

УДК 531.528, 628.33

Веретельник Т.И., к.т.н., Цыба А.А., Себко А.В.

Черкасский государственный технологический университет, г.Черкассы, Украина

## ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ

Veretelnik T., Tsyba A., Sebko A.

Cherkassy State Technological University, Cherkassy, Ukraine

### EFFECT OF HYDRODYNAMIC CAVITATION TREATMENT ON ELECTROCHEMICAL INDICATORS OF TAP WATER

*Рассмотрены особенности кавитационных процессов в условиях вихревого центробежного поля давления при обработке жидкостей с целью разрушения биологических загрязнителей низкой плотности. Приведены результаты исследования влияния гидродинамических кавитационных эффектов на электрохимические показатели водопроводной воды: кислотно-щелочной баланс; окислительно-восстановительный потенциал; электропроводность; температуру.*

*Ключевые слова:* гидродинамическая кавитация, гидродинамические реакторы вихревого типа, кавитационные методы очистки жидкостных сред, водопроводный показатель рН, электрохимические показатели водопроводной воды.

#### Введение

Использование тепловых и гидродинамических эффектов кавитации способствует механотермолизу структуры воды с появлением свободных водородных связей, диспергированию, гомогенизации, ускорению химических реакций, удалению примесей отдельных элементов, и т.д. В то же время одной из острых проблем в современном мире является очистка, обеззараживание, структурирование и активирование потребляемой воды. К сожалению, на сегодняшний день проблемам структурирования и активация воды уделяется слишком мало внимания в системах водоочистки и водоподготовки.

К показателям качества воды относятся, прежде всего: кислотно щелочной баланс (рН), окислительно-восстановительный потенциал (ОВП); электрическая проводимость; концентрация солей; и т.д. Особенно большое значение с точки зрения энергетики человеческого тела имеет водородный показатель рН и показатель активности электронов ОВП в потребляемой воде. Влияние физических безреагентных методов очистки и обеззараживания воды, используемых в технологических системах, на её основные показатели качества исследовано недостаточно и требует комплексного научно обоснованного подхода.

Кавитационные методы очистки жидкостных сред в настоящее время используются не слишком широко, так как технические задачи по обеспечению необходимой производительности оборудования при соблюдении достаточного ресурса его работы остаются до конца нерешенными.

#### Анализ предыдущих исследований

Известно, что кавитация на макроуровне имеет механическое воздействие на клеточные мембраны микроорганизмов и бактерий. Кроме того, установлено влияние интенсивности кавитационных процессов на рост микроорганизмов [1].

Во многих опубликованных работах выявлено и аналитически определено механизм разрушительного воздействия на отдельные элементы водной среды ударных волн и кумулятивных струй образующихся вследствие коллапса микропузырьков [2-4].

Существует достаточное количество опубликованных работ, где описаны исследования электрохимических характеристик и показателей качества воды в условиях различных видов обработки: физическая, электромагнитная, акустическая активации; озонирование; насыщение водородом; электролиз; фармацевтическая или химическая обработка и т.п. В ходе проведения многих исследований было разработано значительное количество опытных установок, предназначенных для корегирования и стабилизации упомянутых выше показателей качества воды [5-10]. В то же время, по отношению к гидродинамической кавитационной обработке водной среды определенный консенсус отсутствует, и полученные данные являются весьма противоречивыми.

Для внедрения кавитационных технологий очистки и обеззараживания сточных вод предлагается использовать установки, созданные на базе кавитационных реакторов вихревого типа [11. 12].

**Целью данной работы** является изучение влияния кавитационных эффектов, которые происходят в кавитационном реакторе вихревого типа, на основные электрохимические характеристики водопроводной воды.

Во время выполнения работы производилось решение следующих задач:

- разработка схемы опытной установки и схемы измерения;
- выбор необходимой измерительной аппаратуры;
- определение уровней электрохимических параметров во время кавитационной обработки водопроводной воды и ее релаксации;
- определение влияния времени предварительного отстаивания воды на результаты экспериментов;
- анализ возможных факторов, влияющих на изменения электрохимических характеристик.

#### Теоретическая часть

Известно, что электрохимические характеристики воды (рН, ОВП, электропроводность) непосредственно влияют на качество воды и в сфере потребления человеком, и в ответственных технологических гидросистемах.

Под кислотно щелочным балансом жидкости понимают соотношение количества свободных ионов водорода  $H^+$  и гидроксильных групп  $OH^-$ . Этот показатель измеряется в пределах 0 - 14 и определяет степень кислотности или щелочности жидкости. То есть, рН – это мера интенсивности, но не количества, как кислотность или щелочность воды. Водородный показатель влияет на характер химических и биологических процессов в жидкости, скорость химических реакций, степень коррозии агрессивных жидкостей, токсичность загрязнителей и т.п. Считается, что рН, находящийся в диапазоне 6 - 9, наиболее приемлем для потребления человеком.

Более сложно контролировать и регулировать показатель ОВП (ORP - редокс-потенциал) из-за нестабильности во времени и зависимости от многих факторов внешней среды. ОВП является мерой химической активности элементов или их соединений в химических реакциях. Измерение ОВП чаще всего выполняют в милливольтках (мВ). Редокс-потенциал является одним из наиболее значительных факторов окислительно-восстановительных реакций, происходящих в жидкой среде.

Для внутренней среды человека ОВП находится обычно в пределах от -100 до + 200 мВ. ОВП обычной водопроводной воды изменяется в диапазоне от + 200 до + 300 мВ. Таким образом, активность электронов в организме человека гораздо выше, чем в потребляемой им воде. Указанное противоречие неизбежно отрицательно сказывается на процессах жизнедеятельности человека, так как нехватка электронов пополняется за счет внутренней энергии межклеточных мембран тканей организма. То есть, расходуется часть энергии высшего уровня, ради получения которой и происходят окислительно-восстановительные реакции. Необратимым следствием указанной проблемы есть преждевременное старение и гибель клеток человеческого организма. Процесс искусственного снижения уровня ОВП воды называют активацией, а электролитически активированную воду – католитом [13].

Электропроводность – это численное выражение способности водных растворов проводить электрический ток. Электропроводность зависит от степени минерализации (концентрации растворённых солей) и температуры. Таким образом, значение электропроводности с соответствующей погрешностью позволяет судить о минерализации воды. Минеральную часть воды составляют преимущественно ионы: ( $Na^+$ ), ( $K^+$ ), ( $Ca^{2+}$ ), ( $Cl^-$ ), ( $SO_4^{2-}$ ), ( $HCO_3^-$ ). Обычно измеряют удельную электропроводность в сименсах на сантиметр длины (См/см).

Использование гидродинамических кавитационных эффектов, с целью активировать жидкость, основывается на действии продольных электромагнитных волн, что сопровождается перестроением структур водных ассоциатов в соответствии с частотным кодом резонансной волны за счет электромагнитной эмиссии со стороны биологически активных соединений [14].

#### Изложение основного материала исследования

С целью реализации исследований влияния гидродинамической кавитации на окислительно-восстановительные процессы в жидкости использована опытная установка (рис.1).

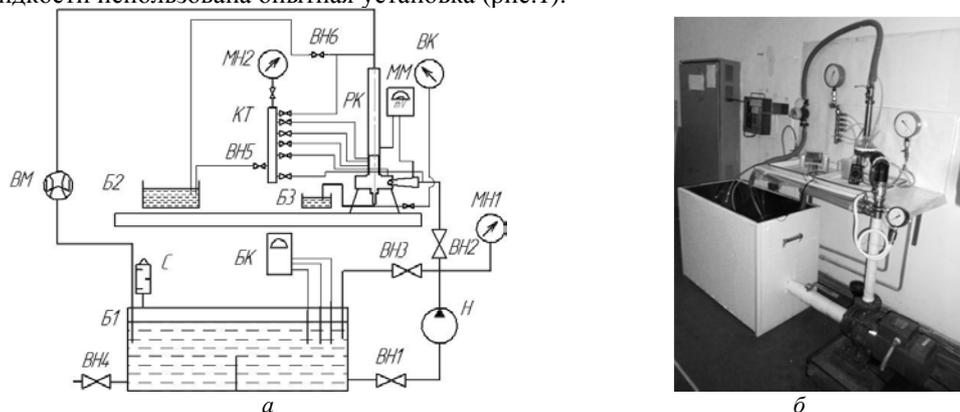


Рис. 1. Опытная установка: а- схема; б- внешний вид

В состав основных элементов установки входят: бак с водой Б1; кавитационный реактор вихревого типа РК; емкость контроля качества жидкости Б2; емкость жидкостного реагента Б3; насосная установка Н с запорной арматурой ВН1 – ВН6 и трубопроводами.

Система измерения и контроля состоит из: манометра МН1 класса точности 2,5 для определения избыточного давления на выходе из насоса; образцового манометра МН2 для измерения избыточного давления в контрольных точках реактора; коллектора КТ для подключения манометра МН2 к контролируемым точкам и компенсации флуктуаций давления в приборах; вакуумметра ВК для определения отрицательного давления в активной зоне реактора; блока контроля качества жидкости БК; расходомера ВМ для определения среднего расхода жидкости при циркуляции; мультиметра типа DT-838 для контроля разности потенциалов на входе – выходе реактора. С целью определения электрохимических характеристик воды в блоке контроля используется монитор качества воды РНТ-027 (РН-метр, кондуктометр, ОВП-метр, термометр) с набором соответствующих электродов. Насосная установка представлена центробежным насосом Н типа F40/160A «PEDROLLO» с номинальным напором на выходе  $H=30$  м и подачей  $Q=500$  л/мин.

Основным узлом установки является кавитационный реактор вихревого типа, представленный на рис. 2 [12]. Принцип действия реактора состоит в создании турбулентного кавитирующего потока жидкости за счет изменения его гидродинамических характеристик.

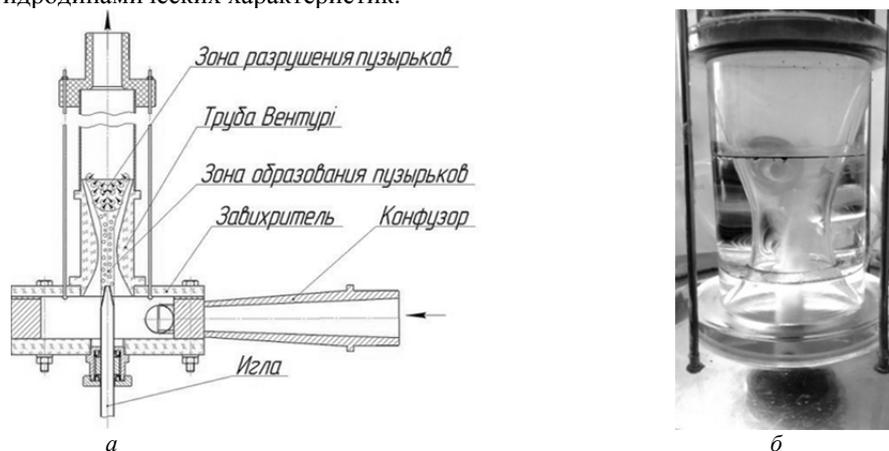


Рис. 2. Кавитационный реактор вихревого типа: а) схема; б) внешний вид активной зоны в работе

Представленная конструкция реактора позволяет:

- ускорить поток и гидродинамически уменьшить величину статического давления в конфузоре;
- уменьшить давление в осевой зоне завихрения за счет центробежных сил;
- сконцентрировать зону пониженного давления в области оси вращения потока;
- ограничить зону коллапса вдоль оси встречными вторичными потоками в трубе Вентури;
- сориентировать направление кумулятивных струй в момент коллапса пузырьков в область низкого давления, то есть от стенок реактора к оси;
- ввести в кавитационную зону реактора дополнительно жидкий или газообразный реагент через иглу и дозатор;
- организовать режим саморегулирования расхода за счет кавитационного ограничения живого сечения потока.

В качестве предмета исследования использовалась отфильтрованная (25 мкм) водопроводная вода г. Черкассы, как свеженабранная так и предварительно отстаиванная. Продолжительность предварительного отстаивания варьировалась от 24 до 72 часов. В ходе экспериментов вода прокачивалась через реактор в режиме циркуляции, смешиваясь в баке. Таким образом, с каждым циклом процентное соотношение обработанной воды по отношению к необработанной возрастало. Процесс обработки сопровождался характерным для кавитации шумом, высокочастотными вибрациями и визуальными наблюдениями кавитационной области (рис. 2, б).

Гидродинамические характеристики установки:

- давление на входе в реактор: 0,378 МПа;
- давление на выходе из реактора: 0,088 МПа;
- перепад давления в реакторе: 0,29 МПа;
- расход воды при 20 °С: 0,0011 м<sup>3</sup>/с (64 л/мин);
- избыточное статическое давление в зоне формирования пузырьков: -0,094 МПа, (7,24 кПа - абсолютное значение);
- избыточное статическое давление в зоне разрушения пузырьков: 0 - 0,034 МПа;
- максимальный радиальный градиент давления в трубке Вентури: 51 кПа/мм;

- объем воды в баке:  $100 \pm 1$  л.

Продолжительность эксперимента в каждой серии составляла 1,5 часа, из которых 30 минут отводилось на кавитационную обработку и 60 минут на последующее отстаивание. Контроль pH, ОВП, электропроводности, температуры, разности потенциалов в реакторе  $\Delta U$  проводился периодически через 30 секунд во время обработки. Значение pH, ОВП, электропроводности и температуры измерялось при помощи монитора качества воды РНТ-027 непосредственно в баке после предварительного калибрования с использованием специальных растворов (pH 7; ОВП 240 мВ; ЕС 1450 мкСм/см). Установка включалась в работу после стабилизации показаний всех измерительных приборов.

На рис. 3, а) приведены результаты измерений ОВП и pH во время обработки водопроводной воды отфильтрованной и предварительно отстаиванной в течение 24 часов. Как видно из диаграммы, окислительно-восстановительный потенциал воды интенсивно снижался в течение 7 минут обработки с уровня 200 мВ до 77 мВ, после чего постепенно возобновлялся независимо от работы реактора. Кислотно щелочной баланс постепенно повышался от 7,6 до 8,06 во время работы реактора и практически не изменялся после остановки. Повторная обработка воды к существенным изменениям pH и ОВП не привела. Повторная обработка воды после 24 часов перерыва снова понижала ОВП, но в меньшей степени (график ОВП2, рис. 3, а).

Значение электропроводности воды наблюдалось в пределах  $0,4 \pm 0,2$  мСм/см, что соответствует усредненной минерализации 270 - 290 ppm. Температура при обработке увеличивалась со стабильным приращением  $0,3$  °С/мин. Интенсивность охлаждения зависит после остановки зависела от температуры окружающей среды и термоизоляции оборудования (рис. 3, б).

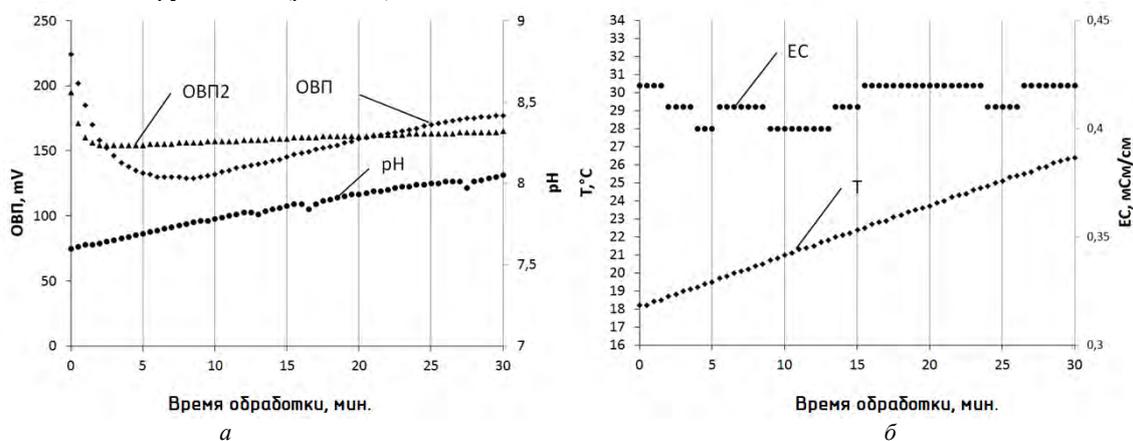


Рис. 3. Графики изменения электрохимических характеристик воды во время кавитационной обработки: а) окислительно-восстановительного потенциала ОВП, водородного показателя pH; б) температуры T, электропроводности ЕС

Конструкция завихрителя и трубки Вентури, изготовленных из органического стекла, дают возможность определить изменения разности потенциалов  $\Delta U$  (мВ) между точками: конфузор - выход реактора, игла - выход реактора (графики 1 и 2, рис. 4) во время работы. Как видно из графиков, вихревой двухфазный поток воды (график 1, рис. 4) имеет снижение  $\Delta U$  в среднем с 512 мВ до 350 мВ, то есть 5,67 мВ/мин. При этом отмечена тенденция к стабилизации. В однофазном потоке воды от конфузора до выходной трубы реактора вместе с зоной разрушения падение разности потенциалов составило в среднем 4,71 мВ/мин и уменьшалось от 141 до 43 мВ. Стабилизация явно выражена в последние 15 минут обработки (граф 2, рис. 4).

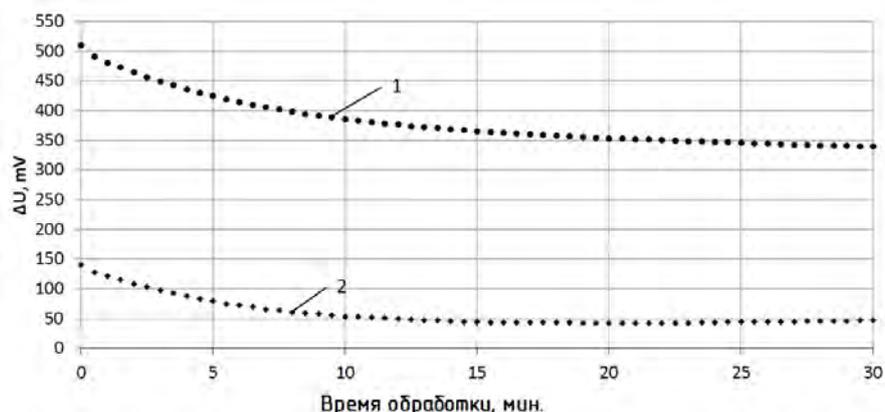
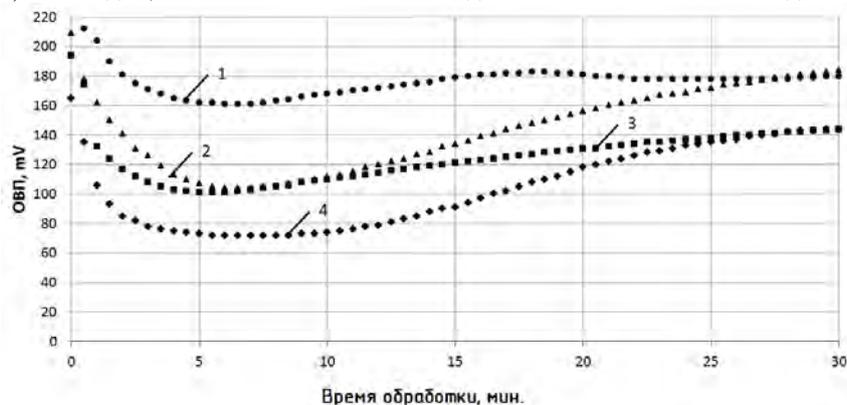


Рис. 4. Графики изменения разности потенциалов в контрольных точках реактора: 1 – конфузор – выход реактора; 2 – игла - выход реактора

Анализ ряда проведенных экспериментов позволил обнаружить влияние продолжительности предварительного отстаивания водопроводной воды на изменение ОВП во время обработки. Кавитационной обработке подвергалась свеженабранная водопроводная вода (график 1, рис. 5), предварительно отстоявшаяся в течение 24 часов (график 2, рис. 5) и вода, отстоявшаяся в течение 72 часов (график 3, рис. 5). Как видно из графиков, изменения ОВП в жидкостях предварительно отстоянных происходят значительно интенсивнее чем у свеженабранной воды: 17-18 мВ/мин против 10,5 мВ/мин, соответственно. В то же время, отстоявшиеся жидкости отличаются по уровню и интенсивности релаксации в ходе обработки и после остановки реактора (графики 2, 3, рис. 5). Очевидно, что более отстоявшаяся вода восстанавливает ОВП медленнее.

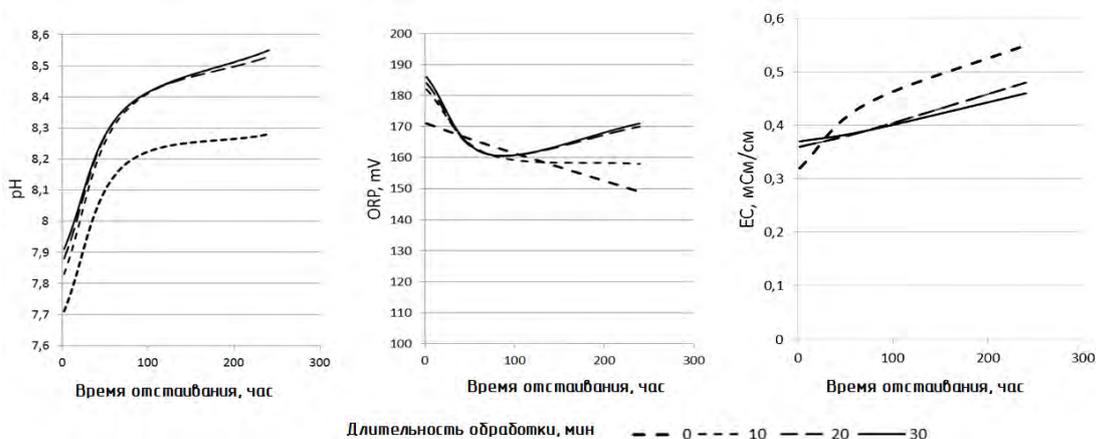


**Рис. 5. Графики изменения ОВП при кавитационной обработке в зависимости от продолжительности предварительного отстаивания: 1 – без предварительного отстаивания; 2 – с предварительным отстаиванием 24 часа; 3 - с предварительным отстаиванием 72 часа; 4 - без предварительного отстаивания 19.01.2013.**

Незначительные отклонения полученных зависимостей от приведенных на графиках наблюдались в разное время проведения экспериментов. Наибольшее отклонение от среднестатистического было замечено в ходе эксперимента 19.01.2013 (график 4, рис. 5). То есть, в день религиозного праздника (Богоявления), свеженабранная водопроводная вода имела наименьшее значение ОВП всех экспериментов 168 мВ и максимальную интенсивность снижения 18.6 мВ/мин. Очевидно, что в этот день имела место дополнительная активация воды, причины которой с научной точки зрения пока не объяснены.

Общезвестным является тот факт, что при выращивании сельскохозяйственных культур для различного назначения, процесс предварительного отстаивания воды перед поливом рекомендуем, поскольку это увеличивает интенсивность роста, урожайность и повышает устойчивость растений от болезней. Кавитационная же обработка воды приводит к ее искусственной активации.

Для определения влияния последующего отстаивания водопроводной воды после кавитационной обработки на основные ее электрохимические характеристики производился отбор проб воды непосредственно из выхода реактора. Интервал отбора проб составлял 10 мин. Затем исследуемые показатели воды контролировались в течении периода отстаивания. То есть, исследовались пробы обработанной воды без смешивания с необработанной. Результаты измерений сравнивались с контрольной пробой необработанной воды в течение нескольких дней. На рис. 6 приведены графики зависимости рН, ОВП и ЕС от продолжительности последующего отстаивания водопроводной воды после обработки, в сравнении с необработанной водой.



**Рис. 6. Графики основных электрохимических характеристик воды (рН, ОВП (ORP), ЕС) в зависимости от продолжительности последующего отстаивания**

Как видно из графиков (рис. 6), рН обработанной воды со временем увеличивается более интенсивно, чем необработанной. Так, как полученные графики почти одинаковы, то, очевидно, что продолжительность кавитационной обработки более чем 6-7 минут существенно не влияет на водородный показатель. Значение ОВП в процессе отстаивания для необработанной воды изменялось линейно. Тогда как для обработанной воды наблюдались колебания. Электропроводность воды, как отражение общей минерализации, со временем увеличивалась, но в обработанной воде менее интенсивно и постепенно.

Таким образом, можно предположить, что кавитация активирует сложные процессы электронного обмена в биохимических реакциях при условии наличия в воде соответствующих реагентов. Очевидно, что в качестве таких реагентов при кавитационной обработке водопроводной воды главным образом выступают активный кислород, атомарный водород и гидратированные электроны.

Гидратированные электроны, в данном случае, это энергетически активные электроны, которые образовались совместно с атомами водорода вследствие кавитационной активации воды в присутствии молекулярного кислорода. Источником этих электронов, очевидно, является активная зона кавитационного реактора (рис. 4).

В свою очередь гидратированные электроны и атомы водорода являются активными восстановителями. Вследствие этого, в ходе работы реактора наблюдалось отклонение ОВП как в одну, так и в другую сторону. Отсутствие указанных колебаний при повторной обработке воды свидетельствует об отсутствии в ней достаточного количества растворенного кислорода. После отстаивания, при котором происходит естественное насыщение воды кислородом, способность к реакциям в воде частично восстанавливается (график ОВП<sub>2</sub>, рис. 3).

Увеличение продолжительности отстаивания положительно влияет на интенсивность окислительно-восстановительных реакций в (рис. 6). Увеличение щелочности воды до соответствующих значений рН указывает на увеличение количества гидроксильных групп ОН<sup>-</sup> вследствие протекания электрохимических реакций (рис. 3, а). Рост общей температуры воды в ходе экспериментов был обусловлен, прежде всего, диссипативными процессами в турбулентных течениях и имел стабильный характер (рис. 3, б). Стратификация температурных зон реактора, очевидно, имела место, но в ходе экспериментов не исследовалась.

#### **Выводы**

Анализ проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Процессы гидродинамической кавитации, которые протекают в реакторе вихревого типа, по-разному влияют на основные электрохимические характеристики водопроводной воды: кислотно-щелочной баланс, окислительно-восстановительный потенциал, электрическую проводимость, температуру. В ходе обработки фиксированного объема воды в режиме пропорционального смешивания значение рН смещается в сторону щелочности на 0,4-0,5 единицы. Электропроводность изменялась незначительно  $\pm 0,2$  мСм/см. ОВП претерпел как снижение, так и рост с интенсивностью, зависящей, главным образом, от времени предварительного отстаивания водопроводной воды.

2. Увеличение продолжительности предварительного отстаивания водопроводной воды приводит к более интенсивным колебаниям ОВП, как во время обработки, так и в течение последующего отстаивания. Максимальный эффект наблюдался в пределах трех суток отстаивания.

3. Обработка воды посредством гидродинамической кавитации в течение более чем 7 минут не сказывается на изменении исследуемых параметров по результатам измерений отобранных отдельных проб в ходе дальнейшего отстаивания. Различия были отмечены только в обработанных и необработанных пробах.

4. Активация водопроводной воды с помощью гидродинамической кавитации ограничивается количеством активных реагентов, прежде всего, таких как молекулярный кислород. Поэтому выполненную кавитационную обработку водопроводной воды безреагентной можно назвать достаточно условно.

5. Эффективное применение гидродинамической кавитации в технологиях очистки и обеззараживания водных сред, вероятно, предусматривает регламентированное дополнительное введение в активную зону реактора вихревого типа необходимых химических реагентов через иглу с дозатором.

**Анотація.** Розглянуто особливості кавітаційних процесів в умовах вихрового відцентрового поля тиску при обробці рідин з метою руйнування біологічних забруднювачів низької щільності. Наведено результати дослідження впливу гідродинамічних кавітаційних ефектів на електрохімічні показники водопровідної води: кислотно-лужний баланс; окислювально-відновний потенціал; електропровідність; температуру.

**Ключові слова:** гідродинамічна кавітація, гідродинамічні реактори вихрового типу, кавітаційні методи очистки рідинних середовищ, водопровідний показник рН, електрохімічні показники водопровідної води.

**Abstract.** The article is devoted to the features of cavitation processes in the vortex centrifugal pressure field in the processing fluids to destroy biological contaminants of low density. The results of the investigation of the influence of hydrodynamic cavitation effects on the electrochemical figures of water: acid-base balance; redox potential; electrical conductivity; temperature were given.

**Keywords:** hydrodynamic cavitation, hydrodynamic vortex type reactors, cavitation methods of cleaning liquid media, the pH of the tap water, the electrochemical figures of tap water.

**Библиографический список использованной литературы**

1. *Pirsol I.S.* Кавитация. – М.: Мир, 1975 – 94 с.
2. *Kling C. L., Hammitt F. O.* A photographic study of sparc-induced cavitation – bubbl collapse // J. Basic Engang, Trans. A.S.M.E., D94, 1972.
3. *Lauterborn W., Bolle H.* Experimental investigations of cavitation – bubbl collapse in the neighbourhood of a solid boundary // J. Fluid Mech., 1975, vol. 72, p. 2.
4. *Plesset M. S., Chapman R. B.* Collapse of an Initially Spherical Vapour Cavity in the Neighbourhood of a Solid Boundary // J. Fluid Mech., 1971, vol. 47, №2.- p. 125-141.
5. *Каратаева С.Ю., Ширососов В.Г.* Феномен бесконтактной активации жидкости живыми организмами// "МИС-РТ"-2004 г. Сборник № 33-3.
6. *Аристова Н.А., Пискарев И.М.* Новый подход к задаче очистки и обеззараживания питьевой воды на основе генератора озono-гидроксильной смеси//С.О.К.(Сантехника. Отопление. Кондиционирование.) № 9. 2005 г. С. 26-28.
7. *Петрушанко И.Ю., Лобышев В.И.* Неравновесное состояние электрохимически активированной воды и её биологическая активность.// Биофизика. - 2001. - Т. 46 - Вып. 3. - С. 389-401.
8. *Пискарев И.М., Туголуков С.Н., Милавский М.А., Волков Л.С.* Патент на полезную модель № 71332. Устройство для получения жидкой среды с отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом путём насыщения её водородом. Зарегистрирован 10 марта 2008 г.
9. *Веретільник Т.І., Матухно О.В.* Удосконалення технології очищення стічних вод із застосуванням ефектів кавітації // Промислова гідраліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ. – 2009. – с. 7 – 10.
10. *Веретільник Т.І., Яхно О.М.* Очистка сточных вод на Черкасском ОАО Азот с использованием эффектов кавитации // Вестник НТУУ «КПИ», Машиностроение. – 2007. - №51. – с. 87 -93.
11. *Веретільник Т.І., Циба О.А., Щербина М.О.* Комп'ютерне моделювання роботи кавітаційного реактора з використанням засобів САПР Solid Works // Промислова гідраліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ. – 2010. – с. 45 – 50. Патент 61789. Україна, МПК В06В1/20. Вихровий кавітаційний реактор / Веретільник Т.І., Циба О.А., Дифучин Ю.М.,
12. *Капітан Р.Б.* Заявл. 01.02.2011; Опубл. 25.07.2011. – Бюл. № 14.
13. *Леонов Б.И., Прилуцкий В.И., Бахир В.М.* Физико-химические аспекты биологического действия электрохимически активированной воды. - М.: ВНИИИМТ, 1999. - с. 244. Под редакцией Ю.А.
14. *Рахманина, В.К. Кондратова.* «Вода – космическое явление». Корпоративные свойства, биологическая активность. – М.: РАЕН, 2002.

**References**

1. *Pirsol I.S.* Kavitatsija(Cavitation). Moscow: Mir, 1975, 94p.
2. *Kling C. L., Hammitt F. O.* A photographic study of sparc-induced cavitation – bubbl collapse. J. Basic Engang, Trans. A.S.M.E., D94, 1972.
3. *Lauterborn W., Bolle H.* Experimental investigations of cavitation – bubbl collapse in the neighbourhood of a solid boundary J. Fluid Mech., 1975, vol. 72, p. 2.
4. *Plesset M. S., Chapman R. B.* Collapse of an Initially Spherical Vapour Cavity in the Neighbourhood of a Solid Boundary. J. Fluid Mech., 1971, vol. 47, no 2. p. 125-141.
5. *Karataeva S.U., Shironosov V.G.* MIS-RT , 2004, Sbornik, no33-3
6. *Aristova N.A., Piskarev I.M.* S.O.K.Santehnika. Otoplenie.Konditsionirovanie. (Sanitary engineering. Heating. Conditioning) no 9, 2005, p.26-28
7. *Petryshanko I.Y., Lobushev V.I.* Biofizika. 2001, T 46, no.3. p. 389-401.
8. *Piskarev I.M., Tygolyov S.N., Milyavskiy M.A., Volkov L.S.* Patent no 71332.10.03.2008.
9. *Veretilnyk T.I., Matyhno O.V.* Journal of Industrial Hydraulics and Pneumatics, V.: VDAU. 2009, p.7-10
10. *Veretilnyk T.I., Jahno Vestnik NTUU"KPI", Mashinostroenie.* 2007. No 51. c. 87 -93.
11. *Veretilnyk T.I., Tsyba O.A., Scherbyna M.O.* Journal of Industrial Hydraulics and Pneumatics, Vinnytsia: VDAU.-2010, P 45-50.
12. *Veretilnyk T.I., Tsyba O.A., Difuchyn Yu.M., Kapitan R.B.* Vykhrovij kavitatsijnyj reactor (The Cavitation Reaction). Patent Ukrainy no 61789U25.07.2011.
13. *Leonov B.I., Prilytskiyj V.I., Bahir V.M.* Physico-chemical aspects of the biological action of electrochemically activated water. M.VNIIIMT, 1999, p.244.
14. *Rahmanin Yu.A., Kondratov V.K.* Water - a cosmic phenomenon. Corporate properties, biological activity. Moscow: RAEN, 2002.

Подана до редакції 07.11.2014