

# Метод окисления Бисфенола А основанный на высокочастотном ультразвуке и низконапорной гидродинамической кавитации\*

Асеев Д.Г.

Российская академия наук, Сибирское отделение, Байкальский институт природопользования  
Улан-Удэ, Российская Федерация  
[Aseev.Denis.G@gmail.com](mailto:Aseev.Denis.G@gmail.com)

**Аннотация.** На примере Бисфенола А (БФА) установлены кинетические закономерности окислительных процессов в водной среде при воздействии акустической кавитации генерируемой ультразвуком мегагерцового диапазона (1,7 МГц), низконапорной гидродинамической кавитацией (НГДК), а также в фентон-подобной системе НГДК/УЗ/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>. Полученные результаты свидетельствуют о существенной активации процессов окисления БФА при совместном воздействии высокочастотного ультразвука и НГДК также в фентон-подобной железо-персульфатной системе. Кинетические закономерности получены при соотношении [S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>]:[БФА]<sub>0</sub> = 5:1, что значительно ниже стехиометрически необходимого количества для полной минерализации БФА, при этом конверсия БФА в системе НГДК/УЗ/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> достигается 64% через 240 мин обработки, а минерализация органического вещества составляет 34%. Применяемая «ловушка» радикалов (метанол, трет-бутанол) установлена роль высокорекреационноспособных кислородсодержащих радикалов.

**Ключевые слова:** Бисфенол А, высокочастотный ультразвук, гидродинамическая кавитация, сульфатные анион-радикалы.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существуют значительные проблемы в области надлежащего управления качеством сточных и природных вод. Ситуация обостряется вследствие глобального аккумуляирования биорезистентных поллютантов антропогенного происхождения, в том числе и микрополлютантов. Микрополлютанты – это вещества, как правило, органической природы, содержащиеся в стоках в незначительных количествах и не поддающиеся биологическому окислению. Это прежде всего синтетические органические соединения, поступающие в стоки при эксплуатации продукции химической промышленности (Бисфенол-А и др.), фармацевтические средства (антибиотики, противовоспалительные препараты и др.), выделяющиеся с продуктами жизнедеятельности человека при их употреблении, бактерицидные компоненты, входящие в состав гигиенических средств (триклозан и др.). Опасность состоит в том, что микрополлютанты не проявляют острой токсичности, но при длительном воздействии способны приводить к возникновению необратимых изменений у всех живых организмов водной экосистемы [1]. В связи с этим, разработка инновационных методов водочистки является приоритетным направлением исследований в области экологически безопасных технологий.

Для очистки воды от биорезистентных микрополлютантов перспективны комбинированные окислительные процессы, именуемые «Advanced Oxidation Processes» (AOPs). Принцип AOPs состоит в том, что в качестве окислителей используются высокорекреационные радикалы – активные формы кислорода (АФК) ( $OH^*$ ,  $SO_4^{\cdot-}$ ). Для получения радикалов в водной среде *in situ* применяют как физические (акустическая кавитация, гидродинамическая кавитация, фотолиз, ионизирующее излучение и т.д.), так и химические методы (введение окислителей и катализаторов). Полученные свободные радикалы представляют собой частицы с неспаренными электронами, что обуславливает их высокую реакционную способность [2, 3]. Методы очистки сточных вод с использованием AOPs являются экологически чистыми, поскольку при их реализации используются экологически чистые окислители (пероксид водорода, персульфат и др.) и достигается глубокая минерализация трудноокисляемых примесей без образования вторичных загрязнителей [4].

Использование ультразвука для очистки природных и сточных вод привлекают всё большее внимание исследователей [5, 6]. Для осуществления сонохимических реакций применяют генераторы низко-, средне- и высокочастотных акустических колебаний от 20 кГц и до 2 МГц [7]. При этом следует отметить, что низко- и среднечастотные устройства достаточно энергоёмки и имеют низкий коэффициент полезного действия, что является их существенным недостатком, а потребляемая мощность высокочастотных аналогов практически на порядок ниже, что обуславливает их перспективность для промышленного применения [8-10].

Также к наиболее перспективным методам генерации АФК можно отнести низконапорную гидродинамическую кавитацию (НГДК). Авторами работ [11-15] показано, что нет необходимости в больших затратах энергии, применяя высоконапорную струйную кавитацию, поскольку и при более низких давлениях (<10 атм), характерных для НГДК, возможно эффективное окисление примесей в воде.

В настоящее время большое внимание исследователей посвящено изучению процессов с использованием окислительных систем на основе сульфатных анион-радикалов  $SO_4^{\cdot-}$  (Sulfate Radical Based - AOPs). Сульфатные анион-радикалы имеют сопоставимый с  $OH^*$  стандартный электродный потенциал, более широкий рабочий диапазон pH,

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-29-00406, <https://rscf.ru/project/22-29-00406/>, с использованием оборудования ЦКП БИП СО РАН (Улан-Удэ).

Статья публикуется по рекомендации программного комитета Международной научно-технической конференции "Строительство, архитектура и техноферная безопасность", <https://iccats.org>

обладают большей селективностью [16-20]. Для активации персульфата, являющегося прекурсором  $SO_4^{\cdot-}$ , применяют разные методы (кавитация, нагревание, ультрафиолетовое излучение, микроволны, ионы металлов переменной валентности и т.п.) [21]. Основным путем химической активации персульфата является использование металлов переменной валентности [22, 23]:



Преимущественно для этих целей применяют соединения железа, так как другие металлы как правило более токсичны [24].

Цель данного исследования – разработка нового гибридного окислительного метода очистки природных и сточных вод от органических микрополлютантов, основанном на воздействии АФК, образующихся *in situ* при совместном воздействии НГДК и высокочастотного УЗ.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования являлись модельные водные растворы БФА. Концентрация БФА в водных растворах составляла 10 мг/л (43,80 мкмоль/л). Бисфенол А ( $\geq 99\%$ , Aldrich chem., США), Калий Надсернистый,  $K_2S_2O_8$ , (ГОСТ 4146-74), марки ч. Серная кислота,  $H_2SO_4$ , (ГОСТ 4204-77), марки х.ч., Сульфат Железа (II),  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , (ГОСТ 6981-94), марки х.ч.

На рис. 1 представлена схема лабораторной экспериментальной установки. Установка включает в себя: вертикальный многоступенчатый центробежный насос (Grundfos CRNE-15) со встроенным частотным преобразователем (Н), емкость с термостатированием (5), линию гомогенизации (3) для быстрого перемешивания веществ, напорную линию (4) с генератором кавитации (1) и манометр (М). Общий объем обрабатываемого раствора составил 6,0 л. Все элементы экспериментальной установки выполнены из нержавеющей стали, стойкой к агрессивным средам. Генератор НГДК (1) выполнен в виде дроссельного устройства с форсункой диаметром 4 мм из инертного материала (фторопласт). Эксперименты проводили при температуре 25 °С. Работа установки организована следующим образом: рабочий раствор из усреднителя нагнетается насосом по напорной линии в генератор кавитации, где формируется область пониженного давления и развивается кавитация. Далее, последовательно рабочий раствор попадает в область ультразвукового поля, которое создают два соосно направленных пьезокерамических преобразователя (2). Частоту колебаний пьезокерамических преобразователей задают УЗ генераторы.

После обработки жидкость либо возвращалась в реактор на повторную обработку, либо отводилась в резервуар очищенной воды. В рабочем режиме осуществлялся контроль (Т, рН) и из усреднителя отбирались пробы воды на анализ.

Кинетику окисления БФА в ходе реакции исследовали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием хроматографа Agilent 1260 Infinity («Agilent Technologies», США) с флуориметрическим детектором. Степень минерализации органического субстрата оценивали по изменению содержания растворенного органического углерода (РОУ), определяемого на анализаторе Shimadzu TOC-L CSN (предел обнаружения 50 мкг/л).

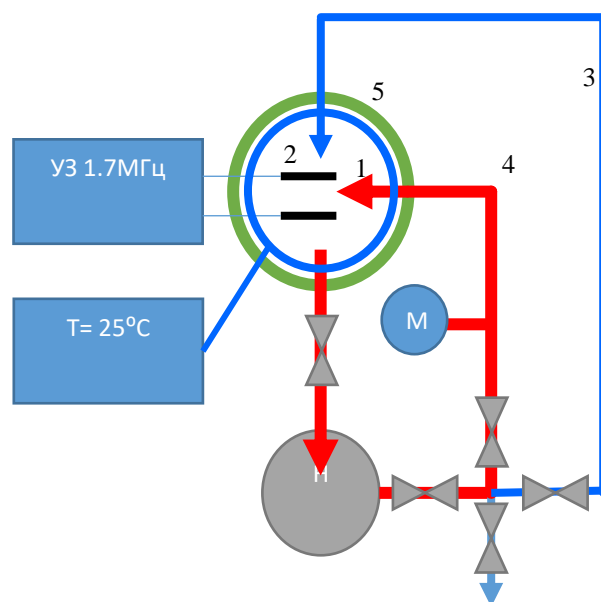
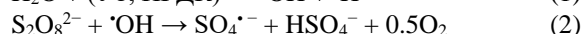


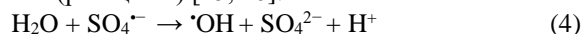
Рис. 1. Схема лабораторной экспериментальной установки: 1 – кавитационная камера с встроенным манометром, 2 – два соосно направленных пьезокерамических преобразователя, 3 – линия гомогенизации, 4 – напорная линия, 5 – емкость с термостатированием; Н – вертикальный многоступенчатый центробежный насос:

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнительный анализ окислительных систем показывает, что деструкция БФА в гибридных системах происходит более эффективно по сравнению с отдельными окислительными процессами (рис. 2а и 2б). Так при одном лишь воздействии УЗ или НГДК (2 атм) процесс деструкции БФА проходит относительно медленно, с константами скоростей  $3,04 \cdot 10^{-4} \text{ мин}^{-1}$  и  $3,48 \cdot 10^{-4} \text{ мин}^{-1}$  соответственно. При совместном воздействии УЗ и НГДК (2 атм) константа скорости увеличивается до  $4,23 \cdot 10^{-4} \text{ мин}^{-1}$ , но при добавлении окислителя  $S_2O_8^{2-}$ , константа скорости возрастает заметно  $5,40 \cdot 10^{-4} \text{ мин}^{-1}$ . Очевидно происходит активация персульфата за счет реакций с образующимися при сонолизе воды и в условиях НГДК радикалами (реакции 1-3):

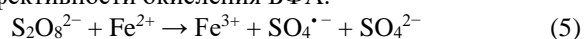


При реакции сульфатных анион-радикалов с водой в растворе могут формироваться также и гидроксильные радикалы (реакция 4) [25, 26]:



В то же время снижения концентрации РОУ в окислительных системах УЗ, НГДК, УЗ/НГДК, УЗ/НГДК/ПС не наблюдалось, и в течении 240 мин значения находились в пределах 5% погрешности.

Как отмечалось ранее активация персульфата происходит так же в присутствии металлов переменной валентности (реакция 5). Так в присутствии ионов железа (II) происходит увеличение как начальной скорости реакции, так и эффективности окисления БФА:



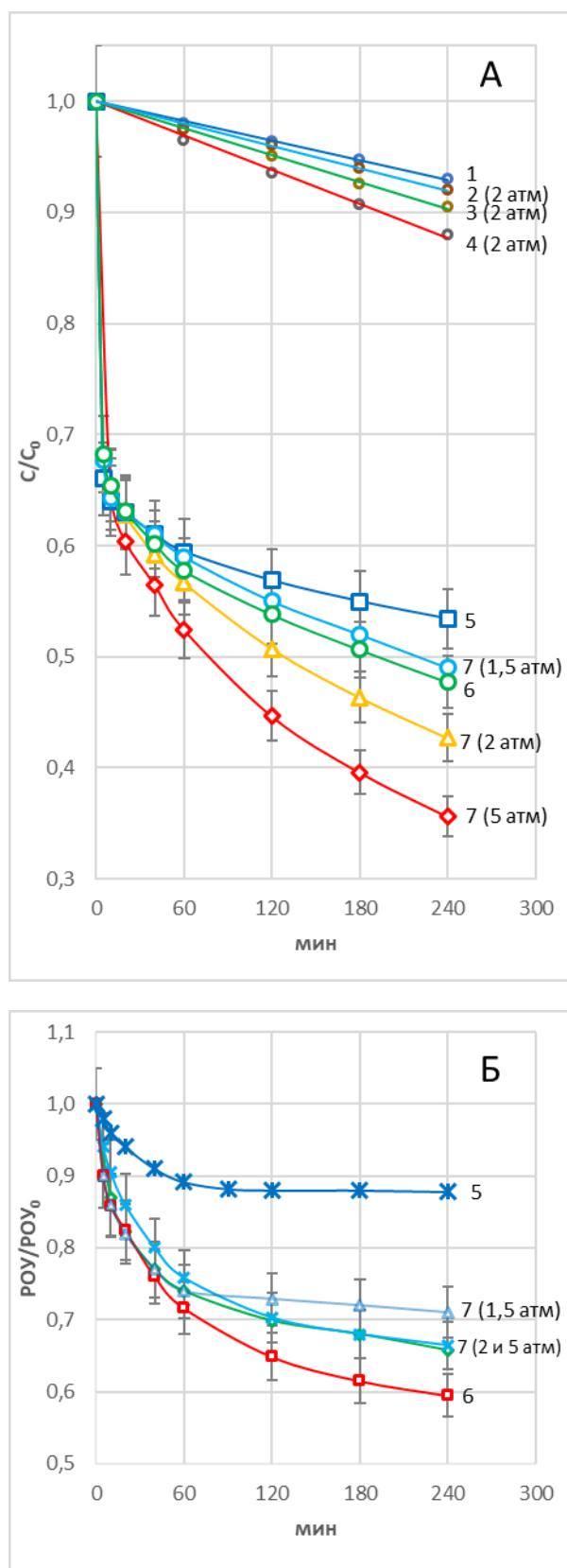
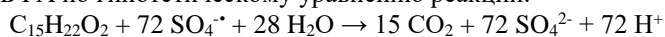


Рис. 2. Деструкция (а) и минерализация (б)

БФА в различных окислительных системах:

1 – УЗ, 2 – НГДК, 3 – УЗ/НГДК, 4 – УЗ/НГДК/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>, 5 – Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>, 6 – УЗ/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>, 7 – УЗ/НГДК/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>. C<sub>0</sub>(БФА) = 43,8 μмоль/л, C<sub>0</sub>(S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>) = 219 μмоль/л, C<sub>0</sub>(Fe<sup>2+</sup>) = 89 μмоль/л, T = 25±1 °C, pH = 3,5, P = от 1,5 до 5 атм

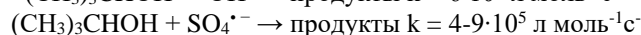
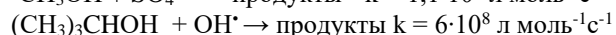
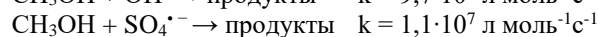
В Фентон-подобной окислительной системе Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>, не смотря на высокую начальную скорость реакции окисления БФА и минерализации РОУ, эффективность процессов деструкции не превышает 47% и минерализации 12%. Такой результат связан с полным израсходованием окислителя изначально взятом в недостатке [S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>]<sub>0</sub>: [БФА]<sub>0</sub> = 5:1, что значительно ниже стехиометрически необходимого количества для полной минерализации БФА по гипотетическому уравнению реакции:



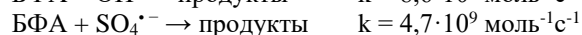
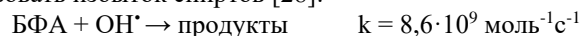
В гибридной окислительной системе НГДК/УЗ/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> процессы деструкции БФА и минерализации РОУ не останавливаются и протекают более интенсивно в следствии генерирования *in situ* АФК, о чем свидетельствует рост эффективности окисления и минерализации РОУ. При этом в окислительных системах УЗ/НГДК/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> и УЗ/НГДК/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>/Fe<sup>2+</sup> степень конверсии БФА увеличивается с 12% до 57%, а степень минерализации РОУ с 5% до 34%.

Важно отметить, что начало гидродинамической кавитации отмечено при давлениях более 1,5 атм. Сравнивая полученные экспериментальные данные в системах УЗ/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> и УЗ/НГДК/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> (кинетические кривые 6 и 7 на рис. 2, а), можно сделать вывод, что при давлении 1,5 атм вклад гидродинамической кавитации отсутствует, при увеличении давления вклад НГДК заметно возрастает.

Для выявления роли радикалов в рассматриваемой комбинированной системе УЗ/НГДК/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>, проведены эксперименты с добавлением метилового и трет-бутилового спиртов (рис. 3). Основываясь на различных скоростях взаимодействия свободных радикалов со спиртом, который выступает в роли «ловушки», можно выявить вклад той или иной радикальной частицы в окислительный процесс [27]:



Анализируя константы взаимодействия радикалов со спиртами, можно заключить, что метанол будет взаимодействовать как с  $OH^{\cdot}$ , так и  $SO_4^{\cdot-}$  в то время как трет-бутанол – преимущественно с  $OH^{\cdot}$ . Однако, учитывая константы взаимодействия радикалов с БФА необходимо использовать избыток спиртов [28]:



Таким образом, введение радикальных «ловушек» значительно ингибирует процесс окисления БФА, в большей мере - в случае метанола. Результаты экспериментальной серии однозначно свидетельствуют о том, что в рассматриваемой комбинированной системе УЗ/НГДК/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> в окислительной деструкции принимают участие, как  $OH^{\cdot}$ , так и  $SO_4^{\cdot-}$ , причем влияние гидроксильных радикалов является доминирующим.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что оптимальной с точки зрения эффективности конверсия БФА происходит в комбинированной системе НГДК/УЗ/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>. При этом эффективность окисления возрастает в ряду УЗ

< НГДК < УЗ/НГДК < УЗ/НГДК/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> < УЗ/НГДК/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования комбинированных окислительных систем в сочетании с низконапорной гидродинамической и акустической кавитацией для деструкции трудноокисляемых микрополлютантов, в частности БФА.

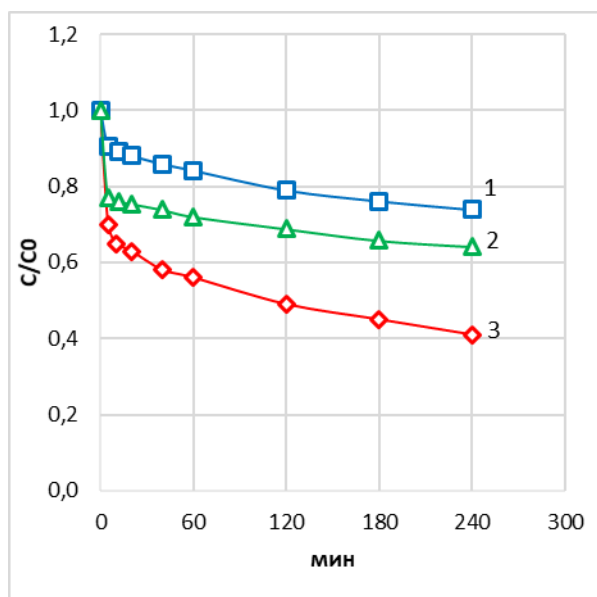


Рис. 3. Деструкция БФА при введении ингибиторов радикальных реакций в окислительной системе:

НГДК/УЗ/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>/Fe<sup>2+</sup>. 1 – с участием метанола, 2 – с участием третбутоанола, 3 – без «ловушки». C<sub>0</sub>(БФА) = 43,8 μмоль/л, C<sub>0</sub>(S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>) = 219 μмоль/л, C<sub>0</sub>(Fe<sup>2+</sup>) = 89 μмоль/л, C<sub>0</sub>(РОН) = 109,5 ммоль/л, T = 25±1 °С, рН = 3,5, P = 3 атм

#### ЛИТЕРАТУРА

- Asghar A. Influence of water matrix on the degradation of organic micropollutants by ozone based processes: A review on oxidant scavenging mechanism / A. Asghar, H.V. Lutze, J. Tuerk, T.C. Schmidt // *Journal of Hazardous Materials*. – 2022. – Vol. 429. – P. 128189.
- Boczkaj G. Wastewater treatment by means of Advanced Oxidation Processes at basic pH conditions: A review // *Chemical engineering journal*. – 2017. – Vol. 320. – P. 608-633.
- Huang D. Progress and challenges of metal-organic frameworks-based materials for SR-AOPs applications in water treatment / D. Huang, G. Zhang, J. Yi, M. Cheng, C. Lai., P. Xu, C. Zhang, Y. Liu, C. Zhou, W. Xue, R. Wang, Z. Li, S. Chen // *Chemosphere*. – 2021. – Vol. 263. – P. 127672.
- Antonio M.G. Comparison of UVC/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> with UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in terms of efficiency and cost for the removal of micropollutants from groundwater // *Chemosphere*. – 2015. – vol. 119. – P. 81-88.
- Agarkoti C. Cavitation based treatment of industrial wastewater: A critical review focusing on mechanisms, design aspects, operating conditions and application to real effluents / C. Agarkoti, P.D. Thanekar, P.R. Gogate // *Journal of Environmental Management*. – 2021. – Vol. 300. – P. 113786.
- Cárdenas Sierra R.S. Elimination of cephalixin and doxycycline under low frequency ultrasound // Sierra R.S.

Cárdenas, H. Zúñiga-Benítez, G.A. Peñuela / *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2021. – Vol. 79. – P. 105777.

- Chand R. Phenol degradation using 20, 300 and 520 kHz ultrasonic reactors with hydrogen peroxide, ozone and zero valent metals / R. Chand, H.N. Ince, P.R. Gogate, D.H. Bremner // *Separation and Purification Technology*. – 2009. – Vol. 67. – P. 103-109.
- Thangavaddivel K. Removal of methyl orange from aqueous solution using a 1.6 MHz ultrasonic atomizer / K. Thangavaddivel, G. Owens, K. Okitsu // *RSC Advances*. – 2013. – Vol. 3. – P. 23370-23376.
- Ghadbane H. Degradation of Acid Blue 25 in Aqueous Media Using 1700 kHz Ultrasonic Irradiation: Ultrasound/Fe(II) and Ultrasound/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Combinations // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2008. – Vol. 16. – P. 593-598.
- Hao H. Sonochemistry of degrading *p*-chlorophenol in water by high frequency ultrasound / H. Hao, Y. Chen, M. Wu, H. Wang, Y. Yin, Z. Lü. // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2004. – Vol. 11. – P. 43-46.
- Sivakumar M. Wastewater treatment: a novel energy efficient hydrodynamic cavitation technique / M. Sivakumar, A.B. Pandit // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2002. – Vol. 9. – P. 123-131.
- Gogate P.R. Cavitation reactors: Efficiency assessment using a model reaction / P.R. Gogate, I.Z. Shirgaonkar, M. Sivakumar, P. Senthilkumar, N.P. Vichare, A.B. Pandit // *AIChE Journal* – 2001. – Vol. 47, is. 11. – P. 2526-2538.
- Chakinala A.G. Treatment of industrial wastewater effluents using hydrodynamic cavitation and the advanced Fenton process / A.G. Chakinala, P.R. Gogate, A.E. Burgess, D.H. Bremner // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2008. – Vol. 15. – P. 49-54.
- Chakinala A.G. Intensification of oxidation capacity using chloroalkanes as additives in hydrodynamic and acoustic cavitation reactors / A.G. Chakinala, P.R. Gogate, R. Chand, D.H. Bremner, R. Molina, A.E. Burgess // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2008. – Vol. 15. – P. 164-170.
- Gallard H. Kinetic Modelling of Fe(III)/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Oxidation Reactions in Dilute Aqueous Solution Using Atrazine as a Model Organic Compound / H. Gallard, De Laat J. // *Water Research*. – 2000. – Vol. 34. – P. 3107-3116.
- Sharma J. Oxidative removal of Bisphenol A by UV-C/peroxymonosulfate (PMS): Kinetics, influence of co-existing chemicals and degradation pathway / J. Sharma, I. Mishra, D.D. Dionysiou, V. Kumar // *Chemical engineering journal*. – 2015. – Vol. 276. – P. 193-204.
- Lu X. A review on additives-assisted ultrasound for organic pollutants degradation / X. Lu, W. Qiu, J. Peng, H. Xu, D. Wang, Y. Cao, W. Zhang, J. Ma // *Journal of Hazardous Materials*. – 2020. – Vol. 403. – P. 1-12.
- Karim A.V. Degradation of ciprofloxacin using photo, sono, and sonophotocatalytic oxidation with visible light and low-frequency ultrasound: degradation kinetics and pathways / A.V. Karim, A. Shrivastav // *Chemical Engineering Journal*. – 2020. – Vol. 392. – P. 124853.
- Bennedsen L.R. Influence of chloride and carbonates on the reactivity of activated persulfate / L.R. Bennedsen, J. Muff, E.G. Sogaard // *Chemosphere*. – 2012. – Vol. 86. – P. 1092-1097.

20. Sanchez-Polo M. Comparative study of the photodegradation of Bisphenol A by HO<sup>•</sup>, SO<sub>4</sub><sup>•-</sup> and CO<sub>3</sub><sup>•-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>•-</sup> radicals in aqueous phase / M. Sanchez-Polo, M.M. Abdel, M. Ocampo-Perez, J. Rivera-Utrilla, A.J. Mota // Science of the Total Environment. – 2013. – P. 463-464.

21. Wang L. Compatibility of surfactants and thermally activated persulfate for enhanced subsurface remediation / L. Wang, L. Peng, L. Xie, P. Deng, D. Deng // Environmental Science and Technology. – 2017. – Vol. 51. – P. 7055-7064.

22. Ioan I. Comprasion of Fenton and sono-Fenton Bisphenol A degradation / I. Ioan, S. Wilson, E. Lundanes, A. Neculai // Journal of Hazardous Materials. – 2007. – Vol. 142. – P. 559-563.

23. Guan Y.-H. Efficient degradation of atrazine by magnetic porous copper ferrite catalyzed peroxymonosulfate oxidation via the formation of hydroxyl and sulfate radicals / Y.-H. Guan, J. Ma, Y.-M. Ren, Y.-L. Liu, J.-Y. Xiao, L.-Q. Lin, C. Zhang // Water Research. – 2013. – Vol. 47 (14). – P. 5431-5438.

24. Hu P. Cobalt-catalyzed sulfate radical-based advanced oxidation: a review on heterogeneous catalysts and applications / P. Hu, M. Long // Applied Catalysis B: Environmental. – 2016. – Vol. 181. – P. 103-117.

25. Grčić I. Modeling the mineralization and discoloration in colored systems by (US)Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> processes: A proposed degradation pathway / I. Grčić, D. Vujević, N. Koprivanac // Chemical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 157, is. 1. – P. 35-44.

26. Tang S. Comparative study of persulfate oxidants promoted photocatalytic fuel cell performance: Simultaneous dye removal and electricity generation / S. Tang, N. Li, D. Yuan, J. Tang, X. Li, C. Zhang, Y. Rao // Chemosphere. – 2019. – Vol. 234. – P. 658-667.

27. Bu L. Modeling of Fe(II)-activated persulfate oxidation using atrazine as a target contaminant / L. Bu, Z. Shi, S. Zhou // Separation and Purification Technology. – 2016. – Vol. 169. – P. 59-65.

28. Huang W. UVA-UVB activation of hydrogen peroxide and persulfate for advanced oxidation processes: Efficiency, mechanism and effect of various water constituents / W. Huang, A. Bianco, M. Brigante, G. Mailhot // Journal of Hazardous Materials. – 2018. – Vol. 347. – P. 279-287.

DOI: 10.24892/RIJIE/20220307

# Bisphenol A Oxidation Method Based on High Frequency Ultrasound and Low Pressure Hydrodynamic Cavitation

Aseev D.G.

Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Baikal Institute of Nature Management  
Ulan-Ude, Russian Federation  
[Aseev.Denis.G@gmail.com](mailto:Aseev.Denis.G@gmail.com)

**Abstract.** Using Bisphenol A (BPA) as an example, the kinetic regularities of oxidative processes in an aqueous medium under the influence of acoustic cavitation generated by ultrasound in the megahertz range (1.7 MHz), low-pressure hydrodynamic cavitation (LPHC), as well as in a Fenton-like system LPHC/US/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>. The results obtained indicate a significant activation of BPA oxidation processes under the combined action of high-frequency ultrasound and LPHC also in the Fenton-like iron-persulfate system. Kinetic regularities were obtained at a ratio of [S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>]<sub>0</sub>: [BPA]<sub>0</sub> = 5:1, which is significantly lower than the stoichiometrically required amount for complete

mineralization of BPA, while the conversion of BPA in the LPHC /US/Fe<sup>2+</sup>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>-system is 64% after 240 minutes of processing, and the mineralization of organic matter is 34%. Using "traps" of radicals (methanol, tert butanol), the role of highly reactive oxygen-containing radicals generated in situ has been established.

**Keywords:** Bisphenol A, high-frequency ultrasound, hydrodynamic cavitation, sulfate anion radicals.

## Библиографическое описание статьи

Aseev D.G. Метод окисления Бисфенола А основанный на высокочастотном ультразвуке и низконапорной гидродинамической кавитации // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2022. – Т.9, №3. – С. 42-46. DOI: 10.24892/RIJIE/20220307

## Reference to article

Aseev D.G. Bisphenol A oxidation method based on high frequency ultrasound and low pressure hydrodynamic cavitation, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2022, vol.9, no.3, pp. 42-46. DOI: 10.24892/RIJIE/20220307