; 2 – 50 °С. $[\text{ClO}^-]/[\text{Fe}(\text{III})] = 3:1$

Было установлено, что степень превращения зависит от соотношения реагентов $[\text{ClO}^-]/[\text{Fe}(\text{II})]$ (рис. 3) или $[\text{ClO}^-]/[\text{Fe}(\text{III})]$ (рис. 4).

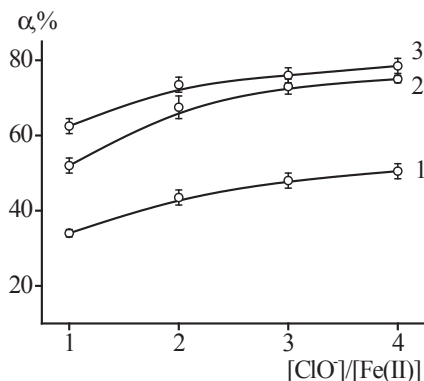


Рис. 3. Зависимость степени превращения $\text{Fe}(\text{OH})_2$ в $\text{Fe}(\text{VI})$ от соотношения концентраций реагентов в растворах гидроксида натрия: 1 – 12,1 М; 2 – 14,2 М; 3 – 16,0 М. $t = 10$ °С

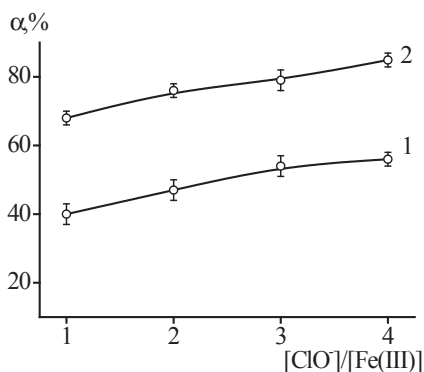


Рис. 4. Зависимость степени превращения $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в $\text{Fe}(\text{VI})$ от соотношения концентраций реагентов в растворах гидроксида натрия: 1 – 12,1 М; 2 – 16,0 М. $t = 10$ °С

С увеличением этого соотношения возрастает также и величина α .

Показано, что на численные значения α существенное значение оказывает также концентрация щелочи. Данные рис. 3, 4 свидетельствуют, что в изученном концентрационном интервале от 12 до 16 М OH^- наблюдается рост α с увеличением $\text{C}(\text{OH}^-)$. Причем такая тенденция справедлива для обоих гидроксидов железа. Вероятно, что такие результаты обусловлены повышением устойчивости ферратов с ростом концентрации анионов OH^- .

Необходимо добавить, что получение ферратов из $\text{Fe}(\text{OH})_2$ имеет некоторые особенности. Так обнаружено, что в не прореагировавшем после синтеза осадке содержится примесь магнетита Fe_3O_4 (подтверждено с помощью данных рентгенофазового анализа). Его содержание, как правило, невелико ($4 \pm 2\%$) и возрастает при повышении температуры. Эти результаты согласуются с данными работ [9, 10], в которых сообщается об образовании магнетита при окислении $\text{Fe}(\text{OH})_2$ кислородом или пероксидом [10] или $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ гипохлоритом [9]. Кроме того, синтез соединений $\text{Fe}(\text{VI})$ на основе гидроксида железа(II) сопровождается частичным окислением последнего кислородом. Применение инертной атмосферы при выполнении технологических операций нецелесообразно, поскольку наличие соединений $\text{Fe}(\text{III})$ не уменьшает выход $\text{Fe}(\text{VI})$.

Было установлено, что выход ферратов зависит от способа приготовления гидроксидов железа. Степень превращения свежесозаженных гидроксидов, как правило, выше по сравнению с постаревшими или высушенными образцами (табл. 1).

Таблица 1

Степень превращения влажных (w) и сухих (s) гидроксидов железа

Вещество	$\text{Fe}(\text{OH})_{2(w)}$	$\text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$	$\text{FeO}(\text{OH})_{(w)}$	$\text{FeO}(\text{OH})_{(s)}$
$\alpha, \%$	69 ± 3	48 ± 2	86 ± 3	57 ± 3

Примечание: $\text{C}(\text{OH}^-) = 16,0$ М; $[\text{ClO}^-]/[\text{Fe}(\text{III})] = 3:1$; $t = 10$ °С

Эти данные можно объяснить, если учесть, что физико-химические характеристики осадков гидроксидов железа существенно меняются при старении. Как отмечено в [10] это явление ускоряется с повышением pH среды и температуры синтеза или сушки. Известно [10], что для многих гидроксидов $\text{Me}(\text{II})$ старение протекает по механизму избирательной рекристаллизации, которая приводит к уменьшению их удельной поверхности $S_{уд}$ за счет укрупнения частиц. Кроме того, при старении наблюдается постепенное уменьшение количества межслоевой (несвязанной) воды. Поэтому можно полагать, что снижение α для $\text{Fe}(\text{OH})_2$ обусловлено именно этими факторами (табл. 1). Для $\text{Fe}(\text{OH})_3$ картина также может осложняться протеканием реакций поликонденсации и образованием соединений с мостиковыми связями, которые, как известно [10], проявляют меньшую реакционную способность в процессах растворения и окисления.

Гидроксиды полученные в одинаковых условиях, но из разных исходных солей также демонстрируют разные результаты (табл. 2).

Таблица 2

Степень превращения гидроксидов, полученных из солей $\text{Fe}(\text{III})$, в $\text{Fe}(\text{VI})$

Прекурсор	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
$\alpha, \%$	73 ± 4	77 ± 3	86 ± 3

Примечание: $\text{C}(\text{OH}^-) = 16,0$ М; $[\text{ClO}^-]/[\text{Fe}(\text{III})] = 3:1$; $t = 10$ °С

Очевидно, это связано с тем, что состав и структура гидроксидов зависит от типа аниона исходной железосодержащей соли. В [10] экспериментально доказано, что для ряда $\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^--\text{NO}_3^-$ степень обводнения осадков увеличивается, но в то же время уменьшается их

дисперсность. Кроме того, при использовании сульфатов и хлоридов осаждение сопровождается образованием примеси основных солей, которые менее химически активны по сравнению с гидроксидом железа(III).

Анализ экспериментальных данных, приведенных выше (с учетом сведений о структуре и свойствах гидроксидов железа [10]), дает возможность сделать ряд заключений, которые не только объясняют результаты по синтезу ферратов, но и позволят регулировать величину α . Так, для увеличения степени превращения необходимо использовать свежесаждаемые гидроксиды с минимальным количеством примесей основных солей и развитой поверхностью, не подвергавшиеся воздействию повышенных температур или сушке. Очевидно, что чем больше степень обводнения осадков, тем легче анионы ClO^- и OH^- будут проникать в межслоевое пространство, ускоряя при этом процессы образования феррат-анионов. Для их приготовления следует использовать охлажденные разбавленные растворы солей железа (предпочтительно нитратов) с медленным прибавлением осадителя (гидроксидов щелочных металлов или аммония). Иногда применение водного раствора аммиака может быть предпочтительным, поскольку при этом ряд примесных металлов, образующих прочные аммиакатные комплексы, оставаясь в растворе, не будут загрязнять осадки гидроксидов железа.

В заключение следует выделить основные отличия предлагаемого способа синтеза ферратов на основе гидроксидов железа от классического, описанного в [5]. Неудовлетворительные значения α обусловлены несовершенством технологии [5], в которой предусматривалось пропускание газообразного хлора через суспензию $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Очевидно, что Cl_2 быстро расходовался (вначале образовывался гипохлорит, который далее окислял гидроксид железа до FeO_4^{2-}). Образующиеся соединения $\text{Fe}(\text{VI})$ частично разлагались под влиянием повышенной температуры вследствие протекания экзотермических реакций и гидроксида металла, присутствующего в избытке, и имеющего большую удельную поверхность. Кроме того, высокая температура способствовала необратимой модификации гидроксида за счет старения. Следует добавить, что в процессе синтеза в маточном растворе в больших количествах накапливались хлорид-ионы, которые существенно затрудняли повторное его использование, а также ускоряли разложение ферратов. Поэтому для устранения этих недостатков в гипохлоритный способ синтеза нужно учесть следующие практические рекомендации:

- перед непосредственным взаимодействием реагентов следует вначале приготовить по специальным технологиям два прекурсора – гипохлоритный раствор и гидроксид железа;
- изменить порядок смешения реагентов: в гипохлоритный раствор небольшими порциями вносить свежесаждаемый гидроксид железа;
- время контакта реагентов не должно превышать 30 минут;
- синтез проводить при низких температурах ($\sim 10^\circ\text{C}$).

7. SWOT-анализ результатов исследований

Strengths. Сильной стороной данного исследования является доказательство принципиальной возможности эффективного использования гидроксидов железа

для синтеза ферратов вместо кристаллогидратов его солей. В этом случае не происходит загрязнения раствора посторонними анионами (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), что не только снижает расход особо чистой щелочи, но и существенно упрощает рециклинг маточного раствора. Причем для получения гидроксидов $\text{Fe}(\text{II})$ и $\text{Fe}(\text{III})$ можно использовать доступное и дешевое железосодержащее сырье. Кроме того при их синтезе возможно существенно уменьшить попадание вредных примесей в реакционную среду за счет дробного осаждения и образования аммиакатов некоторых металлов, которые остаются в растворе.

Weakness. Слабой стороной данного исследования является тот факт, что при получении ферратов из свежесаждаемого гидроксида железа(II) некоторая его часть окисляется кислородом. И, как следствие этого, значения α зависят от времени контакта влажного $\text{Fe}(\text{OH})_2$ с воздухом и также искажены неизбежным присутствием соединений $\text{Fe}(\text{III})$ в исходном железосодержащем сырье. Однако с практической точки зрения частичный переход $\text{Fe}(\text{II})$ в $\text{Fe}(\text{III})$ за счет окисления кислородом нельзя считать негативным явлением, поскольку присутствие соединений железа(III) не уменьшает выход целевого продукта.

Opportunities. Дополнительные возможности по повышению выхода соединений $\text{Fe}(\text{VI})$ могут быть реализованы после проведения полного факторного эксперимента для построения математической модели процесса синтеза ферратов из гидроксидов железа.

Threats. Сложности практического использования полученных результатов связаны с необходимостью включения в технологический цикл синтеза ферратов дополнительной операции получения гидроксидов железа, как Fe -содержащих прекурсоров. Поэтому в дальнейшем представляется необходимым расчет технико-экономических показателей с учетом достоинств и недостатков предлагаемого технологического решения.

Таким образом, SWOT-анализ позволяет определить основные этапы для усовершенствования и внедрения новой эффективной технологии синтеза соединений $\text{Fe}(\text{VI})$ на основе гидроксидов железа.

8. Выводы

1. В результате изучения химических превращений гидроксидов железа под влиянием аниона ClO^- в концентрированных щелочных растворах (12–16 М OH^-) установлено, что изменение порядка смешения реагентов и применение свежесаждаемых $\text{Fe}(\text{OH})_2$ или $\text{Fe}(\text{OH})_3$ приводит к существенному улучшению технологических показателей процесса. Так, в частности сокращается время синтеза (\sim в 2 раза) и увеличивается степень превращения на 50–60 %.

2. Исследовано влияние температуры, концентрации реагентов, времени проведения реакции на процесс синтеза ферратов(VI). В оптимальных условиях из гидроксида железа(II) образуется целевой продукт FeO_4^{2-} с выходом до 80 % и побочный продукт – магнетит Fe_3O_4 с выходом около 4 %. При окислении свежесаждаемого гидроксида железа(III) выход ферратов(VI) достигает ~ 86 %.

3. Обоснована перспективность использования в качестве исходного сырья для синтеза ферратов(VI) свежесаждаемых гидроксидов $\text{Fe}(\text{II})$ и $\text{Fe}(\text{III})$. Разработаны

рекомендації для практичного здійснення синтезу сполучення Fe(VI) гіпохлоритним способом.

Література

1. Sun, X. Ferrate(VI) as a green oxidant: Electrochemical generation and treatment of phenol [Text] / X. Sun, Q. Zhang, H. Liang, L. Ying, M. Xiangxu, V. K. Sharma // Journal of Hazardous Materials. – 2016. – Vol. 319. – P. 130–136. doi:10.1016/j.jhazmat.2015.12.020
2. Yates, B. J. Engineering aspects of ferrate in water and wastewater treatment – a review [Text] / B. J. Yates, R. Zboril, V. K. Sharma // Journal of Environmental Science and Health, Part A. – 2014. – Vol. 49, № 14. – P. 1603–1614. doi:10.1080/10934529.2014.950924
3. Sharma, V. K. Ferrates: Synthesis, Properties, and Applications in Water and Wastewater Treatment [Text] / V. K. Sharma // ACS Symposium Series. – American Chemical Society, 2008. – 524 p. doi:10.1021/bk-2008-0985
4. Farmand, M. Super-iron nanoparticles with facile cathodic charge transfer [Text] / M. Farmand, D. Jiang, B. Wang, S. Ghosh, D. E. Ramaker, S. Licht // Electrochemistry Communications. – 2011. – Vol. 13, № 9. – P. 909–912. doi:10.1016/j.elecom.2011.03.039
5. Брауэр, Г. Руководство по неорганическому синтезу [Текст] / Г. Брауэр. – М.: Мир, 1985. – Т. 5. – 360 с.
6. El Maghraoui, A. Effect of Degree of ClO⁻ Hypochlorite on the Wet Synthesis of Ferrate(VI) [Text] / A. El Maghraoui, A. Zerouale, M. Ijjaali // Advanced in Materials Physics and Chemistry. – 2015. – Vol. 5, № 4. – P. 133–139. doi:10.4236/amc.2015.54014
7. Shilov, V. P. Oxidation of Fe(III) to Fe(VI) by ozone in alkaline solutions [Text] / V. P. Shilov, A. V. Gogolev // Russian Journal of General Chemistry. – 2010. – Vol. 80, № 5. – P. 895–898. doi:10.1134/s107036321005004x
8. Delaude, L. A Novel Oxidizing Reagent Based on Potassium Ferrate(VI) [Text] / L. Delaude, P. Laszlo // The Journal of Organic Chemistry. – 1996. – Vol. 61, № 18. – P. 6360–6370. doi:10.1021/jo960633p
9. Головки, Д. А. Особенности синтеза ферратов(VI) из сульфата железа(II) [Текст] / Д. А. Головки, И. Д. Головки // Вестник НТУ «ХПИ». Новые решения в современных технологиях. – 2015. – № 62 (1171). – С. 107–112.
10. Чальый, В. П. Гидроокиси металлов [Текст] / В. П. Чальый. – К.: Наукова думка, 1972. – 159 с.
11. Sanchez-Carretero, A. Improvements in the Electrochemical Production of Ferrates with Conductive Diamond Anodes Using Goethite as Raw Material and Ultrasound [Text] / A. Sanchez-Carretero, C. Saez, P. Canizares, S. Cotillas, M. A. Rodrigo // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2011. – Vol. 50, № 11. – P. 7073–7076. doi:10.1021/ie101438e
12. Golovko, D. A. A Simple Potentiometric Titration Method to Determine Concentration of Ferrate(VI) in Strong Alkaline Solutions [Text] / D. A. Golovko, V. K. Sharma, V. I. Suprunovich, O. V. Pavlova, I. D. Golovko, K. Bouzek, R. Zboril // Analytical Letters. – 2011. – Vol. 44, № 7. – P. 1333–1340. doi:10.1080/00032719.2010.511748
13. Golovko, D. Determination of submillimolar concentration of ferrate(VI) in alkaline solutions by amperometric titration [Text] / D. Golovko, V. Sharma, O. Pavlova, E. Belyanovskaya, I. Golovko, V. Suprunovich, R. Zboril // Open Chemistry. – 2011. – Vol. 9, № 5. – P. 808–812. doi:10.2478/s11532-011-0069-8

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ФЕРАТІВ(VI) ІЗ ГІДРОКСИДІВ ФЕРУМУ

Вивчені закономірності синтезу фератів(VI) із ферум гідроксидів гіпохлоритним способом. Встановлено, що при використанні Fe(OH)₂ окрім ферат-аніонів FeO₄²⁻ утворюється побічний продукт – магнетит. Досліджено вплив температури, співвідношення реагентів та часу на вихід сполук Fe(VI). Розроблено практичні рекомендації для одержання фератів(VI) на основі Fe(II) та Fe(III) гідроксидів.

Ключові слова: синтез фератів(VI), натрій гідроксид, гіпохлорит, Fe(II) та Fe(III) гідроксиди.

Головки Дмитрій Аркадьєвич, кандидат хімічних наук, доцент, кафедра технології неорганічних речовин та екології, Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпр, Україна, e-mail: golovkod@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0379-083X>

Головки Ігорь Дмитрієвич, асистент, кафедра аналітичної хімії та хімічної технології харчових добавок та косметических засобів, Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпр, Україна, e-mail: e20@ua.fm, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5273-2818>

Шевченко Людмила Васильєвна, кандидат хімічних наук, доцент, кафедра фізическої та неорганіческої хімії, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, Україна, e-mail: ludmilashevchenko@bigmir.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5656-5663>

Гончарова Ірина Вікторівна, кандидат хімічних наук, доцент, кафедра товароведення, управління безпекою та якістю, Київський національний торговельно-економічний університет, Україна, e-mail: irina.goncharova.knteu@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7867-9154>