

$$C5 + C4 = 10 \cdot C4 \text{ и } C6 + C5 + C4 = 100 \cdot C4 \quad (2)$$

Процесс измерения происходит следующим образом. Срабатывание ключей К1 и К2 разнесены по времени, а замыкаются они на короткое время, не превышающее 10 – 20 миллисекунд. В результате на выходах операционных усилителей появляются импульсы, амплитуда которых пропорциональна измеряемой концентрации аэроионов.

Когда ключи К1 и К2 разомкнуты, ключи К3, К4 и К5 замкнуты, и конденсаторы С4, С5, С6 разряжены. При замыкании одного из ключей, пусть К1, размыкаются ключи К3, К4, К5. Причем, учитывая, что ключи К3, К4, К5 - аналоговые, а К1 и К2 – механические, эти сигналы можно подавать одновременно. Запаздывание в срабатывании ключей К1 и К2 составляет порядка пол миллисекунды. Счетчик работает на чувствительном диапазоне. На выходе DA1 появляется импульс положительной полярности, а на выходе DA3 – отрицательной. В результате выходное напряжение интегратора начнет увеличиваться. Если оно не достигает значения $U_{оп}$, подаваемого на второй вход компаратора, построенного на операционном усилителе DA4, то изменение диапазона измерения не происходит. По окончании времени интегрирования на выходе устройства обработки и отображения информации появляется результат измерения. Связь между выходным напряжением интегратора и измеряемой концентрацией аэроионов определяется выражением:

$$U_{инт} = I_n \cdot T_n \cdot R_2 / (R7 \cdot C4) \quad (3)$$

Это напряжение устройством обработки и индикации преобразуется в результат измерения. Если концентрация аэроионов велика, то в какой-то момент времени выходное напряжение интегратора достигнет значения $U_{оп}$, и сработает компаратор напряжения, построенный на DA5. Его сигнал поступает на вход формирователя команд, который подает сигнал на замыкание ключа К5 и сигнал на УОиИ. В результате, выходное напряжение интегратора уменьшится в десять раз (см. выражения (2) и (3)), а УОиИ перейдет на более грубый диапазон. Если измеряемая концентрация аэроионов очень велика, то в какой-то момент времени произойдет повторное срабатывание компаратора, что приведет к замыканию ключа К4 и к новому уменьшению выходного напряжения интегратора на порядок. УОиИ переключится на грубый диапазон измерения. После окончания процесса измерения ключи К3, К4, К5 замкнутся, и интегратор будет готов к новому измерению, теперь уже концентрации положительных аэроионов.

Реализация предложенной схемы построения счетчика позволяет значительно упростить его измерительный канал, повысить точность и надежность прибора. Кроме того, из выражения (3) видно, что результат измерения не зависит от емкости собирающего электрода камеры, что является положительным фактором.

Список литературы:

1. Таммет Х.Ф. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов// Труды по аэроионизации и электроаэрозолям: Ун-та. – Тарту, 1967. –Вып.195. -234с.
2. Маковеев В.М., Гусева Л.И. К теории аспирационной камеры «с продуваемыми сетками». Рук. деп. в ИНФОРМ-прибор №5086-А. БУ №1, 1993г. -14с.
3. Маковеев В.М., Хафизов Г.М. Устройство для счета ионов // Патент на изобретение №246436, по заявке №2011124988 от 17июня 2011г., бюл. №29, 2012г.

Очистка воды от бензола с применением импульсного коронного разряда

Маринин С.А., Корнев Я.И.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

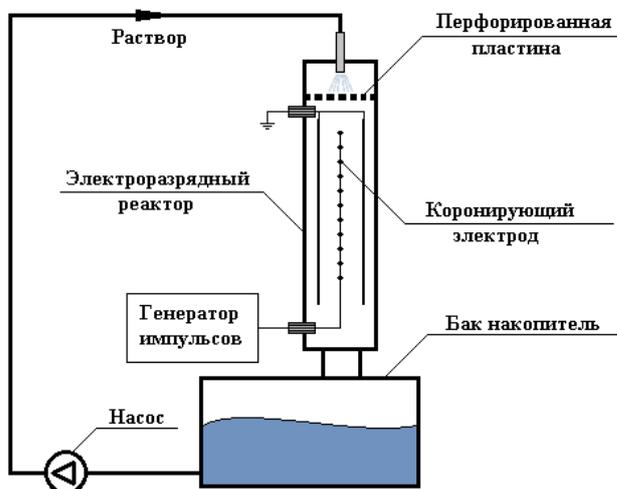
Бензол широко используется в нефтехимической, текстильной, химико-фармацевтической и других областях промышленности как растворитель и как исходное вещество для получения различных синтетических веществ. Концентрация бензола в сточных водах предприятий органического синтеза может достигать существенных значений. Кроме того, бензол является одним из компонентов низкомолекулярной части нефтепродуктов, которые, попадая в сточные воды нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий, приводят к загрязнению окружающей среды. Бензол обладает канцерогенным действием [1]. Предельно-допустимая концентрация бензола для водоемов рыбохозяйственного назначения в России составляет 0,5 мг/л.

Очистка воды от бензола осуществляется путем сорбции [2], биологической очистки [3], а также в процессах окисления [4]. В настоящей работе для деструкции растворенного в воде

бензола используется импульсный коронный разряд в водо-воздушном потоке, который является источником активных частиц-окислителей: озона (O_3), атомарного кислорода (O) и гидроксильных радикалов (OH) [5]. Формирование каналов разряда в газовой фазе, в непосредственной близости или на поверхности капель воды, способствует эффективному взаимодействию короткоживущих радикалов с компонентами водных растворов [5]. Целью данной работы является определение эффективности деструкции растворенного бензола под действием ИКР в водо-воздушном потоке.

Модельный раствор бензола готовили путем растворения жидкого бензола в 50 л деионизированной воды. Начальная концентрация бензола в полученном модельном растворе составляла 10-15 мг/л. Концентрация бензола в пробах определялась методом обращено-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Для анализа использовался хроматограф фирмы Agilent с колонкой Kinetex 2.6 μm C18 (150 x 4.6 мм). В качестве элюента использовался 70% водный раствор метанола. Анализ проводился с использованием УФ-детектора на длине волны 208 нм.

Основными элементами экспериментальной установки являлись электроразрядный реактор, бак накопитель объемом 100 л и генератор высоковольтных импульсов. Схема установки приведена на рисунке 1. Исходный водный раствор бензола объемом 50 л помещался в бак-накопитель. Затем раствор с помощью насоса подавался на верхнюю часть колонны, диспергировался на капли при помощи перфорированной пластины с размерами отверстий 1 мм.



Капли воды поступали на систему электродов, где обрабатывались импульсным коронным разрядом. После этого раствор снова поступал в бак-накопитель. Объемная скорость потока раствора составляла от 4 до 20 л/мин.

Рис. 1. Экспериментальная установка

Для питания разряда использовался магнитотристорный генератор высоковольтных импульсов, построенный по принципу разряда накопительного конденсатора на нагрузку через дроссель насыщения. Амплитуда напряжения на электродах составляла 19 кВ, амплитуда тока составляла 250 А, энергия импульса –

0,34 Дж. Частота следования импульсов варьировалась от 200 до 840 имп/с.

При диспергировании воды на капли часть растворенного бензола может переходить в газовую фазу. Для определения влияния аэрации на скорость удаления бензола исходный раствор циркулировал в экспериментальной установке без включения импульсного коронного разряда в течение 150 минут (рис. 2). За это время концентрация растворенного в воде бензола снизилась на 45%.

Зажигание импульсного коронного разряда в межэлектродном промежутке приводило к значительному повышению скорости удаления бензола. При этом скорость окисления бензола возрастала с ростом частоты следования импульсов (см. рис. 2).

Повышение частоты следования импульсов приводит к увеличению мощности, выделившейся в электроразрядном реакторе. На рисунке 3 представлены зависимости относительной концентрации бензола в растворах от удельных затрат энергии на обработку растворов при различных частотах следования импульсов. По кривым, приведенным на рис. 3, была рассчитана энергетическая эффективность окисления бензола. Расчет проводился по формуле:

$$Y = \frac{\Delta C \cdot V}{W}$$

Где Y – эффективность окисления (г/кВт·ч), ΔC – изменение концентрации бензола в результате обработки, V – объем обрабатываемой пробы, W – затраты энергии на обработку воды. При определении эффективности использовали значение энергии, соответствующее снижению концентрации бензола в два раза относительно исходной.

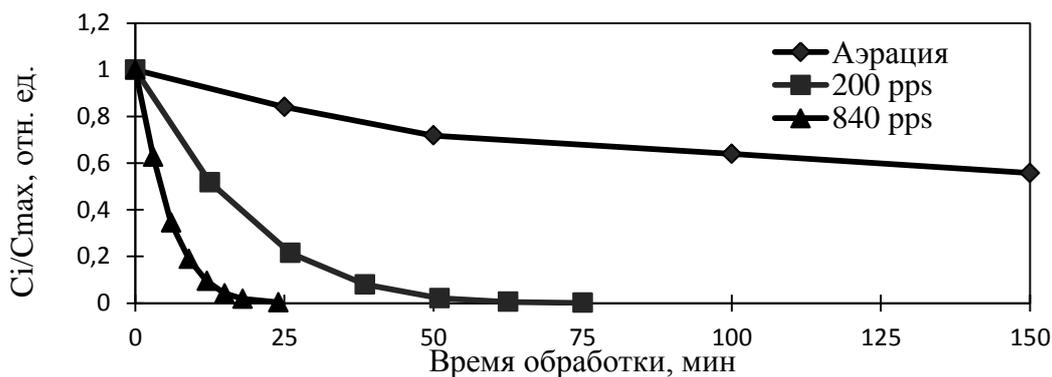


Рис. 2. Зависимость приведенной концентрации бензола от времени обработки для разных режимов

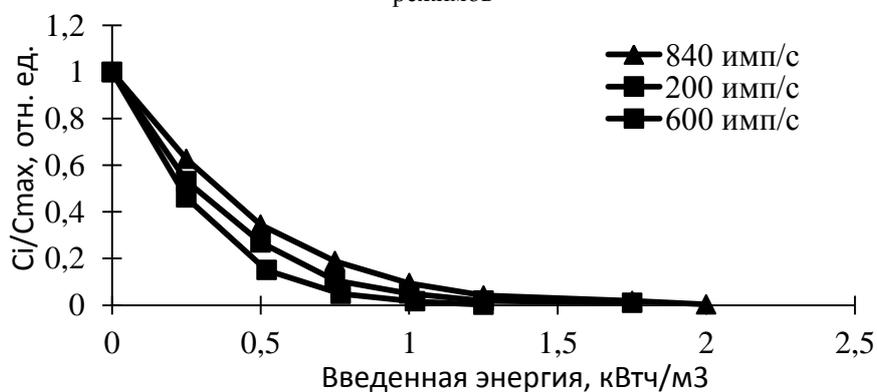


Рис. 3. Зависимость приведенной концентрации бензола от величины введенной энергии. Объемный расход воды – 20 л/мин

Увеличение частоты следования импульсов с 200 до 840 имп/с приводило к снижению энергетической эффективности окисления бензола с 1,4 до 1,2 г/кВт·ч. Снижение эффективности окисления может быть обусловлено снижением эффективности генерации активных частиц, прежде всего, озона. Известно, что время жизни короткоживущих радикалов (ОН) в воздухе составляет не более нескольких сотен микросекунд [6]. При этом изменение частоты следования импульсов с 200 до 1000 имп/с не может оказать существенного влияния на концентрацию короткоживущих частиц, так как эти частицы полностью рекомбинируют за время паузы напряжения. Эффективность генерации озона, напротив, может зависеть от частоты за счет разрушения образовавшегося озона в плазме разряда. В наших экспериментах с увеличением частоты следования импульсов в 4,2 раза (с 200 до 840 имп/с) концентрация озона возросла менее чем в два раза: с 3 мг/л при частоте следования импульсов 200 имп/с до 5,5 мг/л при частоте 840 имп/с.

Лимитирующей стадией процесса окисления бензола в электроразрядном реакторе также может выступать перенос активных окислителей через границу раздела фаз «газ-жидкость». Для изучения влияния массопереноса на процесс окисления бензола были выполнены эксперименты при различных объемных скоростях потока раствора. Зависимости концентрации бензола от энергии, введенной в электроразрядный реактор при различных объемных скоростях потока воды, представлены на рисунке 4. Увеличение объемного расхода обрабатываемого раствора через реактор с 4 до 20 л/мин приводит к росту эффективности окисления бензола на 24%. Ранее было установлено, что повышение объемной скорости потока воды приводит к пропорциональному увеличению площади поверхности контакта воды и газовой фазы в реакторе [7]. Увеличение поверхности раздела фаз способствует лучшей абсорбции окислителей поверхностью обрабатываемой воды и росту эффективности удаления растворенного в воде бензола в реакциях с окислителями.

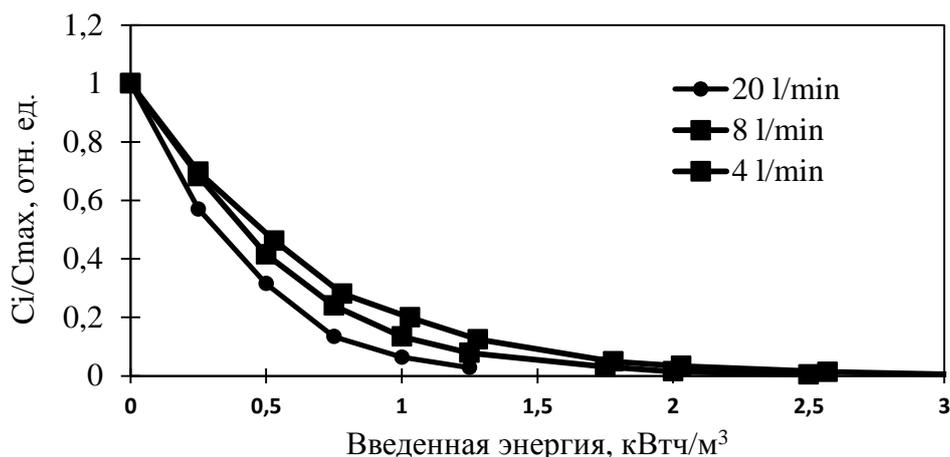


Рис. 4. Зависимость приведенной концентрации бензола от объемного расхода раствора. Частота следования импульсов – 840 имп/с

Обработка модельных растворов бензола импульсным коронным разрядом в водо-воздушном потоке позволяет снизить концентрацию растворенного в воде бензола с 10 – 15 мг/л до 0,01 – 0,03 мг/л, что существенно ниже предельно допустимой концентрации, составляющей 0,5 мг/л для вод рыбохозяйственного назначения.

Таким образом, применение электроразрядной технологии является перспективным направлением очистки сточных вод от растворенного бензола. Эффективность окисления бензола составляет 1,2 – 1,4 г/кВтч, затраты энергии на обработку воды – 1,0 – 1,5 кВтч/м³. Для повышения скорости окисления бензола необходима оптимизация процессов массообмена в реакторе импульсного разряда, а также повышение эффективности использования активных частиц-окислителей.

Список литературы:

1. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3.pdf>
2. Yue Z., Mangun C., Economy J., Kemme P., Cropek D., Maloney S. Removal of chemical contaminants from water to below USEPA MCL using fiber glass supported activated carbon filters // *Environ. Sci. Technol.* – 2001. – Vol. 35. – P. 2844 – 2848.
3. Farhadian M., Duchez D., Vachelard C., Larroche C. Monoaromatics removal from polluted water through bioreactors—A review // *Water Research.* – 2008. – Vol. 42. – P. 1325 – 1341.
4. Garoma T., Gurol M.D., Osibodu O., Thotakura L. Treatment of groundwater contaminated with gasoline components by an ozone/UV process // *Chemosphere.* – P. 825 – 831.
5. Kornev J., Yavorovsky N., Preis S., Khaskelberg M., Isaev U., Chen B-N. Generation of active oxidant species by pulsed dielectric barrier discharge in water-air mixtures // *Ozone: Sci. Eng.* – 2006. – Vol. 28. – No. 4. – P. 207 – 215.
6. Ono R., Oda T. Dynamics of ozone and OH radicals generated by pulsed corona discharge in humid-air flow reactor measured by laser spectroscopy // *Journal of Applied Physics.* – 2003. – Vol. 93. – No. 10. – P. 5876 – 5882.
7. Preis S., Panorel I. C., Kornev I., Hatakka H., Kallas J. Pulsed Corona Discharge: The Role of Ozone and Hydroxyl Radical in Aqueous Pollutants Oxidation. *Wat. Sci. Technol.* – 2013. – Vol. 68. – P.1536 – 1541.

Исследование сорбционных свойств микробиологического адсорбента при извлечении из водных сред ионов тяжёлых металлов

Мартемьянова И. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Одними из наиболее серьёзных загрязняющих факторов присутствующих практически во всех видах вод, являются микробиологические загрязнения (бактерии, вирусы, простейшие) [1, 2]. Существуют различные методы, для очистки воды от бактериологических загрязнений, такие как: мембранная очистка, ультрафиолетовое обеззараживание, озонирование, различная реагентная обработка, а также использование микробиологических фильтровальных материалов