

Застосуванням мікрохвильового опромінення вдалося домогтися більш ефективної регенерації неорганічних солей-кристалогідратів, знизити температуру її початку, а також встановити будову кристалізаційної води і порівняти її з прототипами – фазовими модифікаціями льоду. Встановили, що застосування мікрохвильового випромінювання може бути корисним при заміні традиційного способу регенерації кристалогідратів із застосуванням високої температури

Ключові слова: кристалогідрати, випромінювання, регенерація, лід, фаза, решітка, тиск, температура

Применением микроволнового облучения удалось добиться более эффективной регенерации неорганических солей-кристаллогидратов, понизить температуру ее начала, а также установить строение кристаллизационной воды и сравнить ее с прототипами – фазовыми модификациями льда. Также удалось установить, что применение микроволнового излучения может быть полезным при замене традиционного способа регенерации кристаллогидратов с применением высокой температуры

Ключевые слова: кристаллогидраты, излучение, регенерація, лед, фаза, решетка, давление, температура

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

И. М. Рыщенко

Доктор технических наук, профессор*

А. И. Русinov

Кандидат технических наук, доцент*

Н. А. Блинков

Аспирант*

E-mail: nikolayblinkov@yahoo.com

*Кафедра общей и неорганической химии

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический университет»

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

1. Введение

Кристаллогидраты – кристаллы веществ, содержащие молекулы воды, известны для многих неорганических солей, а также оснований и даже некоторых кислот, образуются при относительно низких температурах. Условием их существования является образование такой кристаллической решётки, когда и катионы и анионы неорганической соли образуют более тесную связь с молекулами воды, чем между собой [1–3].

В связи с сильным сродством к воде такие неорганические соли, образующие кристаллогидраты, нередко используются в качестве осушителей. Они являются эффективными осушителями как газов, так и органических растворителей [4].

Применение неорганических солей, образующих кристаллогидраты в качестве осушителей даёт возможность избежать нежелательного загрязнения кислотами или щелочами обезвоживаемой жидкости. При этом обеспечиваются условия для успешной осушки спиртов (главным образом, этилового спирта, образующего азеотропную смесь с водой), эфиров, ароматических углеводородов. Применение оксидов щелочноземельных металлических элементов, сульфатной кислоты или фосфор (V) оксида приводит к загрязнению или в некоторых случаях деструкции обезвоживаемого продукта [5].

Примером таких солей являются калий карбонат (поташ) K_2CO_3 , кальций хлорид $CaCl_2$, сульфат кальция $CaSO_4$, меди сульфат $CuSO_4$, гидроорто-

фосфат натрия Na_2HPO_4 , а также некоторые другие соли. Все они способны связывать воду в кристаллическое состояние [6].

Связывание воды в твердое состояние происходит самопроизвольно, поскольку является энергетически выгодным процессом. Обратный процесс – разрушение кристаллогидратов на безводную соль и воду, требует затрат энергии и является необходимым, так как позволяет многократно использовать соль.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Литературные данные свидетельствуют, что кристаллогидраты могут существовать неограниченно долго, однако все же при повышенных температурах являются метастабильными и подвергаются медленной дегидратации в большинстве случаев и на воздухе, в отсутствие влаги [7, 8].

При необходимости быстрого разложения в большинстве случаев кристаллогидрат может быть разрушен нагреванием, или резе, прокаливанием [9, 10]. Разложение некоторых кристаллогидратов происходит по достижении требуемой температуры мгновенно, однако многие соли образуют кристаллогидраты переменного состава, например $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ и $CuSO_4 \cdot H_2O$. По мере повышения температуры вода постепенно улетучивается, и в итоге образуется безводная соль [11].

Такая их особенность связана со способностью воды связывать аквакатион с аква-анионами водородными связями. Так, например, истинный состав меди сульфата (II) пентагидрата описывается формулой $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot (\text{H}_2\text{O})\text{SO}_4$. В нем, как видно из формулы, четыре молекулы воды связывает катион, и только одна приходится на анион [12].

Также подобно строение других кристаллогидратов. Другой известный адсорбент натрий гидроортофосфат $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ распределяется по такой схеме:



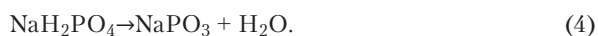
Пониженная устойчивость содержания больших чисел молей воды приводит к тому, что во всех случаях чем больше молей воды содержит в себе один моль соли, тем менее термически устойчив этот кристаллогидрат. Некоторые кристаллогидраты и вовсе устойчивы только при низких температурах (это относится и к органическим гидратам, а также гидратам простых веществ).

В некоторых случаях кристаллогидраты могут также одновременно или только лишь плавиться в кристаллизационной воде, а не только лишь терять её в виде паров. Каждый кристаллогидрат устойчив, как правило, в определённом температурном интервале, поэтому кривые их растворимости имеют изломы, соответствующие превращению состава одного кристаллогидрата в другой [13, 14].

Как правило, образующиеся при осушке каких-либо веществ кристаллогидраты имеют относительно высокую температуру регенерации, либо требуется применение вакуума, что вынуждает применять вакуумную установку.

По этой причине целью исследования является разработка нового, альтернативного способа метода регенерации кристаллогидратов, который бы позволял обходиться без нежелательного термического нагрева.

Так, безводный CuSO_4 образуется из моногидрата только лишь при 258°C , а безводный NaH_2PO_4 образуется при нагреве до $90\text{--}100^\circ\text{C}$, но только с обязательным применением вакуума, в противном случае будет иметь место дегидратация соли по уравнению:



Ввиду нежелательности образования метафосфата натрия, встаёт вопрос о разработке альтернативного метода дегидратации кристаллогидратов. Подобный вопрос встаёт и в ряде других некоторых кристаллогидратов, в частности, некоторые кристаллогидраты не могут быть регенерированы без разложения. Или же существуют только в виде кристаллогидратов.

Целью является поиск новой технологии их дегидратации, которая могла бы позволить избежать применения вакуума или затрат весьма значительного количества энергии.

В качестве такой технологии может выступать микроволновая печь. Известно, что многие соли поглощают так или иначе микроволновое излучение, хотя и хуже, чем непосредственно вода. Поглощение солью излучения приводит к потере кристаллизационной воды и без достижения номинальной температуры регенерации. Наиболее качественно, согласно литературным данным, поглощают микроволновое излучение вещества с ковалентной связью, в первую очередь – вода, а также такие вещества, которые способны к колебанию, что повышает их температуру.

Среди ионных солей поглощение идёт существенно хуже, однако если речь идёт о кислых (не полностью замещённых) солях, поглощение улучшается, так как имеется ковалентная связь. Хорошо поглощают микроволновое излучение также и неорганические кислоты, и, хотя и уступая воде, основания и щелочи [15].

В связи с этим вызывает интерес вопрос качества регенерации неорганических кристаллогидратов под действием микроволнового излучения. В то же время известно, что разные кристаллогидраты образуют разное число молей воды в своем составе. Однако сама кристаллизационная вода является плохим поглотителем микроволнового излучения, поскольку она не может поворачиваться под действием переменного излучения, что вызывается её вхождение в состав кристаллической решётки, в отличие от нагрева её в жидком и газообразном состоянии. Следовательно, подавляющее большинство энергии будет поглощаться солью, и именно способность соли к поглощению микроволнового излучения влияет на процесс поглощения энергии и соответственно последующей регенерации.

Для сравнения также применялся водяной лёд, который также обрабатывался микроволновым излучением. Его можно расценивать как бесконечный кристаллогидрат, без примеси соли, поскольку он имеет аналогичную кристаллическую решетку.

Однако следует учитывать, что разные фазы льда имеют разную кристаллическую решетку. Обычный водяной лёд фазы I_h имеет гексагональную кристаллическую решетку, что не соответствует кристаллической решетке исследуемых кристаллогидратов.

Поэтому для эталона поглощаемости принимались другие модификации льда. Для каждой из неорганических солей применялось то же число молей льда, сколько кристаллизационной воды находилось в каждой неорганической соли [15]. Научный интерес заключался в том, что кристаллизационную воду, перешедшую в состав кристаллогидрата, возможно, можно рассматривать как замерзшую воду в некоторой, аналогичной по строению модификации льда, чему способствуют межмолекулярные взаимодействия внутри кристаллогидрата.

3. Цели и задачи исследования

Целью данной работы является разработка нового, альтернативного способа метода регенерации кристаллогидратов, который бы позволял обходиться без нежелательного термического нагрева.

Для достижения цели были поставлены такие задачи:

- определение состояния воды в связанном твердом виде в кристаллогидратах;
- определение влияния числа ионных и ковалентных связей в разных неорганических солях-кристаллогидратах на процесс регенерации с помощью микроволнового излучения;
- определение влияния числа молей связанной воды на процесс регенерации;
- определение поглощения микроволнового излучения фазовыми модификациями льда.

Для решения выделенных задач проводился ряд экспериментов с помощью микроволновой печи, при дополнительном действии высокого давления и низких температур для формирования таких модификаций льда, которые соответствуют кристаллической решетке кристаллогидратов.

4. Методы и материалы исследования

В качестве материалов исследования применялись в количестве 1 моль три кристаллогидрата – три фосфата натрия, разной степени замещенности, полностью насыщенные. Выбор фосфатов именно натрия для исследования объясняется тем, что только фосфаты натрия образуют кристаллогидраты во всех случаях замещенности, а также могут быть применены в качестве адсорбентов.

Фосфаты натрия подвергались микроволновому облучению при обычных условиях. После исследования проводилось построение кривой их регенерации.

Затем анализировали потери кристаллизационной воды массовым методом.

Далее под давлением и пониженными температурами из обычного льда формировались его модификации с различными кристаллическими решетками. Соответствующие этим же кристаллическим решеткам кристаллогидраты подвергались обработке микроволновым излучением. При этом в кристаллогидратах и созданном льде находилось одно и то же число молей кристаллизационной воды [16].

1) $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ в количестве 1 моль, которой соответствовал лед массой 12 моль (лед фазы II), имеющий тригональную кристаллическую решетку, подвергнутый охлаждению до $T=303\text{ K}$ и воздействию давления в $P=300\text{ МПа}$. При этой температуре и этом давлении последовательно подвергался облучению сначала лед II, потом – натрий ортофосфат додекагидрат;

2) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ в количестве 1 моль, которой соответствовал лед массой 12 моль, имеющий моноклинную кристаллическую решетку (лед фазы V), подвергнутый воздействию давления $P=500\text{ МПа}$ и $T=298\text{ K}$. При стандартной температуре лед V при сверхвысоком давлении подвергался воздействию микроволнового излучения;

3) $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в количестве 1 моль, которой соот-

ветствовал лед массой 2 моль, имеющий ромбическую кристаллическую решетку (лед фазы XI), подвергнутый превращению без воздействия давления при охлаждении до $T=80\text{ K}$.

Лед и кристаллогидраты помещались при одинаковых условиях в микроволновую печь с соответствующей массой. Для эксперимента использовалась установка сверхвысокого давления НЭЭ500-СВД на 5 000 бар, дополнительно охлаждаемая жидким азотом [17].

5. Результаты исследования потери массы кристаллогидратов и фаз воды при микроволновой обработке

Результаты свидетельствуют о понижении поглощаемости микроволнового излучения при увеличении числа ионных связей среди солей трехосновной ортофосфорной кислоты H_3PO_4 . Наиболее интенсивно поглощение происходило при применении $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, чему способствовало также и меньшее число кристаллизационной воды, наихудшей поглощаемостью обладал $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Также результаты свидетельствуют о сходстве поглощаемости адсорбента и соответствующих фазовых модификаций льда. Результаты свидетельствуют о фактах различий в поглощении разных фазовых модификаций льда, что обусловлено тем, что одни фазовые модификации льда поглощают микроволновое излучение лучше, чем другие. Следовательно, убедительно доказывается соответствие кристаллизационной воды в кристаллогидратах и ее состояние в фазовых модификациях льда, которое имеет определенную кристаллическую решетку.

Лед XI, ромбический, обладает отличной поглощаемостью микроволнового излучения. Лед V и II, для исследования поглощения микроволнового излучения которых требовалось применение жидкого азота и высокого давления, не обладают такими характеристиками, но они обладают сходством с характеристикой поглощения $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Для подтверждения сходства результаты, доказывающие идентичность потери кристаллизационной воды при регенерации адсорбентов и облучении фаз льда, представлены на рис. 1–6.

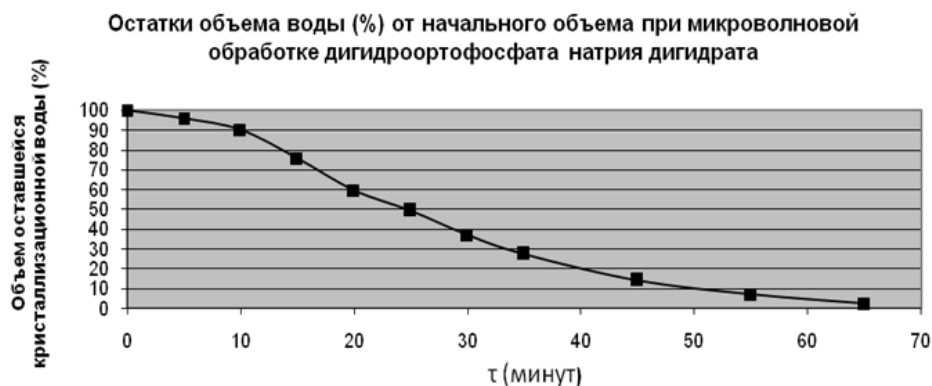


Рис. 1. График зависимости потери воды при облучении натрий дигидроортофосфата дигидрата

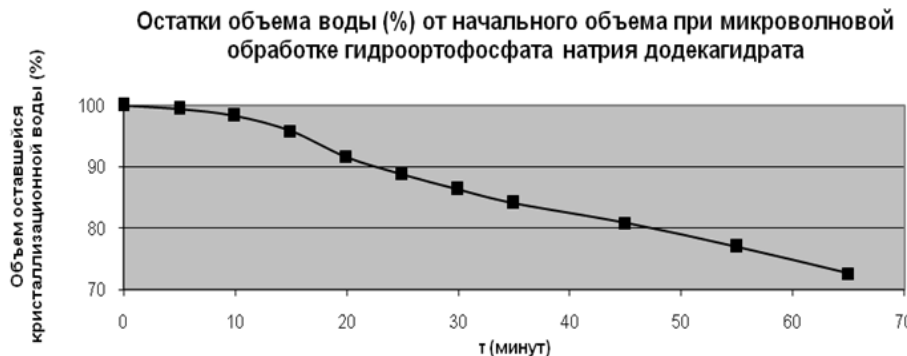


Рис. 2. График зависимости потери воды при облучении натрия гидроортофосфата додекагидрата

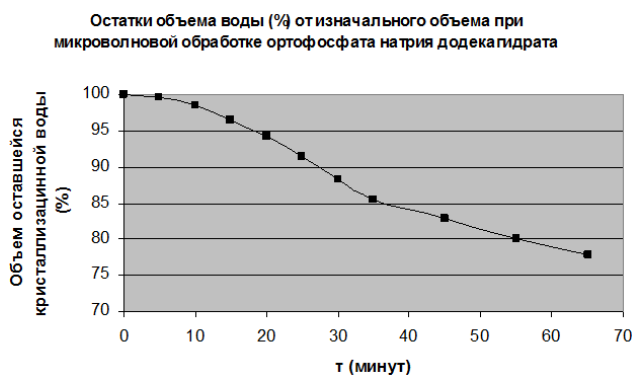


Рис. 3. График зависимости потери воды при облучении натрия ортофосфата додекагидрата

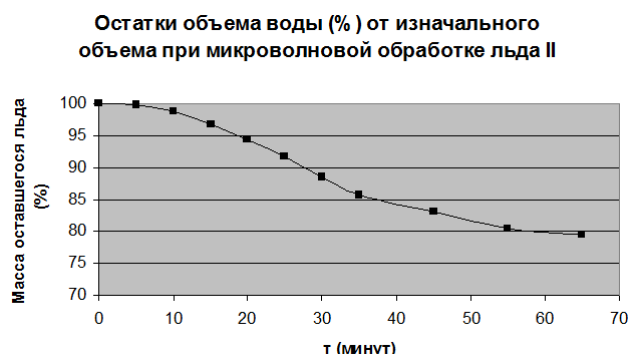


Рис. 6. График зависимости потери воды при облучении микроволновым излучением льда II в количестве 12 моль при T=303 К и P=300 МПа

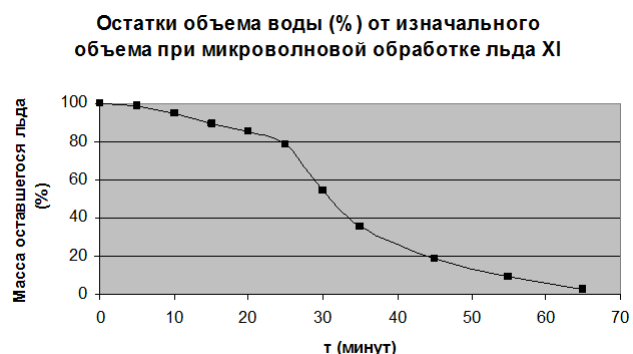


Рис. 4. График зависимости потери воды при облучении микроволновым излучением льда XI в количестве 2 моль при T=193 К и P=0,1 МПа

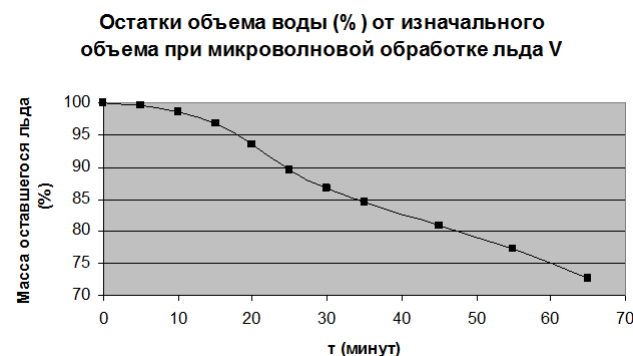


Рис. 5. График зависимости потери воды при облучении микроволновым излучением льда V в количестве 12 моль при T=298 К и P=500 МПа

Согласно данным графиков, хорошо заметна зависимость в поглощении микроволнового излучения от количества ковалентных связей в кристаллической неорганической соли.

6. Обсуждение результатов исследования

Достоинство применения микроволнового излучения – это отсутствие необходимости применения вакуумных установок, а также отсутствие риска термического разложения неорганических кристаллогидратов.

Применение микроволновой печи с генератором сверхвысокого давления «5 000 бар», мощностью 250 Вт, а также глубоким охлаждением, которое достигалось благодаря применению жидкого азота, позволило выполнить требуемые задачи, так как это позволяло применить одинаковые условия для идентичных кристаллических решеток как льда той же фазы, в которой находится и кристаллогидрат. После облучения их микроволновым излучением делалась возможной сублимационная потеря воды, вследствие потерь, вызванной нарушением кристаллической решетки кристаллогидрата, а также льда. Анализ и оценка всех вышеперечисленных процессов с их последующей математической обработкой позволял сделать соответствующие выводы.

После начала обработки поглощаемость микроволнового излучения у льда начала расти в геометрической прогрессии, что связано с возможностью разворачивания молекул воды, входящих в его состав, а также возгонкой как у льда, так и у кристаллогидрата молекул.

кул, входящих в его состав. Некоторой способностью к плавлению в кристаллизационной воде обладает и дигидроортофосфат натрия, что также обуславливает относительно хорошую поглощаемость.

Поскольку структура кристаллогидратов во многом схожа со структурой льда, то основной, подавляющий вклад в их поглощение микроволнового излучения вносит поглощение микроволнового излучения соли, и благодаря этому происходит регенерация.

Полезно определение поглощаемости соли в зависимости от числа ковалентных связей в ней. Так как на поглощение соли влияет количество ковалентных связей, которые позволяют развернуть молекулу в ту или иную сторону, то применение кислых солей для регенерации их более практично, нежели средних. Исследований на эту тему ранее не проводилось, так как физические адсорбенты считались более практичными, нежели химические, а в промышленности осушка в основном проводилась с помощью перегонки с применением вакуума для смещения азеотропной точки, например, этанола.

Этим объясняется крайне плохое поглощение ионного ортофосфата натрия $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, немного лучшее поглощение двузамещенного гидроортофосфата натрия $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и возможность практически полной регенерации $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, чему также способствует наличие и всего двух молей кристаллизационной воды.

Убедительно показывается, что поглощение кристаллизационной воды внутри кристаллогидрата и обычного водяного льда идентично, что свидетельствует об эффективности применения таких солей, которые обладают ковалентными связями в своем составе и при этом обладают небольшим количеством кристаллизационной воды. Однако малое количе-

ство кристаллизационной воды ухудшает, естественно, адсорбционные качества, поэтому рационально применять небольшие добавки хорошо поглощающего $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в плохо поглощающий $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, чтобы улучшить его регенерацию.

7. Выводы

В результате проведенных исследований был установлен ряд следующих фактов:

- в отличие от жидкой и газообразной воды, лед, как моноклинной, тригональной и ромбической кристаллической решетки чрезвычайно слабо поглощает микроволновое излучение, также как и кристаллизационная вода в кристаллогидрате;

- кристаллогидрат можно представить в качестве водяного льда соответствующей кристаллической решетки, и он представляет собой замерзший водяной раствор в соответствующей фазе льда;

- введение неорганической соли имитирует крайне высокое давление, которое испытывает лед, для того, чтобы он образовался (или низкую температуру);

- молекулярное влияние катионов и анионов соответствует модуляции того условия, чтобы такой лед образовался.

Исследуемые образцы льда II, V и XI, следовательно, полностью соответствуют кристаллической структуре соответствующих неорганических солей. Кристаллогидрат, таким образом, можно рассматривать как замороженный перенасыщенный раствор в виде одноименной модификации льда. Ввиду того, что лед II образуется из льда Ih при $P=300$ МПа и $T>210$ К, лед XI из льда Ih при $T>90$ К, а лед V из жидкой воды и обычной температуре при $P=500$ МПа [13–15], то соответствие подтверждается.

Литература

1. Борисенко, Е. М. Изучение кинетики дегидратации некоторых кристаллогидратов [Текст]: автор. ... канд. хим. наук / Е. М. Борисенко. – Минск, Белорусский ордена трудового красного знамени государственный институт им. В. И. Ленина, 1989. – С. 5–10.
2. Карякин, А. В. Состояние воды в органических и неорганических соединениях [Текст] / А. В. Карякин, Г. А. Кривенцева. – М., 1979. – С. 126–129.
3. Крестов, Г. А. Термодинамика ионных процессов в растворах, 2-е издание. Химическая энциклопедия. Т. 1 [Текст] / Г. А. Крестов. – СПб, 1984. – С. 86–88.
4. Уолли, Дж. Неводные растворители [Текст] / Дж. Уолли, Х. Х. Хаймен, К. Дж. Холланда; пер. с англ. И. Б. Бравермана и др. – М.: Химия, 1971. – С. 65–70.
5. Баранник, В. П. Этиловый спирт в моторном топливе. Производство и оборот денатурированной спиртосодержащей продукции [Текст] / В. П. Баранник, В. Е. Емельянов, В. В. Макаров. – М.: Рау-университет, 2005. – С. 235–240.
6. Сидоров, А. И. Адсорбционная осушка газов [Текст]: уч. пос. / А. И. Сидоров; под ред. Н. С. Торочешникова. – Московский химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева, 1972. – С. 68–82.
7. Сарычева, Е. А. Физико-химическое исследование гидратации и дегидратации кристаллогидратов, фосфатов и сульфата кальция с участием паров воды [Текст] / Е. А. Сарычева. – М, 2007. – С. 16–19.
8. Гаврилова, Н. Д. Электропроводность, диэлектрическая проницаемость и электрический модуль кристаллогидратов формата эрбия на частотах 0,07-1 МГц. [Текст] // Н. Д. Гаврилова, А. А. Давыдова // Вестник Московского государственного университета им. Ломоносова, Серия 3. Физика, Астрономия. – 2013. – Т. 68, № 3. – С. 45–52.
9. Фирсова, Л. Л. Прочность гранул на основе сольватов сульфата кальция. [Текст] / Л. Л. Фирсова // Вестник Московского государственного университета им. Ломоносова. Серия 5, Химия. – 2010. – Т. 51, № 4. – С. 333–336.
10. Григорьева, В. В. Общая химия. Учебник [Текст] / В. В. Григорьева, В. М. Самийленко, А. М. Сич; 2-е изд. перер., доп. – Киев: Высшая школа, 1991. – 481 с.

11. Мищенко, И. Т. Скважинная добыча нефти. Издание второе, исправленное [Текст] / И. Т. Мищенко. – М.: РГУ им. Губкина, 2007. – 530 с.
12. Гороновский, И. Т. Краткий справочник по химии. Пятое издание, исправленное и дополненное [Текст] / И. Т. Гороновский, Ю. П. Назаренко, Е. Ф. Некряч. – К.: Наукова Думка, 1987. – С. 600–603.
13. Миньер, Б. Фазы льда [Текст] / Б. Миньер. – Москва-С-Петербург, Эксмо-Домино, 2012. – С. 230–234.
14. Куклин, А. И. Установка высокого гидростатического давления на малоугловом спектрометре ЮМО [Текст] / А. И. Куклин, П. К. Утробин, О. И. Иваньков. – Дубна, Объединенный институт ядерных условий, 2009. – С. 512–517.
15. Chaplin, M. Water Phase Diagram. Water Structure and Science [Text] / M. Chaplin. – Wales, England, 2009. – P. 344–346.
16. Murray, B. J. The formation of cubic ice under conditions relevant to Earth's atmosphere [Text] / B. J. Murray, D. A. Knopf, A. K. Bertram // Nature. – 2005. – Vol. 434, Issue 7030. – P. 202–205. doi: 10.1038/nature03403
17. Falenty, A. Formation and properties of ice XVI obtained by emptying a type sII clathrate hydrate [Text] / A. Falenty, T. C. Hansen, W. F. Kuhs // Nature. – 2014. – Vol. 516, Issue 7530. – P. 231–233. doi: 10.1038/nature14014

В роботі вивчено процеси вилучення кисню з водопровідної води, дистильованої та суміші водопровідної і дистильованої у співвідношенні 1:1 з допомогою редокситів на основі модифікованого сполуками заліза (II) катіоніту Dowex mac-3. Визначено вплив форми іоніту на вторинне забруднення води іонами заліза. Показано, що ефективність знекиснення залежить від жорсткості води та виду іоніту

Ключові слова: кисень, катіоніт, редоксит, сорбція, залізо, ємність, іонний обмін, жорсткість, водопровідна, дистильована вода

В работе изучены процессы извлечения кислорода из водопроводной воды, дистиллированной, а также смеси водопроводной и дистиллированной в соотношении 1:1 с помощью редокситов на основе модифицированного соединениями железа (II) катионитом Dowex mac-3. Определено влияние формы ионита на восстановительную способность ионита и вторичное загрязнение воды ионами железа. Показано, что эффективность изъятия кислорода зависит от твердости воды и вида ионита

Ключевые слова: кислород, катионит, сорбция, железо, емкость, ионный обмен, твердость, водопроводная, дистиллированная вода

УДК 608.2

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50615

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕДОКСИТІВ, ОТРИМАНИХ НА ОСНОВІ СЛАБОКИСЛОГО КАТІОНІТУ DOWEX MAC-3 СПОЛУКАМИ ЗАЛІЗА

М. Д. Гомеля

Доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри*

E-mail: eco-paper@kpi.ua

Т. А. Корда

Асистент*

E-mail: nezvyskaya@mail.ru

Ю. В. Носачова

Старший викладач*

E-mail: j.nosachova@mail.ru

Т. В. Потильчак*

E-mail: tatyana.potylchak@gmail.com

*Кафедра екології та технології рослинних полімерів
Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Особливе місце в житті людини займає прісна вода. Із всіх видів природних ресурсів вона використовується в самій великій кількості. Загальна кількість води, що споживає світове господарство, вже досягло приблизно 6 тис. км³ на рік.

В наш час головним напрямком прогресу суспільства є його сталій розвиток. Проблеми ресурсозбереження, енергозбереження, захисту гідросфери від шкідливих впливів виходять на перше місце через загрозу швидкого вичерпання природних ресурсів,

значних негативних змін в біосфері внаслідок неконтрольованого техногенезу. Ефективне використання енергії часто пов'язане із використанням водяної пари та гарячої води у виробництві, що покращує його ефективність. Ці процеси головним чином залежить від якості енергетичної води [1]. До неї ставлять жорсткі вимоги ефективності пом'якшення та знесолення, головною проблемою є зниження її корозійної агресивності. Корозія та руйнування елементів теплообмінних апаратів, трубопроводів призводить до значних витрат енергії, матеріалів та знесолоної води. Якість води сильно впливає на роботу теплообмінних