

ВОЗМОЖНОСТЬ **ИНТЕНСИФИКАЦИИ** ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ при ОЧИСТКЕ ВОДЫ за СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭФФЕКТА КАВИТАЦИИ

Актуальной на сегодняшний день задачей охраны окружающей среды является использование безреагентных методов очистки воды. Выполнены экспериментальные исследования кавитации в высокоскоростных потоках жидкости, сопровождающейся образованием пузырьков слабоионизированного газа. Подтверждено образование химически активных радикалов, способствующих окислению примесей органической и неорганической природы в воде.

Введение

Снижение пагубного воздействия промышленных и хозяйственных стоков является предметом повышенного внимания современной экологии. В целях рационального природопользования разрабатываются новые экологически безопасные технологии обезвреживания и очистки сточных вод. Одним из перспективных глубоко изученных методов деструкции органических веществ, извлечения тяжелых металлов и обеззараживания воды является применение кавитации в потоках жидкости.

Известно [1], что явление кавитации возникает при локальном понижении давления в жидкости ниже давления насыщенного пара при её пропускании через кавитационное устройство. Таким образом, в области локального понижения давления, в жидкости происходит образование микроскопических кавитационных пузырьков. В области локального повышения давления происходит их схлопывание, сопровождающееся возникновением ударных волн, приводящих к краткосрочному повыше-

В.В. Багров,
кандидат технических наук, заместитель директора, НИИ энергетического машиностроения Московского государственного технического университета им. Н.Э.

Баумана
Д.Ю. Графов,
ведущий инженер, ФГБОУ ВПО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

А.В. Десятов*,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

нию температуры и давления до 2500 °С и 100 атм, соответственно.

Ударные волны, образующиеся при схлопывании кавитационных пузырьков, приводят к разрыву связей в молекулах воды и образованию химически активных частиц ОН — радикалов и атомарного водорода. Впоследствии, атомы водорода и гидроксил-радикалы рекомбинируют, образуя молекулярный водород и перекись водорода. Таким образом, при наличии в воде примесей неорганической и органической природы возможно их окисление.

При кавитации в диэлектрических и проводящих каналах в технической практике известно явление электризации жидкостей и эмульсий [2]. Это явление связано с накоплением заряда статического электричества на границе жидкости и стенках канала. Последующий сток заряда с поверхности проводника в поток диэлектрической жидкости сопровождается электрическим пробоем, образованием слабоионизированной плазмы и свечением в области плазменного канала [3].

Явление кавитации с эффектом образования слабоионизированной плазмы способно обеспечить одновременное воздействие на очищаемую воду не только активных частиц, но и других факторов: ультрафиолетового излучения, озона и электрического поля. Такое комплексное воздействие может представляться весьма эффективным. Созданные в достаточных количествах активные частицы, наряду с остальными перечисленными факторами, способны интенсифицировать процессы окисления органических веществ до форм, легко подверженных биоразложению, увеличивать степень извлечения ионов тяжелых металлов в виде оксидов и гидроксидов и вызы-

*Адрес для корреспонденции: avdesyatov@mail.ru

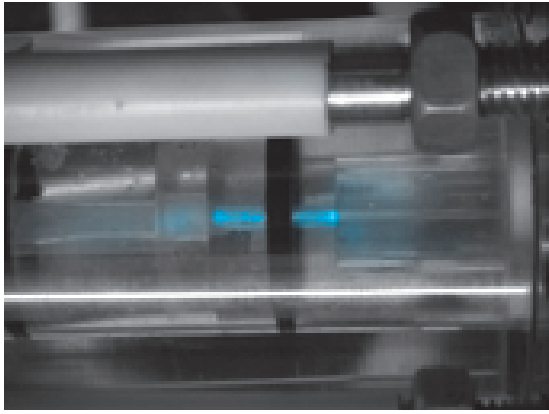


Рис. 1. Эффект триболюминесценции в кавитационной ячейке.

вать гибель болезнетворных микроорганизмов в результате разрушения их клеточных стенок [4].

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлен процесс кавитации в жидкой среде, сопровождающийся наблюдаемым эффектом триболюминесценции (свечением электростатической природы).

В спектрах люминесценции, получаемых при проведении экспериментов с использованием металлического шнека и капилляра диаметром 1,5 мм, обнаруживались полосы излучения гидроксильной группы ОН (306-330 нм), интенсивные линии излучения атомарного водорода Н (434,1 нм, 486,1 нм и 656,3 нм). В этих же спектрах люминесценции наблюдались линии излучения одно-

Н.Е. Кручинина, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

К.А. Кутербеков, доктор технических наук, профессор, РГП на ПХВ «Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилёва

Т.Н. Нурахметов, доктор технических наук, профессор, РГП на ПХВ «Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилёва

Р.В. Якушин, аспирант, ФГБОУ ВПО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

кратно ионизованных атомов кислорода O^{II} в сине-фиолетовой области спектра.

При скорости потока в канале 65 м/с, проводимости воды $0,04 \text{ мкС/см}^2$, при входной нагрузке 1 МОм были зарегистрированы электромагнитные импульсы (рис. 2).

Сигналы, отвечающие наведенной в рамке э.д.с., соответствуют вспышкам люминесценции микрозарядов, наблюдаемых в ячейке. Характерное время между импульсами составляет величину $\Delta T \sim 10 \text{ мкс}$. Затухающие периодические осцилляции сигнала определяются реактивными и активными электрическими параметрами колебательного контура, состоящего из последовательно соединенных индуктивной катушки, сопротивления и емкости входного каскада осциллографа. На основании вида сигнала, полученного на датчике с малой индуктивностью, характерную длительность электромагнитного импульса можно оценить величиной $t \sim 10 \text{ нс}$.

Основная задача выполненного исследования состояла в обнаружении по средствам снятия спектров химически активных частиц, способных интенсифицировать окислительно-восстановительные процессы в водной среде. Полученные данные показывают, что в спектре люминесценции наблюдались полоса излучения гидроксил-радикала (309 нм), яркие линии излучения атомарного водорода и кислорода. Спектры люминесценции не сплошные, состоят из отдельных атомарных и ионных линий и молекулярных электронных колебательно-вращательных полос.

В середине потока на участке от закручивающего устройства до расширительной камеры формировалась парогазовая каверна цилиндрической формы с диаметром, равным диаметру капилляра конфузора. Люминесценция наблюдалась вдоль всей оси конфузора, достигая максимума в капилляре. Спектр люминесценции измерялся в точке входа в капилляр, где свечение имело наибольшую яркость при визуальном наблюдении.

Наличие в спектрах люминесценции линий таких высокоактивных частиц, как ОН-радикалы, пероксид водорода (H_2O_2), O^{2-} и O^- указывает на перспективы использования данного метода с целью деструкции органических

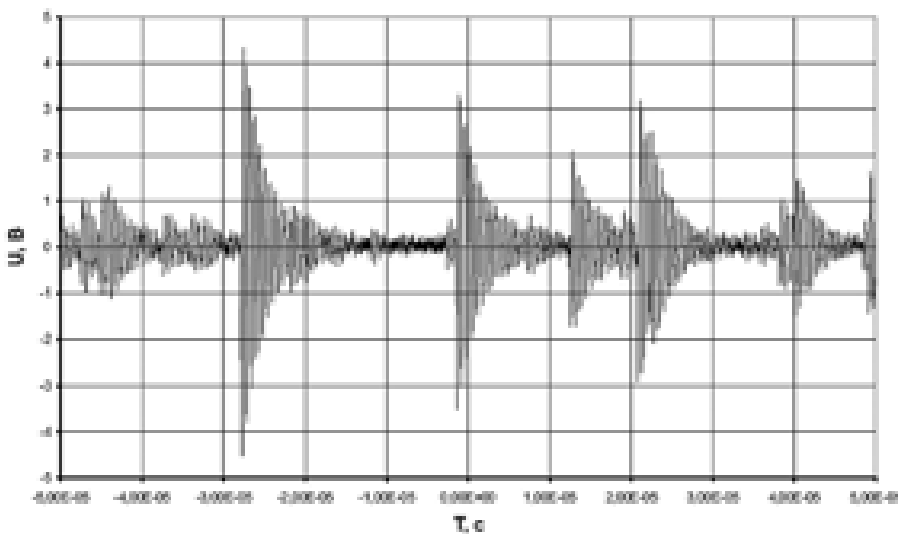


Рис. 2. Сигнал, регистрируемый электромагнитным датчиком.

веществ, содержащихся в жидких средах. Кроме того, зарегистрированы электрические импульсы, вызванные нестационарным потоком заряженных частиц, индуцирующими э.д.с. в приемной антенне. Независимо от причины появления зарядов, перенос заряженных частиц вдоль канала определяет ток, приводящий посредством индукции к сигналу э.д.с.

Важно отметить, что регистрируемый импульс тока являлся униполярным — отрицательным. Это указывает на то, что плазменный пробой в канале ячейки образуется потоком электронов, т.е. в капилляре реализуется искровой пробой с отрицательным начальным потенциалом с формированием электронной лавины, приводящей к столкновительному возбуждению и ионизации паровых частиц.

Отмечена прямая зависимость роста величины электрических импульсов с ростом интенсивности наблюдаемой люминесценции.

Известно, что воздействие кавитации способствует процессам окисления ионов металлов и образованию их малорастворимых соединений, которые могут быть легко удалены из обрабатываемой воды.

Заключение

Таким образом, конструкционные особенности кавитационной ячейки способны интенсифицировать окислительно-восстановительные процессы в жидкости за

Ключевые слова: экология, водоподготовка, сточные воды, кавитация, низкотемпературная плазма

счёт проявления трибоэлектрических эффектов. Совместное воздействие кавитации и образования слабоионизированного газа (холодной плазмы) может проявить синергетический деструктивный эффект по отношению к загрязняющим веществам и микроорганизмам в воде, что требует проведения дополнительных исследований на конкретных модельных растворах.

Литература

1. Бродский В. А. Анализ перспективных физико-химических методов обработки и обезвреживания воды, содержащей высокотоксичные химические вещества и микроорганизмы / В. А. Бродский, Е. С. Кондратьева, Р. В. Якушин, А. Ю. Курбатов, Ю. М. Артёмкина // Химическая промышленность сегодня. 2013. № 2. С. 52–56.
2. Колдомасов А. И. Плазменное образование в кавитирующей диэлектрической жидкости // Журнал технической физики. 1991. Т. 61. № 2. С. 188–190.
3. Багров В. В. Вода, эффекты и технологии (монография) / В. В. Багров, А. В. Десятов, Н. Н. Казанцева, А. С. Камруков, Н. П. Козлов, А. А. Корнилова, Б. С. Ксенофонтов, А. П. Кубышкин, И. П. Кужекин, Н. В. Кулешов, Ю. А. Нагель, С. Г. Черкасов // Под ред. А. В. Десятова. М.: Изд-во ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2010. 488 с.
4. Сериков Л. В. Деструкция органических веществ в растворах под действием импульсных электрических разрядов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 59 с.

V.V. Bagrov, D.Yu. Grafov, A.V. Desyatov, N.E. Kruchinina, K.A. Kuterbekov, T.N. Nurachmetov, R.V. Yakushin

POSSIBILITY OF INTENSIFICATION OF OXIDATION-REDUCTION PROCESSES DURING WATER TREATMENT USING CAVITATION

Application of reagentless water treatment is a currently important task of environmental control. The article is concerned with an experimental study of cavitation in high-speed liquid flows which was accompanied with generation of bubbles of a slightly ionized gas. Formation of chemically-active radicals contributing to oxidation of organic or inorganic traces in water was proved.

Key words: ecology, water treatment, waste water, cavitation, low-temperature plasma