

О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ НАГРЕВА ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Представлены экспериментальные данные по исследованию процесса нагрева воды и водных растворов переменным электромагнитным полем промышленной частоты. Рассмотрен и обоснован возможный механизм нагрева воды и водных растворов переменным электромагнитным полем.

Ключевые слова: нагрев воды и водных растворов, переменное электромагнитное поле, электрохимические реакции, двойной электрический слой.

Нагрев воды и водных растворов, требующий больших затрат энергии, широко используется во многих отраслях экономики. Создание экономичных устройств нагрева воды за счет использования специфических свойств воды и режимов нагрева будет способствовать не только экономии энергоресурсов, но и снижению отрицательного воздействия на окружающую среду.

Сотрудниками Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева разработан энергосберегающий способ нагрева воды и водных растворов переменным электрическим полем [1]. Особенностью этого способа является нелинейный характер изменения отношения $Q_{\text{тепл}}/Q_{\text{эл}}$ в зависимости от удельной мощности $P_{\text{уд}}$ (см. рисунок). Такой эффект наблюдается при следующих условиях:

- воздействии переменного электрического поля;
- полном отсутствии видимого выделения газа;
- незначительной удельной мощности.

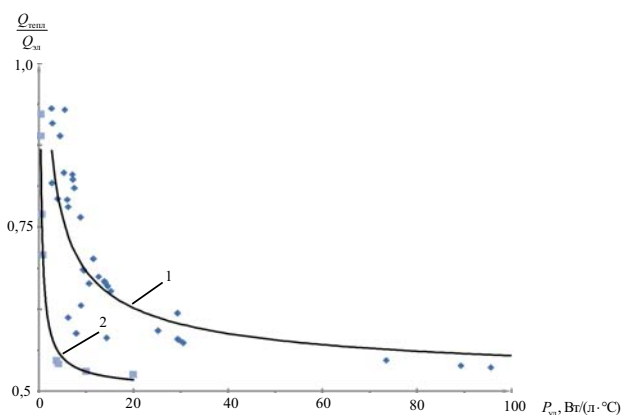


График зависимости $Q_{\text{тепл}}/Q_{\text{эл}}$ от удельной мощности $P_{\text{уд}}$ и материалов электродов:

- 1 – нержавеющая сталь – нержавеющая сталь;
- 2 – нержавеющая сталь – титановый сплав

Методика проведения эксперимента и расчетов. Нагрев воды или водного раствора общим объемом V в течение времени t производился в ячейке из диэлектрического материала (оргстекла), где расположены рабочие электроды. Величины переменного напряжения U , подаваемого на электроды и тока I , определялись с помощью цифрового мультиметра. Температура измерялась в начальный момент и по окончании процесса в трех точках межэлектродного пространства (у дна, в средней части и поверхности воды), разность средней температуры

($\Delta T_{\text{ср}} = T_{\text{ср}0} - T_{\text{ср}t}$) находилась двумя способами: с помощью термометра и термопары (тип К).

Энергетические параметры рассчитывались по следующим формулам:

- удельная мощность, Вт/(л · °C):

$$P_{\text{уд}} = \frac{IU}{V\Delta T_{\text{ср}}};$$

- затраченная удельная электрическая энергия, Дж/л:

$$Q_{\text{эл}} = \frac{IUt}{V};$$

- полученная удельная тепловая энергия, Дж/л:

$$Q_{\text{тепл}} = \frac{cm\Delta T_{\text{ср}}}{V}.$$

Обработка результатов экспериментов и расчетов и построение графиков зависимостей осуществлялись с использованием аппроксимирующей кривой.

Обсуждение результатов экспериментов. При низких значениях удельной мощности отношение $Q_{\text{тепл}}/Q_{\text{эл}}$ стремится к единице. С увеличением удельной мощности происходит его резкое падение, которое может быть связано с изменениями не только химического состава обрабатываемой воды, но и ее структуры.

Еще одной особенностью данного процесса является независимость характера изменения графика от концентрации солей в воде. Это позволяет сделать предварительный вывод об отсутствии влияния концентрации солей на отношение $Q_{\text{тепл}}/Q_{\text{эл}}$ в процессе нагрева воды при низких удельных мощностях.

Большое влияние на нагрев воды и водных растворов оказывает материал электродов. Так, применение титанового электрода дает более высокие значения отношения $Q_{\text{тепл}}/Q_{\text{эл}}$ (см. рисунок). Это явление мы можем объяснить процессами, протекающими в двойном электрическом слое титанового электрода, а также образованием на нем окисной пленки, обладающей полупроводниковыми (диодными) свойствами.

На основе полученных опытных данных можно предположить, что такой нагрев происходит за счет специфического воздействия переменного электромагнитного поля: на водный раствор, помимо электрического поля, оказывает влияние и магнитное поле (хотя и незначительное), причем, по утверждению авторов [1], источником энергии служит энергия электрического поля, а магнитное поле играет роль управляющей системы.

В [2] было выдвинуто предположение, что слабые электромагнитные поля не могут вызывать тепловые эффек-

ты напрямую и вносить существенные изменения в скорости реакций за счет температурных эффектов. Поля воздействуют опосредованно, изменяя концентрацию или активность некоторых кинетически значимых молекул и комплексов. Возможным объяснением влияния слабых электромагнитных полей может служить перераспределение зарядов на пространственных неоднородностях среды, в которой они находятся. В воде же постоянно присутствуют связанные протоны, которые могут свободно перемещаться вдоль цепочек водородных связей.

Процесс нагрева воды и водных растворов осуществляется на основе не зависящих друг от друга механизмов:

а) за счет специфического воздействия переменного электромагнитного поля:

- электрохимических реакций на электродах;
- тепловыделения в двойном электрическом слое;

б) за счет вихревых явлений.

Приоритетный механизм на данный момент пока не определен. Мы полагаем, что все механизмы равновероятны и доминирование того или иного механизма зависит от условий протекания процесса.

Нагрев за счет электрохимических реакций на электродах. Теоретическое описание процессов электрохимической обработки воды в современной литературе неоднозначно. Несмотря на то что основные стадии процессов на электродах и объеме воды и ее растворов определены достаточно четко, пути проведения этих процессов, а также интерпретация полученных результатов не дают конкретного представления о механизме электролиза.

Так, в монографии [3] делается аргументированная переоценка теоретических представлений о процессах, происходящих на электродах при электролизе воды. Здесь же обоснована возможность получения дополнительной (избыточной) энергии из энергий химических связей молекул воды при условии, что электролиз воды будет сопровождаться процессами синтеза сначала атомов, а затем – и молекул водорода.

Согласно [3; 4], процесс получения дополнительной энергии катодного выделения водорода можно представить в виде таблицы.

В [3] также приведены следующие оценки дополнительной тепловой энергии: при синтезе 1 л воды выделяется в 1,62 раза больше энергии, чем при сжигании 1 л бензина, и в 3,0 раза больше, чем при сжигании водорода, полученного из 1 л воды.

Дополнительным фактором, усложняющим понимание процессов воздействия на воду электромагнитного поля, является характер его зависимости от времени: импульсный (прямой и обратный) и переменный.

В [5] отмечается, что характерное влияние импульсного тока обусловлено главным образом процессами, протекающими в паузе, а также сверхвысокими амплитудами. Скорость различных электрохимических процессов в водных растворах существенно изменяется при вполне определенных частотах тока, различных для каждого элемента.

Дискретный характер тока позволяет эффективно воздействовать на электродные процессы за счет увеличения скорости химических реакций на электродах и в объеме. В паузу тока в зависимости от ее длительности происходит частичное выравнивание концентраций катионов и анионов в приэлектродных областях и отвод продуктов реакций. Это подтверждается инерционностью системы: при проведении экспериментов был замечен эффект продолжительного по времени нагрева воды и водного раствора после отключения напряжения.

Существенным условием, радикально влияющим на полученный результат, является обработка на резонансных частотах (более подробно об этом см. ниже).

Однако механизм образования нагрева за счет электрохимических реакций нельзя считать основным в силу того, что с ростом частоты тока электрод становится малополяризуемым и на нем прекращается побочное выделение продуктов электродных реакций (например, кислорода), так как с увеличением частоты переменного тока доля относительно медленно протекающих необратимых процессов на электроде снижается [6]. Этот факт может объяснить отсутствие выделения газов на электродах во время проведения экспериментов.

С другой стороны, переменный характер электромагнитного поля оказывает серьезное влияние на кластерные структуры воды, которые на границах раздела фаз «жидкость–воздух» выстраиваются в определенном порядке, при этом все кластеры колеблются с одинаковой частотой. В [7] отмечается, что возникающие вблизи электродов высокоэнергетические резонансные кластеры из осциллирующих диполей (молекул воды, OH⁻ и т. д.) в динамических условиях при резонансе способны проявлять эффекты динамической стабилизации, хотя в статике такие системы из диполей неустойчивы. Исходя

Стадии катодного выделения водорода

Стадия	Реакция	Описание	Энергоемкость, кДж/моль
1	–	Транспорт ионов H ⁺ (H ₃ O ⁺) или молекул H ₂ O к катоду	–
2	H ₃ O ⁺ + e ⁻ → H _{адс} + H ₂ O H ₂ O + e ⁻ → H _{адс} + OH ⁻	Разряд ионов H ₃ O ⁺ или молекул H ₂ O с образованием адсорбированных атомов водорода	-1 072
3	H ₃ O ⁺ + H _{адс} + e ⁻ → H ₂ + H ₂ O	Синтез атома водорода (электрохимическая десорбция)	+1 312
	H _{адс} + H _{адс} → H ₂	Рекомбинация образующихся адсорбированных атомов водорода в молекулу H ₂ (каталитическая десорбция)	+436
4	–	Переход молекулярного газообразного водорода в газовую фазу	–
	2H ₂ + O ₂ → 2H ₂ O	Образование воды	+285,8

из этого в [8] указывается на возможность появления электромагнитного излучения уже самой кластерной структуры.

Частота колебаний кластеров воды и соответственно частота электромагнитных колебаний может быть определена по формуле [9]:

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{\alpha}{M}}, \quad (1)$$

где α – поверхностное натяжение воды при заданной температуре, $\alpha = 72,86 \cdot 10^{-3}$ Н/м; M – масса кластера:

$$M = \rho V,$$

здесь V – объем кластера, ρ – плотность воды (1 г/см^3).

Предварительный расчет массы кластера по формуле (1) для процессов, протекающих при переменном токе частотой 50 Гц, дал значение $M = 7,38 \cdot 10^{-7}$ кг, что соответствует структуре кластера из $56 \cdot 10^{12}$ молекул. Понятно, что образование такого кластера маловероятно в силу нестабильности кластерных структур, а также из-за тепловых воздействий.

Нагрев за счет тепловыделения в двойном электрическом слое. В процессе электролиза в водных растворах вблизи электрода в результате полимеризации воды происходит ее уплотнение до $1,5 \text{ г/см}^3$ на толщине в 3...4 монослоя молекул, примыкающих к электроду. Уплотнение вещества без повышения давления означает возрастание в нем энергии связи, которое должно сопровождаться выделением тепла. Локализация тепловой энергии на поверхности электрода, т. е. в двойном электрическом слое, вызывает изменение его температуры, а часть энергии теплового импульса распространяется в глубину электролита, создавая таким образом тепловой барьер, затрудняющий транспортировку разряжающихся ионов к поверхности электрода.

Необходимо отметить, что выделение энергии в двойном электрическом слое достигает значительных величин за достаточно короткий промежуток времени: температура может возрастать с 20 до 40...60 °C за 5...10 с в зависимости от плотности тока [10].

Оценка выделившейся энергии в двойном электрическом слое произведена по формуле, предложенной в [11] для определения изменения температуры:

$$\Delta T = \frac{\chi E_{д.э.с} E t}{\rho C}, \quad (2)$$

где χ – удельная электропроводность раствора, См/м; $E_{д.э.с}$ – напряженность двойного электрического слоя, В/м; E – напряженность электрического поля, В/м; t – время процесса, с; ρ – плотность двойного электрического слоя, кг/м³; C – удельная теплоемкость двойного электрического слоя, Дж/(кг·K).

Предварительная оценка выделившейся энергии в двойном электрическом слое по формуле (2) показала, что для обычной водопроводной воды, в зависимости от материала электродов и режима нагрева, она составляет $0,03...10^3$ кДж/моль.

Необходимо указать, что приведенная выше оценка для процессов на переменном токе не совсем корректна, так как формула (2) дана для расчета изменения температуры при постоянном токе, однако она характеризует

динамику изменения тепловыделения в двойном электрическом слое в зависимости от внешних воздействий.

Нагрев за счет вихревых явлений. Под действием электромагнитных полей в водных средах как в объеме, так и на границе «жидкость–электрод», возникают конвекционные эффекты, обусловленные объемными силами негидродинамической природы (например, разностью плотностей), позволяющие управлять процессами массообмена в пограничных слоях в области межфазных границ.

По данным [12], в макрообъемах при минимальной силе тока возникает конвекция жидкости и вихревые потоки, причем их скорость увеличивается с ростом силы этого тока.

Согласно гипотезе Ю. А. Колясникова о структуре воды [13], те обрывки цепочек из тетрамеров (H_2O)₄, которые всегда имеются в жидкой воде, при ее быстром и неравномерном течении в пространстве должны выстраиваться и вытягиваться вдоль линий тока воды, как вытягиваются водоросли в реке вдоль ее течения, т. е. их хаотичное расположение сменяется на упорядоченное. При этом вероятность того, что концы цепочек тетрамеров случайно столкнутся друг с другом и соединятся свободными водородными связями, возрастает втрое по сравнению с неупорядоченным расположением. Это следует из законов геометрии. А каждая вновь образованная водородная связь – это 0,26...0,5 эВ (~25...48 кДж/моль) энергии, выделяющейся из воды. В вихревом потоке такие цепочки, имеющие винтовую структуру, должны упорядочиваться и сцепляться еще быстрее, чем в прямолинейном, чему способствуют линии тока воды. Вихревое движение воды выстраивает обрывки цепочек тетрамеров воды параллельно друг другу, что облегчает сцепление для их концов и полимеризацию воды без ее охлаждения. Такая полимеризация сопровождается выделением энергии связи между тетрамерами в виде излучений и тепла.

Обобщая приведенные выше рассуждения о механизме нагрева воды и водных растворов при воздействии переменного электромагнитного поля, можно отметить следующее:

- процесс нагрева является комплексным. Ни один из рассмотренных выше механизмов нельзя назвать основным при нагреве в силу специфичности воды, уникальности и непостоянства ее свойств даже в относительно короткий промежуток времени;

- в структуре воды происходят разнонаправленные процессы: образование новых структур под действием поляризации с выделением тепла и их разрушение с поглощением тепла.

Моделирование процесса энергосберегающего нагрева воды и водных растворов позволит выявить основные факторы, влияющие на процесс, а за счет специфики структуры и режимов нагрева воды и водных растворов добиться экономии затрат энергии.

Библиографические ссылки

1. Пат. 2279016 РФ, МКИ³ C 01 F 24 N 1/20. Электронагреватель / И. Я. Шестаков, А. А. Фадеев, А. И. Стрюк.

№ 2005103779/06 ; заявл. 14.02.2005 ; опубл. 27.06.2006, Бюл. № 18.

2. Влияние слабого электромагнитного поля на скорость производства перекиси водорода в водных растворах / В. О. Пономарев, В. В. Новиков, А. В. Карнаухов, О. А. Пономарев // Биофизика. 2008. Т. 53, вып. 2. С. 197–204.

3. Канарёв Ф. М. Вода – новый источник энергии. 2-е изд. перераб и доп. Краснодар : Изд-во Кубан. гос. аграр. ун-та, 2000.

4. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия : учебник для хим.-технол. спец. вузов. 4-е изд., перераб и доп. М. : Высш. шк., 1984.

5. Костин Н. Н., Кублановский В. С., Заблудовский А. В. Импульсный электролиз / отв. ред. А. В. Горыдский. Киев : Наук. думка, 1989.

6. Могорян Н. В. Поляризационные и электрохимические измерения при электролизе на асимметричном токе // Электрон. обработка материалов. 1982. № 5. С. 15–19.

7. Широнос В. Г. Резонанс в физике, химии и биологии. Ижевск : Изд. дом «Удмуртский университет», 2001.

8. Барабаш Ю. М. Динамика параметров водных систем под действием слабого электромагнитного излучения. М. : Наука, 2001.

9. Лошицкий П. П. Механизмы воздействия электромагнитных волн низкой интенсивности на воду и водные растворы // Электроника и связь. 2002. № 15. С. 18.

10. Исследование процесса электрохимического полирования деталей подшипников из стали 11X18М. П. Влияние температуры / А. М. Филиппенко, В. Д. Кашеев, Ю. С. Харитонов и др. // Электрон. обработка материалов. 1979. № 2. С. 29–30.

11. Багманов В. Х. О механизме электролитического пробоя электролита в условиях ЭЭХО // Технология авиастроения. Электрические методы обработки материалов : межвуз. науч. сб. Вып. II. Уфа : Изд-во Уфим. авиац. ин-та им. С. Орджоникидзе, 1982.

12. Бондаренко Н. Ф., Зак Е. З. Электромагнитные явления в природных водах. Л. : Гидрометеиздат, 1984.

13. Колясников Ю. А. К тайнам мироздания. Магадан : Изд-во Сев.-Вост. науч. центра Дальневосточ. отд-ния Рос. акад. наук, 1997.

A. A. Fadeev, I. Ya. Chestakov

ABOUT POSSIBLE MECHANISM OF HEATING OF WATER AND WATER SOLUTIONS UNDER THE INFLUENCE OF VARIABLE ELECTROMAGNETIC FIELD

The work presents experimental data of research of a process of heating of water and water solutions by variable electromagnetic field of industrial frequency. It is considered and motivated possible mechanism of heating of water and water solutions by variable electromagnetic field.

Keywords: heating of water and water solutions, variable electromagnetic field, electrochemical reactions, double electric layer.

© Фадеев А. А., Шестаков И. Я., 2011

УДК 66.017, 543.424.2

О. В. Шабанова, А. С. Крылов

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИНТЕЗЕ СИЛИКАТНЫХ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ*

Методом лазерной спектроскопии комбинационного рассеяния света исследуются структурные особенности кремнеземсодержащих материалов и нового силикатного связующего, приготовленного на их основе.

Ключевые слова: силикатное связующее, коллоидный кремнезем, минераловатные изделия, КР-спектры.

Одним из важнейших направлений практического использования коллоидных систем кремнезема является получение связующих материалов на их основе. Активно ведутся исследования по применению природных и синтезированных неорганических коллоидных связующих

силикатного состава в производстве теплоизоляционных минераловатных изделий, поскольку данный класс материалов позволяет заменить токсичные синтетические связующие композиции на основе фенолформальдегидных смол (ФФС).

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки науки и научно-технической деятельности».