

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ

Баженов Евгений Александрович

студент, кафедра Энергетики, Забайкальский государственный университет, РФ, г. Чита

Елин Кирилл Александрович

студент, кафедра Энергетики, Забайкальский государственный университет, РФ, г. Чита

Гуляев Роман Владимирович

студент, кафедра Энергетики, Забайкальский государственный университет, РФ, г. Чита

Шестакова Дана Романовна

ассистент Забайкальский государственный университет, РФ, г. Чита

Иванов Андрей Андреевич

ассистент Забайкальский государственный университет, РФ, г. Чита

Суворов Иван Флегонтович

д-р техн. наук, профессор, Забайкальский государственный университет, РФ, г. Чита

Какаулов Сергей Владимирович

канд. техн. наук, доцент, Забайкальский государственный университет, РФ, г. Чита

Аннотация. Изобретен новый непроточный реактор для технологии обеззараживания воды диафрагменным электрическим разрядом, исследованы его характеристики. Эффективность удельной генерации перекиси водорода H_2O_2 нового непроточного реактора выше на 40-50%, в отличие от проточного. Открыты зависимости выхода H_2O_2 от амплитуд приложенных мгновенных импульсных напряжений при одинаковых затратах на электроэнергию на медных и серебряных электродах в разрядной камере, описаны отличия производительности. Определена зависимость эффективности обеззараживания технологии от проводимости обрабатываемой воды.

Ключевые слова: диафрагменный электрический разряд, импульсный источник питания, перекись водорода.

Применение в быту и в промышленности электроразрядных технологий для обеззараживания и очистки воды учащается пропорционально степени совершенствования этих технологий. Существует множество способов обработки воды с различными видами электрических разрядов: дуговым, искровым, коронным, тлеющим, барьерным, диафрагменным разрядами и их подвидами. Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки, наиболее подробнее рассмотрим технологию на основе диафрагменного электрического разряда (ДЭР).

Технология обеззараживания и очистки воды ДЭР (рисунки 1 и 2) представляет собой реактор и подключенный к нему источник питания 8, реактор состоит из камеры 1, в которой установлена диэлектрическая диафрагменная мембрана (диафрагма) 2 с отверстиями 3, разделяющая объем камеры на две равных части, металлические электроды 4 и 5, расположенные по разным сторонам мембраны, патрубки для подачи 6 и вывода воды 7. Обрабатываемая вода поступает в камеру через входной патрубок 6. На металлические электроды 4 и 5 подается напряжение от источника питания 8, возникает электрический ток, протекающий от одного электрода к другому. Протекая в толще воды, он достигает диафрагменной мембраны 2 и уплотняется в сотни раз, проходя через отверстия мембраны 3, вызывает нагревание, вскипание в отверстиях воды, парообразование и пробой воздушных пузырей, за счет возникновения перенапряжения при разрыве контура тока этими пузырями, в результате чего образуется ДЭР. Обработанная вода вытекает из выходного патрубка 7.

Существуют два основных способа подачи воды в обрабатывающий реактор: способ, при котором вся исходная вода протекает через отверстия диафрагменной мембраны (рисунок 1), и способ, при котором обрабатываемая вода не протекает через отверстия мембраны (рисунок 2). Последний способ конструктивно отличается от первого тем, что в верхней части камеры устанавливается автоматический выпускной воздушный клапан 9 для выхода летучих продуктов разряда, а входной патрубок 6 смещается ниже диафрагменной мембраны. Несмотря на несущественные конструкционные различия, меняется способ обработки воды и его эффективность.

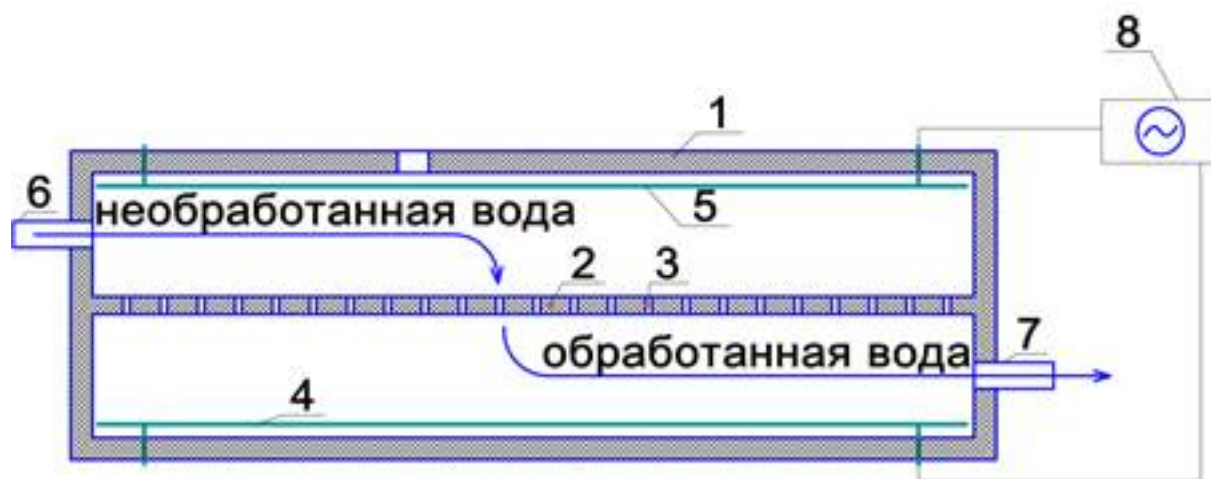


Рисунок 1. Проточный реактор обработки воды

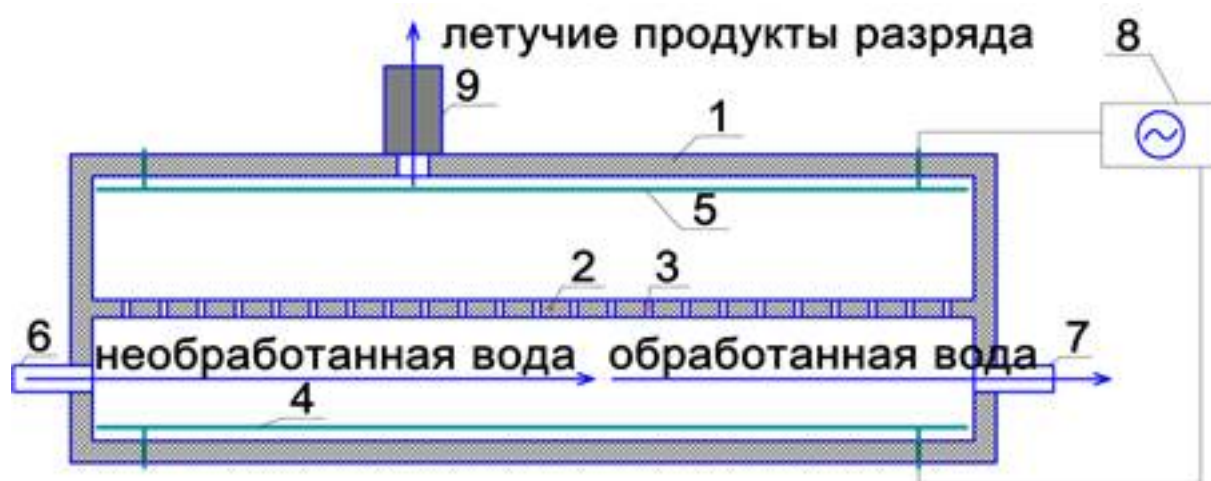


Рисунок 2. Непроточный реактор обработки воды

Основные различия рассмотренных способов в том, что во втором случае обрабатываемая вода не протекает через отверстия диафрагменной мембраны и не смываются предразрядные продукты (воздушные пузырьки), а в верхней части камеры вода остается неподвижной и нагревается до 85-95°C, что способствует улучшению парообразования и увеличению интенсивности разряда. Перетекания нагретой воды из верхней части камеры в нижнюю не происходит за счет разной плотности теплой и горячей воды, температура воды в нижней части камеры обычно не превышает 60°C. Новое техническое решение позволяет повысить эффективность обеззараживания и очистки воды на 40-50%, повысить надежность работы устройства, поскольку отсутствует перетекание воды через диафрагменную мембрану и уменьшается засорения отверстий, снизить напряжение зажигания ДЭР с 900 В до 400 В, снизить рабочие токи устройства более чем в 2 раза и уменьшить потребление электрической энергии.

Сравнение проточного и непроточного реакторов производилось по основному обеззараживающему компоненту – перекиси водорода H_2O_2 . В качестве определения концентрации исследуемого компонента использовался перманганатометрический метод определения согласно ГОСТ 177-88. В экспериментах использовалась одинаковая величина напряжения 1500 В частотой 50 Гц. Величина напряжения определялась эмпирическим путем, было выбрано максимально-возможное напряжение для обоих ректоров, поскольку эффективность генерации перекиси водорода зависит от величины напряжения. В опытах в реакторы устанавливалась одна и та же диафрагменная мембрана с 76 отверстиями диаметром 1,2 мм, были применены медные электроды. В первом и втором эксперименте расходы модельных растворов дистиллированной воды и NaCl с проводимостью 0,45 мСм/см составили по 4 литра, израсходовано на обработку жидкостей по 250 Вт·ч электрической энергии. Скорости расхода вод были установлены на уровне 0,4 л/мин, при этом скорость движения через диафрагму для проточного реактора составила 0,077 м/с, что входит в наиболее эффективный интервал скоростей для проточного реактора согласно [1]. Сгенерированной перекиси водорода H_2O_2 в проточном реакторе было определено 0,8 мг/Вт·ч, что согласуется с [1], в непроточном реакторе измерено 1,2 мг/Вт·ч, что на 50% выше.

Выход перекиси водорода существенно зависит от величины напряжения. В источнике [1] показан выход H_2O_2 проточного реактора в статическом режиме в зависимости от величины переменного напряжения промышленной частоты без учета расхода электроэнергии. Статический режим характеризуется отсутствием протока воды через отверстия диафрагменной мембраны и закрытыми патрубками, в таком режиме оба вида ректора имеют одни и те же характеристики. Схожий эксперимент был исследован на импульсном источнике питания (ИИП) с частотой 58,8 кГц и различными амплитудами напряжения, с медными электродами в непроточном реакторе, в статическом режиме, объем разрядной камеры составлял 0,77 л. На каждую исследованную контрольную точку было затрачено 50 Вт·ч электрической энергии. В качестве модельного раствора использовалась дистиллированная вода с NaCl, проводимостью 0,45 мСм/см. Зависимость выхода перекиси водорода от амплитуды импульсного напряжения изображена на рисунке 3.

Диапазон исследуемых мгновенных напряжений был определен экспериментальным путем и взят в интервале от 1,7 кВ до 2,5 кВ, при напряжениях ниже 1,7 кВ ДЭР отсутствовал, при напряжениях выше 2,5 кВ происходило короткое замыкание, сопровождающееся взрывом продуктов разряда в реакторе. Из зависимости, приведенной на рисунке 3, видно, что на участке напряжения от 1,7 кВ до 2,3 кВ кривая носит линейный нарастающий характер, а после 2,3 кВ линейный убывающий, причем угол спада кривой равен углу нарастания. Изображенная зависимость доказывает то, что увеличение напряжения питания технологии ДЭР имеет положительный эффект до определенной переломной точки, после которой повышение напряжения носит отрицательный результат. Высокое напряжения разряда увеличивает его мощность и соответственно энергозатраты в разряд, что негативно влияет на удельный выход обеззараживающих и очищающих продуктов [2], если вода требует более эффективной обработки, ее можно увеличить путем многократного пропускания через реактор.

Количество перекиси водорода, участвующей в процессе обеззараживания и очистки воды так

же зависит и от материала электродов. Эксперимент зависимости выхода H_2O_2 от напряжения ИИП с медными электродами был в точности повторен, но на серебряных электродах, и был установлен более высокий удельный выход перекиси водорода [3].

Это связано с тем, что ионы серебра окисляются меньше, нежели ионы меди. Сравнение графиков, приведенных на рисунке 3 и 4, показало, что выход H_2O_2 при применении серебряных электродов повышается от 30% при напряжениях близких к 2,3 кВ, до 400% при напряжениях близких к 1,7 кВ.

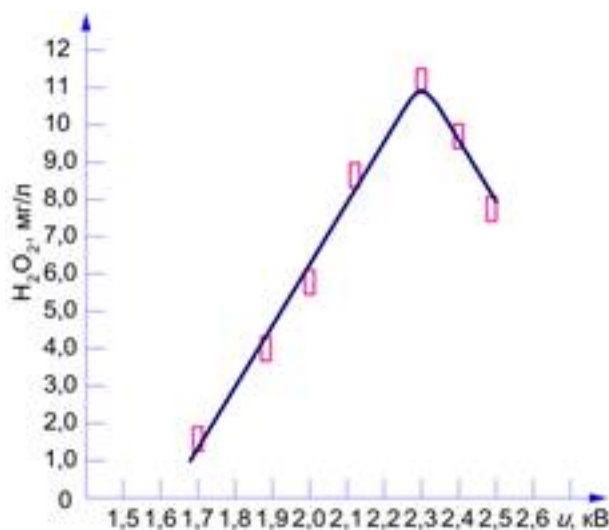


Рисунок 3. Зависимость выхода перекиси водорода от амплитуды импульсного напряжения с медными электродами в непроточном реакторе

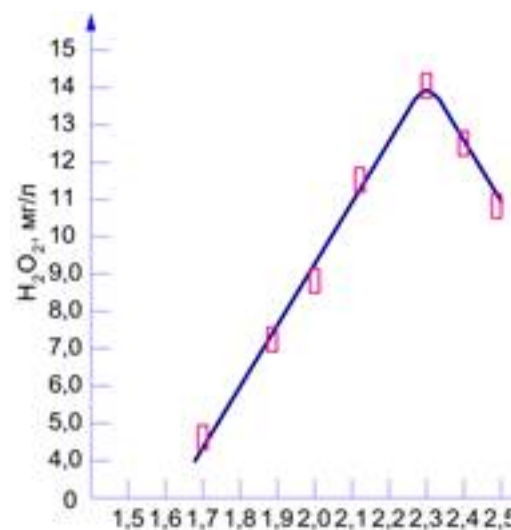


Рисунок 4. Зависимость выхода перекиси водорода от амплитуды импульсного напряжения с серебряными электродами в непроточном реакторе

В отличие от питьевой воды, воды плавательных бассейнов, сточные бытовые и промышленные воды имеют различные примеси и взвеси, в результате чего проводимость такой воды имеет различные значения. Проводимость воды влияет на процесс обработки, поскольку от нее зависит и интенсивность ДЭР и тепловые потери технологии.

Исследование зависимости выхода перекиси водорода от проводимости воды производилось в статическом режиме, на мгновенном максимальном напряжении ИИП 1,7 кВ частотой 58,8 кГц, с серебряными электродами для уменьшения величины относительной погрешности, на модельном растворе дистиллированной воды с NaCl, на каждую исследуемую точку было затрачено 50 Вт·ч электрической энергии (рисунок 5). На участке от 0,07 мСм/см до 0,17 мСм/см происходило резкое увеличение концентрации H_2O_2 из-за нарастания интенсивности разряда, при значениях проводимости ниже 0,07 мСм/см разряд почти полностью отсутствовал.

На участке от 0,17 мСм/см до 1,2 мСм/см наблюдался линейный спад производительности, связанный с увеличением тепловых потерь на процесс обработки воды. За пределами значений 1,2 мСм/см возникали короткие замыкания, сопровождающиеся взрывом продуктов разряда в реакторе, из-за чего исследования за значениями 1,2 мСм/см были невозможны. Проводимость питьевых, сточных вод всегда выше значения 0,17 мСм/см. На основании эксперимента можно сделать вывод, что с увеличением проводимости обрабатываемой воды эффективность технологии ДЭР падает.

Генерация перекиси водорода H_2O_2 зависит от множества исследованных и еще неисследованных и возможно неизвестных факторов. В настоящее время эти факторы определяются и исследуются.

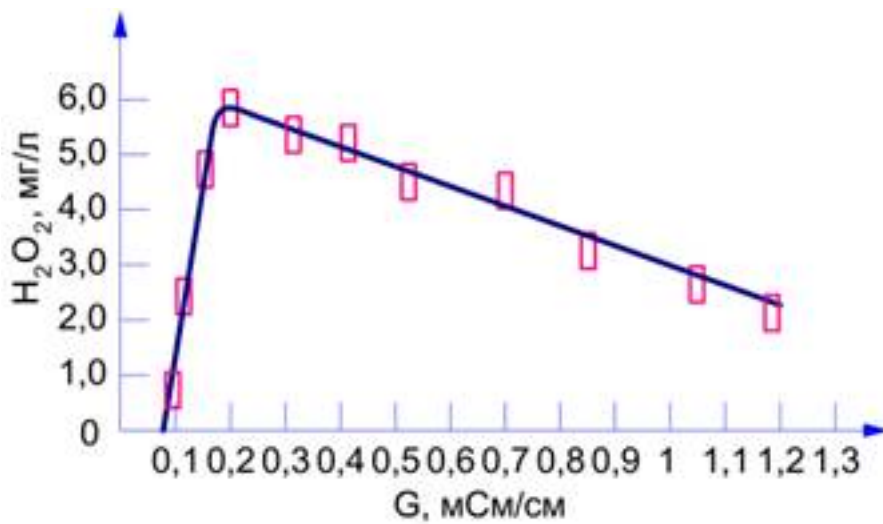


Рисунок 5. Зависимость выхода перекиси водорода от проводимости воды

Список литературы:

1. Юдин А.С. Разработка реактора и системы автоматического управления процессом обеззараживания сточных вод диафрагменным электрическим разрядом: дис. канд. техн. наук. Иркут. гос. техн. ун-т, Иркутск, 2010. 121 с.
2. Корнев Н.Я. Обработка воды импульсными разрядами в водо - воздушном потоке: дис. канд. техн. наук. Томск. политех. ун-т, Томск, 2005. 162 с.
3. URL: eom.phys.asm.md/en/journal/download/651
4. ГОСТ 177-88. Водорода перекись. Технические условия.
5. Лапшакова К.А. Обеззараживание бытовых сточных вод малых населенных пунктов диафрагменным электрическим разрядом: дис. канд. техн. наук. Иркут. гос. техн. ун-т, Иркутск, 2009. 115 с.