

ся рельеф местности со склонами до 10 град., неравномерная влажность по длине склона от вершины к подножию, достигающая трехкратных значений и меняющаяся в течение вегетационного периода развития растений, а также глубокая колея от ходовой системы машинно-тракторного агрегата и отклонение траектории его движения от горизонталей местности. Комбинированное воздействие всех этих факторов способствует развитию водной эрозии – смыву плодородного слоя почвы к подножию склона. Современные технологии сельскохозяйственного производства и конструкции машинно-тракторных агрегатов в определенных неблагоприятных условиях могут провоцировать развитие таких процессов. Для их минимизации необходимо внедрение инновационных технологий обработки почвы, направленных, прежде всего, на организацию движения машинно-тракторных агрегатов исключительно по горизонталям местности. Допустимое отклонение от них в зависимости от углов наклона местности в условиях полей Беларуси составляет 0,02–0,08 рад. Это предъявляет высокие требования к курсовой устойчивости трактора. Такими качествами обладают тракторы с автоматически изменяемой геометрией

ходовой системы, стабилизирующей в вертикальном положении. Предпосылки к их созданию обоснованы и апробированы на опытных образцах крутосклонной и горно-равнинной модификаций универсально-пропашных тракторов «Беларусь», которые предназначены для работы на полях со сложным рельефом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Кринко, М. С.** Системный анализ эффективности скоростных тракторов в сложных полевых условиях / М. С. Кринко. – Минск: Наука и техника, 1980. – 208 с.
2. **Водный** режим почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур на склоновых землях Поозерья / П. Ф. Тиво [и др.] // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – № 2. – С. 92–98.
3. **Хачатрян, Х. А.** Стабильность работы почвообрабатывающих агрегатов / Х. А. Хачатрян. – М.: Машиностроение, 1974. – 206 с.
4. **Макоед, В. М.** Влияние рельефа мелиоративных объектов на формирование поверхностного стока в условиях белорусского Поозерья / В. М. Макоед, Г. В. Хмелевская, О. Н. Куканова // Мелиорация. – 2012. – № 1 (67). – С. 50–60.
5. **Бортовой** редуктор крутосклонного транспортного средства: а. с. 918161 СССР / П. В. Зелёный, И. П. Ксеньевич, П. А. Амельченко, В. В. Гуськов, В. В. Яцкевич, В. Ф. Пронько, В. П. Зарецкий // Бюл. изобр. – 1982. – № 13.

Поступила 02.05.2013

УДК 661.882

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДЫ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОМ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО ТИТАНА С НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА ТИТАНА

*Докт. техн. наук, доц. ПИЛИНЕВИЧ Л. П.<sup>1)</sup>, канд. техн. наук, доц. МАРЦУЛЬ В. Н.<sup>2)</sup>,  
асп. ЗАЛЕССКАЯ М. В.<sup>1)</sup>*

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,

<sup>2)</sup>Белорусский государственный технологический университет

Очистка воды от загрязнений, содержащих различные органические вещества и их соединения, вирусы и бактерии, – одна из основных проблем, стоящих перед мировым сообществом. Анализ методов очистки и обезврежива-

ния воды показал, что наиболее эффективным методом является очистка с помощью фотокатализатора на основе диоксида титана. Однако, несмотря на то что в последнее время опубликовано много работ, посвященных исследова-

ниям процессов очистки и обеззараживания воды с помощью фотокаталитических систем на основе нанокристаллитического диоксида титана, в них отсутствуют данные, которые позволили бы разработать конкретные устройства и установки. Поэтому проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на установление основных закономерностей очистки и обезвреживания воды с помощью фотокатализатора на основе диоксида титана, является актуальной и своевременной задачей.

Цель работы – исследование основных закономерностей очистки и обезвреживания воды фотокатализатором на основе пористого титана с наноразмерными частицами диоксида титана. Анализ современных информационных источников показывает, что совершенствованию схем УФ-обеззараживания воды сейчас уделяется большое внимание. С целью определения возможности использования УФ-методов и УФ-технологий на государственном уровне во многих странах ведутся различного рода исследования (программы Агентства по защите окружающей среды в США, Министерства образования, науки, исследований и технологий в Германии, в Италии и др.).

В настоящее время ученые, внесшие значительный вклад в развитие науки о фотокатализе, работают в лабораториях Австралии (R. W. Matthews), Великобритании (R. I. Bickley, A. Mills и др.), Германии (D. W. Bahnemann, M. R. Hoffmann), Индии (C. N. R. Rao), Италии (V. Augugliaro, E. Borgarello, L. Palmisano, E. Pelizzetti, E. Pramauro), Канады (N. Serpone), США (A. J. Bard, J. Cunningham, M. A. Fox, D. F. Ollis и др.), Франции (J. M. Herrmann, P. Pichat и др.), Швейцарии (M. Gratzel), Японии (M. Anpo, A. Fujishima, H. Hidaka, T. Ibusuki, K. Takeuchi и др.). Большой вклад в развитие гетерогенного фотокатализа в России внесли московские и новосибирская школы (Ф. Ф. Волькенштейн, В. В. Киселев, О. В. Крылов, В. Б. Казанский, Б. Н. Шелимов, Н. П. Кейер, А. Е. Черкашин, К. И. Замираев, В. Н. Пармон и др.).

На современном этапе развития науки фотокатализ определяют как «изменение скорости или возбуждение химических реакций под действием света в присутствии веществ (фо-

токатализаторов), которые поглощают кванты света и участвуют в химических превращениях участников реакции, многократно вступая с ними в промежуточные взаимодействия и регенерируя свой химический состав после каждого цикла таких взаимодействий» [1]. Процесс окисления может проходить по нескольким механизмам, в зависимости от наличия различных загрязняющих веществ. Образование промежуточных продуктов зависит от концентрации загрязняющих веществ, условий протекания процесса окисления, класса загрязняющих веществ [2].

С целью повышения степени очистки воды авторами данной статьи разработан новый способ получения наноразмерных частиц диоксида титана на поверхности пористого элемента из титана, который использовался в качестве фотокатализатора. Топограмма поверхности пористого элемента со слоем диоксида титана показана на рис. 1 (белые области соответствуют частицам диоксида титана). Видно, что данное покрытие обладает большой удельной поверхностью, что благоприятствует увеличению степени очистки и обезвреживания воды.

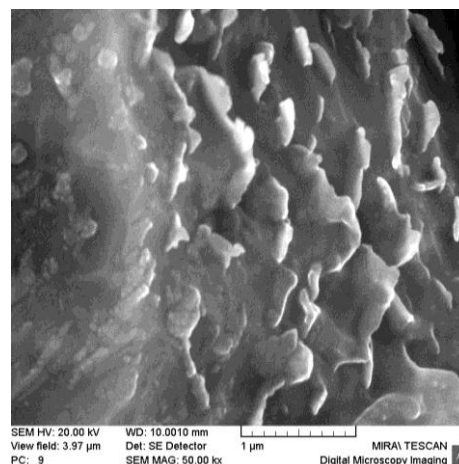


Рис. 1. Топограмма поверхности титанового элемента с внешним слоем оксида титана

Очистка и обезвреживание воды обеспечиваются не только за счет размеров пор пористого титанового элемента, а в первую очередь за счет фотокаталитического окисления с помощью наноразмерных частиц диоксида титана, развитой поверхности поровых каналов и их извилистости. Для экспериментальных исследований процессов фотокаталитической очист-

ки воды была разработана модельная экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 2.

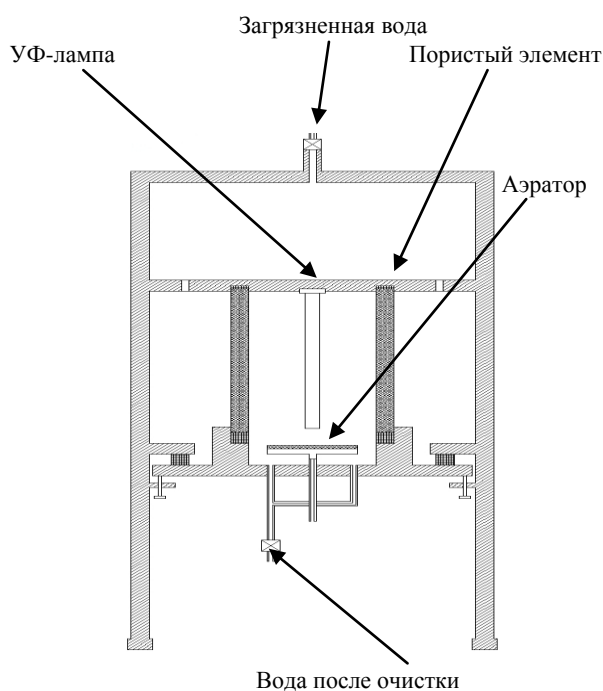


Рис. 2. Экспериментальная установка исследования процессов очистки воды

Высокая степень очистки достигается за счет развитой поверхности контакта фаз, где происходит фотокаталитическое окисление, а также исключение возможности протекания на выход воды без обработки. Органические молекулы из потока адсорбируются на поверхности фотокатализатора, нанесенного на поверхность пористого титанового элемента, и окисляются до углекислого газа и воды под действием света от УФ-лампы. Данная установка также содержит пневматический аэратор. Аэрация очищаемой воды приводит к интенсификации процессов фотокаталитической деструкции загрязнителя. Процесс очистки происходит в режиме прямотока, т. е. по схеме идеального вытеснения.

Для выявления общих закономерностей фотокаталитической деструкции органических веществ в водной среде авторы использовали растворы спиртов, фенола и его производных, а также их смеси. Исследования фотокаталитического окисления органических веществ проводили на сточных водах, которые, помимо пе-

речисленных веществ, содержали нефтепродукты. Фенол является распространенным загрязнителем сточных вод и попадает в них чаще всего с предприятий химической промышленности, которых в Беларуси достаточно много, поэтому данный загрязнитель и был выбран в качестве модельного при проведении исследований. Задачей исследований являлась деструкция модельного загрязнителя с помощью фотокатализатора на основе пористого титана с наноразмерными частицами диоксида титана. В качестве источника УФ-излучения применяли кварцевую лампу мощностью 125 Вт и длиной световой волны до 600 нм.

Проведенные исследования показали, что при исходной концентрации фенола в воде до 0,05 моля на кубический дециметр в фотореакциях происходило образование пероксида водорода, кислорода и гидроксилрадикалов, а эффективность деструкции достигала 100 % за время обработки 1,5 ч. Исследования закономерностей фотокаталитической очистки сточных вод, содержащих спирты, производили на разработанной установке, а в качестве модельного загрязнителя использовали отходы винодельческой барды. Определение значений ХПК и БПК выполняли согласно стандартным методикам. Экспериментальные исследования проводили при воздействии на обрабатываемую водную среду дополнительного окислителя из воздуха, способствующего формированию ряда активных радикалов ОН и систем  $\text{HO}_2/\text{O}_2$ , которые в сложных фотокаталитических реакциях обуславливают последующие процессы разрыва связей и трансформацию высокомолекулярных органических веществ до различных промежуточных соединений. После этого они могут быть усвояемыми микроорганизмами при их последующей биохимической обработке.

Результаты экспериментов показали, что фотокаталитическое воздействие на обрабатываемую воду, содержащую барду, позволяет улучшить качество воды. Например, снизились значения ХПК, хотя незначительно, так как происходят лишь разрыв молекулярных связей и частичная деструкция органических веществ до их более простых соединений. Изменение значений БПК<sub>5</sub> снизилось почти на 18 %, одновременно уменьшилось почти в 1,5–1,7 раза и содержание полифенольных соединений.

Для установления основных закономерностей фотокаталитического окисления растворенных веществ в сточных водах деревообрабатывающих производств, содержащих формальдегид, в экспериментальных исследованиях использовали сточные воды, отобранные в ОАО «Мостовдрев» в июле 2012 г. Оценку эффективности обработки проводили по изменению содержания загрязняющих веществ до и после обработки. Содержание формальдегида определяли фотометрическим методом. Время обработки составляло от 5 до 30 мин, расход воды, подаваемой на установку, – 1000 см<sup>3</sup>/мин. Результаты изменения формальдегида в растворе при использовании цилиндрического фотокаталитического элемента из титана с наноразмерным катализатором TiO<sub>2</sub> представлены на рис. 3. Была также использована аэрация очищаемой воды, которая приводит к интенсификации процессов фотоокислительной деструкции загрязнителя.

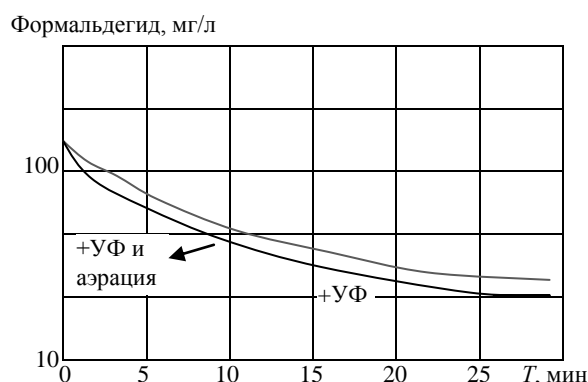


Рис. 3. Зависимость концентрации формальдегида в воде от времени фотокаталитической обработки без и с использованием аэрации

В ходе экспериментов установлена зависимость степени очистки от поглощенной дозы УФ-излучения (произведение мощности излучения на время обработки) для исследуемого диапазона концентраций формальдегида и ме-

танолола. Установлены кинетические закономерности фотокаталитического окисления формальдегида для концентраций 15 и 5000 мг/дм<sup>3</sup>. Показано, что в исследуемом диапазоне концентраций загрязняющих веществ максимальная степень очистки увеличивается с повышением содержания формальдегида и метанола, но не превышает 40 % для формальдегида и 20 % для метанола. Обработанная вода характеризуется меньшим значением pH по сравнению с исходной.

## ВЫВОДЫ

1. Фотокаталитическая обработка сточных вод бродильных производств, содержащих спирты, обеспечивает снижение значений ХПК и особенно БПК за счет гидролизного расщепления органических веществ в обрабатываемой среде.

2. Фотокаталитическая обработка сточной воды, содержащей фенол, в течение 1,5 ч приводит к образованию пероксида водорода, кислорода и гидроксилрадикалов, а эффективность деструкции достигает 100 %.

3. Результаты проведенных экспериментальных исследований доказывают высокую эффективность разработанных фотокаталитических материалов и возможность их использования при разработке новой технологии очистки воды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пармон, В. Н. Фотокатализ: Вопросы терминологии // Фотокаталитическое преобразование солнечной энергии / В. Н. Пармон: под ред. К. И. Замараева. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 7–17.
2. Шульц, Г. Механизмы гомогенного и гетерогенного катализа на молекулярном уровне / Г. Шульц // Механизмы каталитических реакций: материалы VIII Международ. конф. 29 июня – 2 июля 2009 г. / Институт катализа имени Г. К. Борескова СО РАН. – Новосибирск, 2009. – С. 123–128.

Поступила 21.01.2013