

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

ВИБРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МЕХАТРОНИКА И УПРАВЛЯЕМЫЕ МАШИНЫ

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

по материалам XII Международной
научно-технической конференции
«Вибрация – 2016»

В 2 частях

Часть 1

Ответственный редактор
доктор технических наук, профессор С.Ф. Яцун

Курск 2016

УДК 531.3+534.1+621.7+621.9(063)
ББК Ж 605.3я431
В 41

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *В.И. Серебровский*

Редакционная коллегия:

С.Ф. Яцун, доктор техн. наук, профессор (отв. редактор)

Б.В. Лушников, канд. техн. наук, доцент (зам. отв. редактора)

В.Я. Мищенко, канд. техн. наук, доцент

О.Г. Локтионова, доктор техн. наук, профессор

О.В. Емельянова, канд. техн. наук, преподаватель

Е.А. Припачкина, начальник редакционно-издательского отдела

В 41 **Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины:** сб. науч. ст.: в 2 ч. – Ч. 1 / редкол.: С.Ф. Яцун (отв. ред.) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2016. – 343 с.

ISBN 978-5-7681-1115-1 (Ч. 1)

ISBN 978-5-7681-1114-7

Теоретические исследования и практическое использование вибрационных процессов в технике и технологиях, задачи управления и автоматизации в мехатронике и робототехнике являются актуальной сферой деятельности и научных интересов многих ученых в России и за рубежом.

Результаты этих работ нашли свое отражение в программе XII Международной научно-технической конференции «Вибрация – 2016. Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины».

Проведение конференции в Юго-Западном государственном университете стало уже хорошей традицией и закономерностью, подтверждающей успешное развитие научной школы по вибрационной механике, заложенной заслуженным деятелем науки и техники России, профессором П.М. Алабужевым. В сборнике, публикуемом по итогам ее работы, представлены результаты исследований ведущих ученых России, Германии, Латвии, Украины, Белоруссии, Казахстана, Эквадора, Зимбабве.

Тематика представленных на конференции научных работ весьма широка и многогранна: вибрационные технологии и машины; управление вибрацией и виброзащита; вибрационная диагностика; мехатроника и робототехника; история машиноведения; моделирование динамических процессов; биомеханические системы и технологии; электромеханические системы; нано- и микросистемы.

Сборник будет полезен научным работникам, инженерно-техническим специалистам, аспирантам и студентам, занимающимся проблемами исследований в области машиноведения, мехатроники, робототехники, автоматизации и микросистемной техники.

УДК 531.3+534.1+621.7+621.9(063)
ББК Ж 605.3я431

ISBN 978-5-7681-1115-1 (Ч. 1)
ISBN 978-5-7681-1114-7

© Юго-Западный государственный университет, 2016

УДК 621

С. Цыфанский, профессор (e-mail: kna.csl@gmail.com)

В. Якушевич, ассистент (e-mail: vladimirs.jakusevics@rtu.lv)

Рижский технический университет (Латвия)

КАВИТАЦИОННЫЕ, ВЫСОКОВОЛЬТНО-ПЛАЗМЕННЫЕ, ЭЛЕКТРОЛИЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АКТИВАЦИЯ ВОДЫ

Описаны работы, выполненные в Институте механики Рижского технического университета по практическим приложениям разных видов кавитационных, высоковольтно-плазменных и электролизных технологий. Кратко изложены результаты работ по активации воды. Выполнено сравнение различных технологий активации. Приведены результаты биологических экспериментов.

Введение

В РТУ много лет проводится разработка ультразвуковых кавитационных технологий (УКТ); суперкавитационных технологий (СКТ); кавитационных технологий, возникающих на затопленных струях (КТЗС); высоковольтно-плазменных (ВПТ) и электролизных технологий (ЭТ) и исследование возможностей их практического использования [1]. Кавитация сопровождается развитием нелинейных физических эффектов [2], проявляющихся в обрабатываемой среде (ударные волны, низкотемпературная плазма, ультразвуковое излучение, вихреобразование, диспергирование, электромагнитное излучение и др.). Если ультразвуковая кавитация возникает вследствие колебаний пьезоэлементных возбuditелей, то суперкавитация – при обтекании жидкостью специально спроектированных гидродинамических профилей [3].

УКТ использовались для активизации гальванического покрытия клемм золотом на заводе ВЭФ (результат – экономия золота на 7–10%, ускорение процесса на 10%); СКТ и КТЗС использовались для повышения качества эмульсий для смазки бетонных форм на заводе ЖБК в Пардаугаве (результат – устранено прилипание бетонных изделий к формам после затвердения бетона), дезинфекции охлаждающих жидкостей в механическом цехе на заводе ВЭФ (результат – устранено расслоение жидкости, подаваемой в зону резания металла), дезинфекции воды (результат – показана эффективность кавитационного метода как безреагентного метода для подавления вредной микробной флоры), «фрезерования» лакокрасочных покрытий без использования химикатов, приготовления и сжигания водо-мазутного топлива в тепловых сетях городов Магоны и Резекне (результат – экономия горючего, уменьшение вредных выбросов), для приготовления ароматических хвойных экстрактов и косметических средств из сапропеля (предприниматель Е. Лукашенко, г. Лудза), экологические гранулы для сбора пролитых мазутов, дизельных топлив и др.

Гуминовые добавки, полученные на основе КТЗС из торфа, позволяют повысить пластичность глины на 7–10% (дополнительный результат – на столько же можно снизить энергопотребление шнековых насосов, подающих глину) и увеличить прочность цемента на 20%, получить устойчивые водно-восковые эмульсии для антикоррозионных покрытий и др. В настоящее время на основе КТЗС в шести городах Латвии мини-заводы производят и продают сертифицированную продукцию – жидкие гуминовые удобрения из торфа. Ведутся агроиспытания в Латвии и за рубежом.

ВПТ [4] относятся к классу высоких технологий и базируются на практическом использовании широкого круга взаимосвязанных нелинейных динамических эффектов

и физических явлений, сопровождающих высоковольтный плазменный разряд в жидкости (высокая температура плазменного шнура, мощные ударные волны, кавитация, импульсное электромагнитное и рентгеновское излучения, мощная турбулизация потока, световое излучение канала разряда, ионизация и разложение молекул вещества в плазме канала, интенсивные ультрафиолетовое и ультразвуковое излучения, импульсное магнитное поле). Высоковольтно-плазменный разряд в жидкости – своеобразный взрыв, параметры которого близки к параметрам бризантных взрывчатых веществ.

На основе ВПТ были разработаны следующие технологии: очистка корабля без постановки в сухой док (проблема имеет мировое значение и выполнялась в рамках международной темы «Аврора», в которой участвовало ещё 5 стран); очистка форсунок дизельных двигателей и трубопроводов от закупорки (результат – улучшение распыла, процесса горения, экономия горючего); очистка трубопроводов от внутренних наслоений; экстракция органических веществ; изготовление «искусственной лошади» по производству удобрения; приготовление водно-восковых эмульсий для антикоррозионных покрытий; снятие остаточных напряжений в тонкостенных конструкциях; захват азота из воздуха и его растворение в воде для полива растений и др.

Использование активированной воды не только улучшает качество перечисленных выше технологий, но оно может применяться самостоятельно в различных отраслях народного хозяйства [5]. В данном исследовании ставится задача изучения свойств активированной воды за счет обработки ее на основе перечисленных выше технологий.

Проводимые исследования

Были проведены эксперименты, целью которых являлось:

– исследование характера изменений электрической емкости C , проводимости S , показателя pH , окислительно-восстановительного потенциала ($ОВП$) воды в зависимости от продолжительности воздействия за время t энергии воздействия W каждого вида при использовании ультразвуковой и суперкавитации, высоковольтно-плазменных разрядов (ВПР) и электролиза;

– исследование продолжительности времени релаксации τ (возврата в исходное состояние) исследуемых параметров (эффекта памяти): емкости C , проводимости S , показателей pH и $ОВП$ воды после прекращения воздействия на воду перечисленными способами активации;

– сравнение эффективности различных технологий.

Для исследования использовалась отстоявшаяся в течение 4-х суток водопроводная вода, которая хранилась в стеклянных бутылках в темном месте при температуре 20°C.

При проведении экспериментов использовались следующие установки и приборы:

- ультразвуковая установка типа УЗУ-0,25 с рабочей частотой 18,9 кГц и выходной мощностью 0,25 кВт;
- высоковольтно-плазменная установка с выходным напряжением 30 кВ, емкостью накопителя 0,5 мкФ и выходной мощностью 0,14 кВт;
- трехлопастная суперкавитирующая установка с электроприводом типа TURBOMIX с выходной мощностью 0,1 кВт и числом оборотов 14000 об/мин;
- электролизная установка типа IONIZER PTV-AL с выходной мощностью 0,1 кВт.

Использовались приборы: термометр ртутный лабораторный ТЛ-1 с точностью $\pm 0,5\%$; измеритель L, C, R типа НМ 8018 с диапазоном измерения емкости в пределах 0,01 пФ – 200 мкФ с точностью $\pm 0,5\%$; цифровой рН-метр типа УК-21РН с температурной коррекцией от 0 до + 100°C, диапазоном измерения *pH* в пределах 0,01 – 14,00 с точностью $\pm 2\%$; измеритель проводимости типа УК-30WA с диапазоном измерения проводимости в пределах от 0 до 1999 мкСм с точностью $\pm 0,5\%$; измеритель окислительно-восстановительного потенциала типа УК-23RP с диапазоном измерения ± 1999 мВ и точностью ± 1 мВ; спектрофотометр типа UV – 9200 с диапазоном длин волн от 190 до 1000 нм и точностью длины волны ± 2 нм, с фотометрической точностью $\pm 0,5\%$ коэффициента пропускания T.

Ультразвуковая кавитация

Перед началом воздействия ультразвуковой кавитации (УК) измерялись следующие параметры образца воды, значения которых принимались за эталон: температура *T* (°C); электрическая емкость *C* (нФ); проводимость *S* (мкСм); показатели *pH* и *ОВП* (мВ).

Затем на образец воды в течение 0,4 часа осуществлялось воздействие ультразвуком с энергией воздействия *W* 0,1 кВт·ч и через каждые 0,1 часа производились измерения исследуемых параметров воды. Далее обработанный образец воды оставлялся для второй фазы исследований – определения времени релаксации τ исследуемых параметров воды после прекращения ультразвукового воздействия. С этой целью производились измерения исследуемых параметров в моменты времени τ , равные соответственно 2, 4, 6, 8 и 24 часам после прекращения воздействия.

Полученные результаты процесса активации отражены на рис.1. Анализ результатов воздействия ультразвуковой кавитации (см. рис. 1) показывает, что наблюдается

постепенно замедляющееся изменение значений исследуемых параметров воды C , S , pH и $ОВП$. При времени воздействия ультразвука 0,4 часа и энергии воздействия W 0,1 кВт·ч изменение параметров практически прекращается.

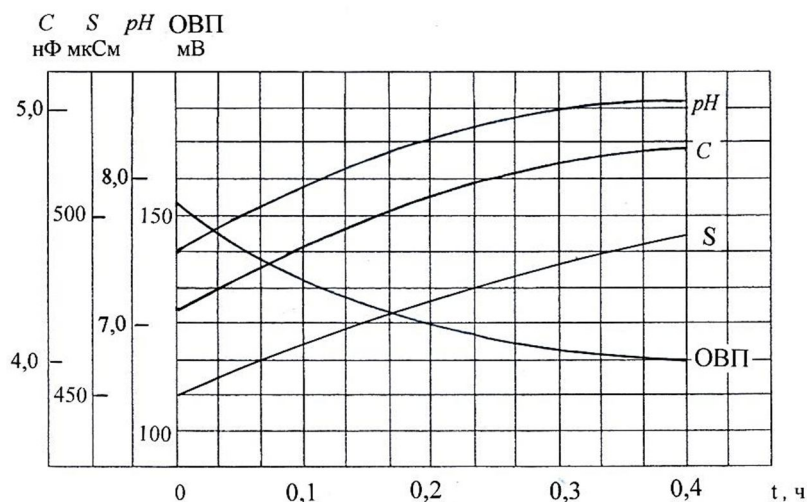


Рис. 1. Результаты воздействия на воду ультразвуковой кавитацией

При этом значение емкости C возрастает на 10% по сравнению с эталонным значением от 4,3 нФ до 4,8 нФ. Проводимость возрастает на 9% по сравнению с эталонным значением от 450 мкСм до 495 мкСм. Показатель pH возрастает на 13% по сравнению с эталонным значением от 7,5 до 8,6, а показатель $ОВП$ уменьшается на 20% со 152 мВ до 121 мВ.

Анализ результатов релаксации исследуемых параметров воды C , S , pH и $ОВП$ показывает, что после прекращения воздействия ультразвука изменение значений исследуемых параметров (эффект памяти) происходит неодинаково. Наблюдается монотонное убывание значений показателей емкости C и проводимости S , причем показатели емкости C убывают быстрее показателей проводимости S за промежуток времени релаксации τ . Так, величина емкости C убывает до эталонного значения за время 6 часов, а значение проводимости S убывает до эталонного значения за время 8 часов. Показатели pH и $ОВП$ на стадии релаксации сохраняют свои значения практически на постоянном уровне в течение 24 часов.

С помощью спектрофотометра проводились исследования активированной и эталонной воды. Анализ результатов показал, что в диапазоне ультрафиолетового излучения с длиной волны 330 нм наблюдается максимальное отличие коэффициентов

поглощения образцов воды. При этом значение коэффициента поглощения активированной ультразвуком воды возрастает на 16% по сравнению с эталонным значением.

Воздействие суперкавитацией

Анализ результатов воздействия суперкавитацией показывает, что значения параметров воды C , S , $ОВП$ и pH ведут себя очень близко к их поведению при обработке воды на основе УК. Максимальная эффективность воздействия достигается за время 0,4 часа при энергии воздействия W 0,04 кВт·ч. Близко к ультразвуковому протекает и процесс релаксации для данного метода.

Воздействие высоковольтно-плазменными разрядами

Анализ результатов воздействия показывает, что значения исследуемых параметров воды C и S , pH и $ОВП$ качественно ведут себя так же, как и при ультразвуковом воздействии, хотя выбором материала электродов, выбором соотношения между напряжением пробоя и емкостью накопителя C можно получать несколько отличающиеся результаты. Максимальная эффективность воздействия достигается за время 0,4 часа при энергии воздействия W 0,056 кВт·ч. Близко к ультразвуковому протекает и процесс релаксации для данного метода.

Электролиз воды

Активация воды под воздействием электролиза представляет собой физико-химический процесс, возникающий при прохождении через воду электрического тока, что сопровождается упорядоченным движением положительных и отрицательных ионов в электрическом поле, которое создается между электродами. Результаты активации воды представлены на рис. 2.

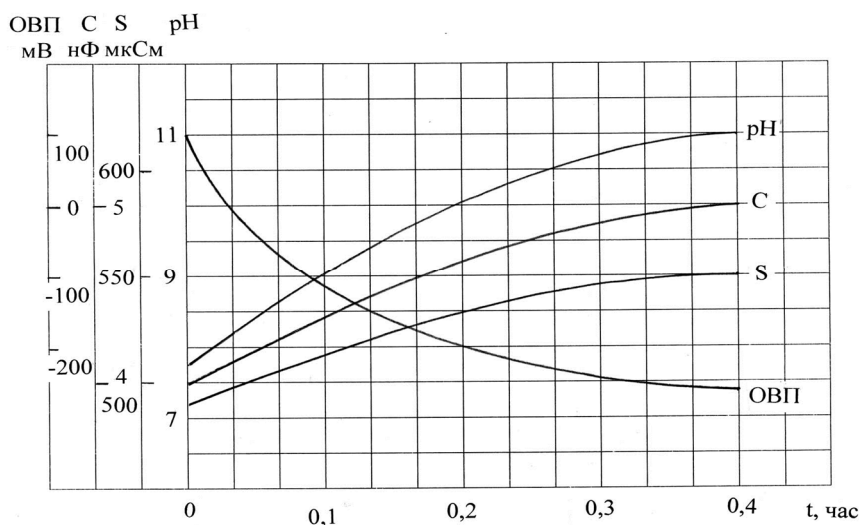


Рис. 2. Результат воздействия на воду электролизом

Данный метод при монотонном возрастании C , S и pH примерно в тех же пределах, что и при использовании вышерассмотренных технологий, позволяет значительно изменять $ОВП$ с переходом от положительных значений к отрицательным. При начальном значении $+100$ мВ $ОВП$ меняется до -215 мВ, что является несомненным достоинством метода.

Выводы

В результате проведенных экспериментов получена количественная оценка воздействия ультразвуковой кавитации и суперкавитации, высоковольтно-плазменных разрядов и электролиза на изменение свойств воды. Это изменение свойств говорит о том, что происходит активация воды с последующим проявлением эффекта памяти. Для оценки результатов активации воды различными методами предлагается в качестве показателя эффективности процесса использовать критерий эффективности активации K_i , который определяется следующим образом:

$$K_i = \frac{|A|}{D}, \quad (1)$$

где $|A|$ – величина изменения исследуемых параметров C , S , pH и $ОВП$; D – плотность энергии воздействия в Дж/моль в каждом из процессов, получаемая по формуле

$$D = \frac{W}{M}, \quad (2)$$

где W – величина энергии воздействия в Дж; M – масса активируемого вещества в молях.

В процессе эксперимента численные значения плотности энергии воздействия D соответственно были следующими: УКТ – 4320 Дж/моль; ВПТ – 3636 Дж/моль; СКТ – 2592 Дж/моль; ЭТ – 1854 Дж/моль.

Из работы [6] следует, что для изменения структуры воды из-за разрыва водородных связей необходимо затратить энергию порядка 16,7–25,1 кДж/моль. Как видно, в проведенных экспериментах плотность энергии намного меньше. Однако в работе [7] указано на необязательность разрыва водородных связей для активации. Активация воды может произойти из-за изменения угла между линией, соединяющей центры ближайших молекул воды, и направлением связи О – Н одной из этих молекул. Энергия, необходимая для такой деформации, неизмеримо меньше энергии их разрыва. Кроме того, одновременная деформация угла и длины связи молекул энергетически

более выгодна, чем деформация только угла или только длины связи [8]. Таким образом, изменение структуры воды может быть осуществлено при затратах энергии, которые намного меньше энергии разрыва структурных связей.

В результате экспериментов получены следующие значения критериев эффективности активации: $K_{ОВП}$ – критерий окислительно-восстановительного потенциала; K_{pH} – критерий показателя pH ; K_S – критерий проводимости; K_C – критерий электрической емкости.

Для активации воды различными технологиями критерии активации приведены ниже и расположены по мере их убывания.

Электролизная технология: $K_{ОВП} = 37,44$ мВ·моль/Дж; $K_{pH} = 0,54$ моль/Дж; $K_S = 11,34$ мкСм·моль/Дж; $K_C = 0,054$ нФ·моль/Дж.

Суперкавитационная технология: $K_{ОВП} = 3,42$ мВ·моль/Дж; $K_{pH} = 0,09$ моль/Дж; $K_S = 0,72$ мкСм·моль/Дж; $K_C = 0,054$ нФ·моль/Дж.

Ультразвуковая кавитационная технология: $K_{ОВП} = 3,24$ мВ·моль/Дж; $K_{pH} = 0,09$ моль/Дж; $K_S = 0,72$ мкСм·моль/Дж; $K_C = 0,054$ нФ·моль/Дж.

Высоковольтно-плазменная технология: $K_{ОВП} = 3,06$ мВ·моль/Дж; $K_{pH} = 0,07$ моль/Дж; $K_S = 7,02$ мкСм·моль/Дж; $K_C = 0,054$ нФ·моль/Дж.

Таким образом, наиболее эффективной и более простой в аппаратурной реализации технологией активации воды является электролизная, однако она монофункциональна. Другие технологии являются более многофункциональными и обладают возможностью наряду с активацией воды угнетать и стерилизовать микробную флору, дробить твердые вещества в виде добавок различных минералов (шунгит и др.), ускорять химические реакции и т. д. На их основе можно осуществить до 100 практических приложений. Наиболее сложной и дорогой в аппаратурной реализации следует считать высоковольтно-плазменную технологию, особенно с учетом техники безопасности (диапазон используемых напряжений 5–100 кВ). За ней следуют ультразвуковая кавитационная, кавитационная на затопленных струях и суперкавитационная технологии.

Технические аспекты активации воды

Не затрагивая широко описанные в литературе медицинские аспекты использования активированной воды, рассмотрим лишь технические. В активированной воде растворяются органические и неорганические реагенты, которые обычно растворяются лишь в концентрированных растворах щелочей и кислот. В такой воде увеличивается скорость кристаллизации растворенных веществ, скорость химических реакций, ин-

тенсифицируются процессы адсорбции, улучшается коагуляция примесей. С изменением ОБП меняется и поверхностное натяжение, а это уже прямой путь к управлению пенообразованием и адгезией красок. Изменяется скорость и направление многих физиологических реакций.

Биологическими экспериментами, проведенными в РТУ, установлено значительное влияние активированной воды на энергию прорастания семян, их всхожесть и прирост биомассы растений при их поливе этой водой. Активированная вода на 23% ускоряет расслоение эмульсии «вода – топливо», на 10–15% изменяет поверхностное натяжение воды.

Описанные выше эксперименты по изучению свойств активированной воды следует считать начальными. В дальнейшем необходимо выбрать оптимальные параметры воздействий в рамках каждой технологии и увязать результаты биологических экспериментов с современными методами физического анализа (рентгенографические исследования, поглощение водой лучей инфракрасного спектра, диэлектрическая релаксация, метод ядерного магнитного резонанса, рамановский спектр). Интерес представляет также использование для активации воды комбинированных методов воздействия. Для более эффективного разрыва структурных связей необходимо конструктивно совершенствовать технологические агрегаты и наращивать энергию воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыфанский С. Кавитационные и высоковольтно-плазменные технологии. Теория, эксперимент, инновационные предложения / Рижский технический университет. – Рига, 2008. – С. 526.
2. Кнепп Р., Дейли Л., Хэммит Ф. Кавитация. – М.: Мир, 1974. – С. 384.
3. Федоткин И.М. Использование кавитации в технологических процессах. – Киев: Вища школа, 1984. – С. 68.
4. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, 1986. – С. 252.
5. Бахир В. Активация в биологии // Техника и наука. – 1982. – №12. – С. 10–11.
6. Мякин С.В. Вода. Новые представления о качестве, методы структурирования и взаимодействия с органами человека [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nisleda.net/Razdely/article-mykin.htm>.
7. Зенин С.В. Исследование структуры воды методом протонного магнитного резонанса / Академия наук. – М., 1993. – С. 328–329.

8. Зенин С.В., Тяглов Б.В. Гидрофобная модель структуры ассоциатов молекул воды // Журнал физической химии. – 1994. № 68(4) – С. 636–641.