

Таким образом, выполнено моделирование течения потока жидкости в лупинге на трехмерной модели исследуемого участка трубопровода. Проведено численное моделирование течения с использованием программного пакета ANSYS CFX. Полученные распределение полного(статического) давления по трубопроводу, векторное поле скоростей и зоны турбулентности позволяют оценить качество работы соединений трубопроводов и количественные характеристики для практических расчетов. Показан пример использования численного моделирования течения потока в учебном процессе для анализа гидравлических потерь и повышения энергоэффективности трубопроводных систем.

Использование ANSYS CFX как средство расчёта и анализа течения в областях сложной формы в учебном процессе обладает целым рядом преимуществ. Пакет совместим с операционными системами большинства компьютеров – это могут быть персональные компьютеры, рабочие станции, суперкомпьютеры. Отличительной чертой подобных комплексов можно назвать файловую совместимость всех электронных документов программного комплекса со всеми используемыми платформами. Из-за многоцелевой направленности и ориентированности появляется возможность использовать одну и ту же модель для решения не только гидродинамических задач, но и задач на прочность, задач по расчету температурных полей, влиянию магнитных полей и др. При создании модели на персональном компьютере, можно использовать её и на суперкомпьютере, что даёт всем пользователям программного комплекса хорошие возможности для решения разнообразного спектра сложных инженерных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арбузов М.А. Механика жидкости и газа. Расчет вязкого течения в типовых элементах гидромашин : учеб. пособие / М.А. Арбузов, А.А. Жарковский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 80 с.
2. <https://www.ansys.com/>

СИНТЕЗ И ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ZnO ДЛЯ ФОТОДЕГРАДАЦИИ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

SYNTHESIS AND PLASMA MODIFICATION OF NANOSTRUCTURED ZnO-BASED PHOTOCATALYSTS FOR PHOTODEGRADATION OF PHARMACOLOGICAL WASTE

**А. В. Медведский^{1,2}, А. А. Щербович^{1,2}, И. И. Филатова³,
В. А. Люшкевич³, Н. А. Савастенко^{1,2}, С. А. Маскевич^{1,2}
А. V. Miadzvetski^{1,2}, A. A. Shcherbovich^{1,2}, I. I. Filatova³,
V. A. Lyushkevich³, N. A. Savastenko^{1,2}, S. A. Maskevich^{1,2}**

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kfm@iseu.by, aleksandr.miadzvetski@iseu.by

³Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

³B. I. Stepanov Institute of Physics

В настоящей работе исследована кинетика реакций фотодегградации кофеина в присутствии катализаторов на основе наноструктурированного оксида цинка.

The kinetics of caffeine photodegradation is investigated in the presence of nanostructured ZnO-based catalysts.

Ключевые слова: фармакологические отходы, плазма, фотокатализатор, ZnO, фотодегградация, кофеин, диэлектрический барьерный разряд, обработка в плазме.

Keywords: pharmacological waste, plasma, photocatalyst, ZnO, photodegradation, caffeine, dielectric barrier discharge, plasma treatment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-281-285>

Проблема утилизации медицинских отходов (МО) и, в частности, фармакологических отходов рассматривается в настоящее время как важная экологическая компонента безопасности населения стран. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 15 % МО считаются опасными материалами, которые могут быть токсичными, инфекционными или радиоактивными [1]. Гетерогенный фотокатализ с использованием оксида цинка (ZnO) может эффективно применяться в разложении фармакологических отходов в водных средах.

Обработка и удаление МО может создать дополнительные косвенные риски для здоровья в результате освобождения в окружающую среду токсичных загрязнителей. Неправильно сконструированные места захоронения отходов могут загрязнять питьевую воду; широко применяемое сжигание отходов приводит к высвобождению в атмосферу загрязняющих веществ и образованию зольных остатков при использовании мусоросжигательных печей, не обеспечивающих температуру функционирования в диапазоне 850-1100°C и не оснащенных специальным оборудованием для газоочистки, отвечающее международным нормам выбросов диоксинов и фуранов [2].

Гетерогенный фотокатализ с использованием нанокатализаторов на основе полупроводниковых материалов, например, оксида цинка, рассматривается как перспективный способ очистки водных сред от отходов фармакологической промышленности, однако эффективность известных фотокатализаторов недостаточна для использования в промышленных масштабах [3].

Таким образом, модификация фотокатализаторов, направленная на повышение их активности, является актуальной научной задачей.

В предыдущих работах было показано, что плазменная обработка химически модифицированных фотокатализаторов на основе микродисперсного оксида цинка приводит к повышению их активности в реакциях фотодegradации метилового оранжевого [4, 5]. В настоящей работе фотокатализаторы на основе ZnO были синтезированы по методике, обеспечивающей синтез наноструктурированного материала [3].

Для синтеза были использованы гидроксид натрия (NaOH), нитрат серебра (AgNO_3), сульфат цинка гептагидрат ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), аскорбиновая кислота ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$) (ООО Белреактивпоставка)). Реактивы использовались без дополнительной очистки. В качестве катализатора сравнения был использован микродисперсный ZnO с линейными размерами гранул 100 – 1000 нм (Ч, «ЭКОС-1», Россия).

Для приготовления ZnO и Ag-ZnO следовали методике, описанной в [3]. ZnO получали при капельном добавлении 25 мл NaOH 0,4 моль/л в 25 мл ZnSO_4 0,2 моль/л с приблизительной скоростью добавления 5 мл/мин. После перемешивания на магнитной мешалке (IKA, Germany) со скоростью 150 об/мин в течение 60 мин, раствор выдерживали 2 часа при температуре 60 °C.

Композитные наночастицы Ag-ZnO были получены путем добавления 6 мл 0,01 моль/л аскорбиновой кислоты и 13 мл AgNO_3 0,01 моль/л в раствор NaOH и ZnSO_4 , при перемешивании в тех же условиях, что и в первом эксперименте, далее раствор выдерживали при 70 °C в течение 2 часов. На последнем этапе синтезированные продукты центрифугировали и несколько раз промывали дистиллированной водой и сушили в течение 24 ч.

Образцы ZnO-DBD и ZnO-Ag-DBD обрабатывались в плазме диэлектрического барьерного разряда, создаваемого в воздухе при нормальном давлении.

Общая схема установки для обработки катализаторов в плазме приведена на рисунке 1.

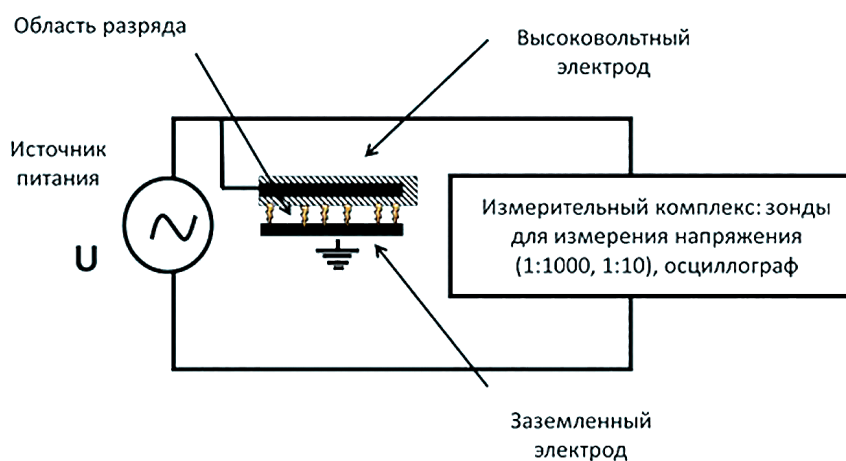


Рисунок 1 – Схема установки для создания диэлектрического барьерного разряда

Диэлектрический барьерный разряд создавался между плоским электродом, выполненным в виде сетки с диэлектрическим покрытием, и плоским металлическим заземленным электродом. Расстояние между электродами составляло 3 мм. Для подачи импульсного напряжения на верхний (сетчатый) электрод использовали источник питания ИПЭ-500/015, генератор импульсов Г5-54, ключ и трансформатор ТВС-110Л. Задающий генератор источника питания барьерного разряда работал на частоте 1 кГц. Вкладываемая в течение полного цикла разряда энергия составляла порядка 20 мДж.

Обрабатываемый образец размещался на заземленном электроде и подвергался воздействию плазмы в течение 15 минут.

Фотокаталитическую активность катализатора исследовали в модельной реакции разложения кофеина бензоната натрия (кофеина), симулирующего фармакологические отходы, под действием ультрафиолетового излучения в водных суспензиях синтезированных образцов.

Предварительно были проведены эксперименты, позволяющие установить влияние адсорбции кофеина на поверхности катализатора, т. е. оценить адсорбционную емкость катализатора. С этой целью катализатор, диспергированный в водном растворе кофеина бензоната натрия, перемешивали в магнитной мешалке в отсутствие облучения в течение 60 минут. Изменение концентрации кофеина контролировали по изменению интенсивности в максимуме его полосы поглощения ($\lambda=272$ нм). Была исследована адсорбционная емкость как необработанного, так и обработанного ZnO.

На рисунке 2 представлены результаты темновой (в отсутствие облучения ультрафиолетовым светом) адсорбции кофеина для фотокатализаторов на основе ZnO, допированных наночастицами Ag до и после обработки в плазме. Для сравнения приведены также данные для не допированного ZnO до и после обработки в плазме. Как видно из рисунка 2, для всех исследованных катализаторов существенной адсорбции кофеина в условиях отсутствия облучения ультрафиолетовым светом не наблюдалось.

При проведении экспериментов по исследованию фотокаталитической активности для приготовления суспензии навеску катализатора массой 40 мг смешивали с 20 мл водного раствора кофеина бензоната натрия в концентрации 300 мг/л. Растворы были приготовлены на основе дистиллированной воды.

Выбранная концентрация кофеина для модельной реакции находится в диапазоне концентраций, содержащихся в сточных водах. Установлено также, что выбранные значения концентрации модельных веществ попадают в линейный диапазон калибровочного графика зависимости оптической плотности от концентрации поглощающего вещества. Суспензии катализаторов в водных растворах модельных веществ подвергали воздействию УФ-излучения.

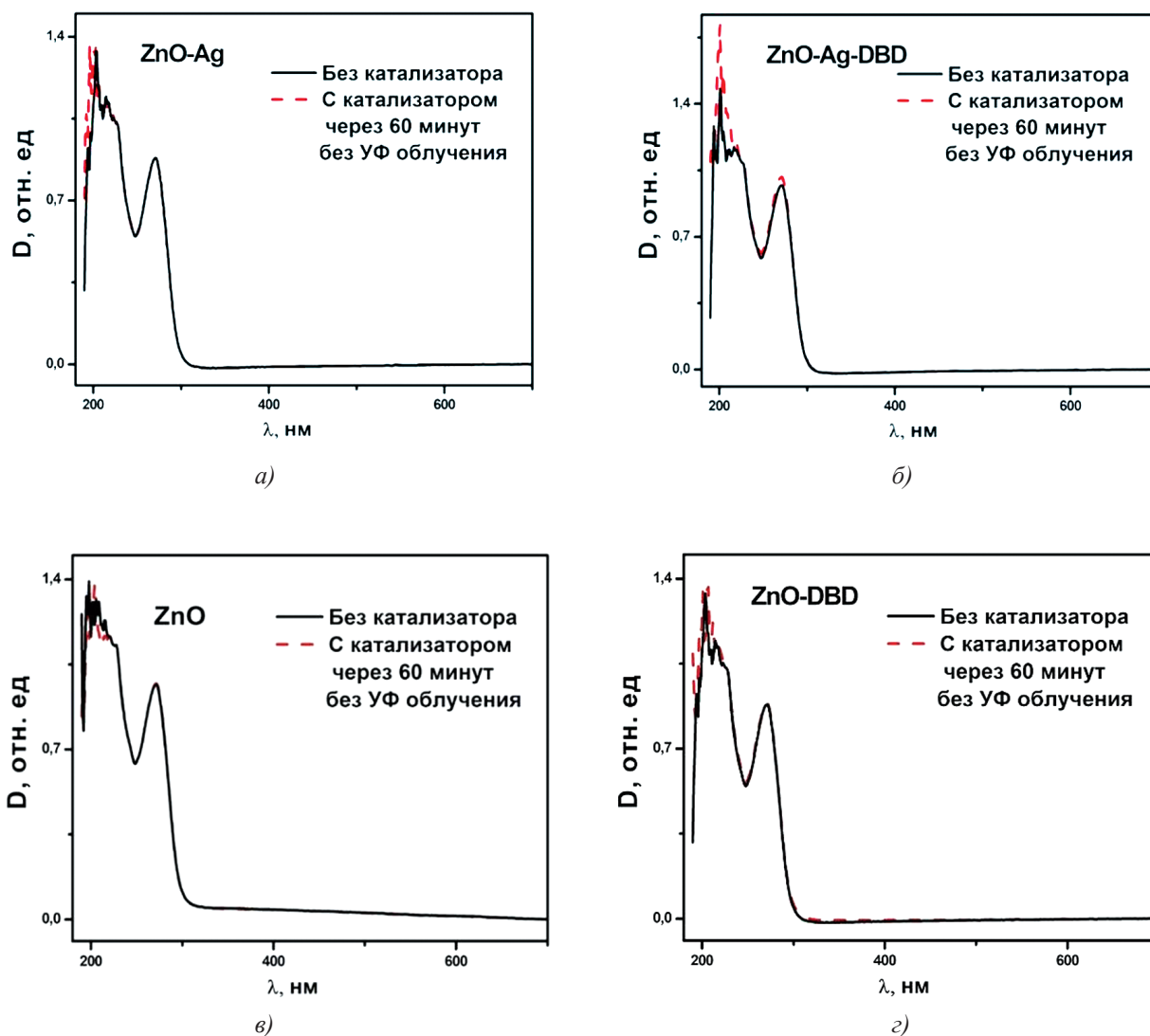


Рисунок 2 – темновая адсорбция кофеина на поверхности модифицированного наночастицами ZnO до (а) и после (б) плазменной обработки, темновая адсорбция необработанного ZnO до (в) и после (г)

В качестве источника ультрафиолетового излучения использовали ртутно-кварцевую лампу ДРТ-240 (мощность 240 Вт). В процессе облучения контролировали изменение концентрации кофеина в растворе с помощью

спектрофотометра SOLAR PB 2201 (SOLAR, Беларусь). Облучение проводилось при постоянном перемешивании суспензии в магнитной мешалке COLOR SCUID IKAMAG WHITE (IKA, Германия) со скоростью 200 об/мин.

Относительную концентрацию модельного вещества C_r определяли по данным измерений оптической плотности в максимуме поглощения:

$$C_r = \frac{C(t)}{C_0} \cdot 100\% = \frac{A_t}{A_0} \cdot 100\% \quad C_r = \frac{C(t)}{C_0} \cdot 100\% = \frac{A_t^{465}}{A_0^{465}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C_0 – начальная концентрация модельного вещества, $C(t)$ – концентрация модельного вещества после облучения его УФ излучением в момент времени t , A_0 и A_t – оптическая плотность раствора модельного вещества в максимуме поглощения ($\lambda=272$ нм) до начала облучения и в момент времени t после начала облучения образца соответственно.

Константу скорости реакции фотодегradации, определяемую по наклону графика зависимости концентрации C_r от времени, использовали в качестве количественной характеристики фотокаталитической активности образцов.

Для сравнения фотокаталитической активности различных образцов предполагали, что реакция фотодегradации может быть описана уравнением первого порядка, следовательно, кинетическое уравнение имеет вид:

$$\frac{dC}{dt} = -kC. \quad (2)$$

Здесь C – концентрация разлагаемого вещества, k – константа реакции. Решение уравнения (2) можно представить следующим образом:

$$C(t) = C_0 e^{-kt}. \quad (3)$$

Таким образом, построив зависимость $\ln \frac{C(t)}{C_0}$ от времени t , значения константы скорости реакции можно легко найти по графику.

$$\ln \frac{C(t)}{C_0} = -kt. \quad (4)$$

Полученные константы реакции представлены в таблице 1.

Таблица 1 – константы реакции фотодегradации кофеина в присутствии катализатора на основе ZnO

Образец	$k, \text{с}^{-1}$
ZnO (ECOS-1)	$5,2 \times 10^{-4}$
ZnO	$2,0 \times 10^{-3}$
ZnO-Ag	$1,1 \times 10^{-3}$
ZnO-Ag-DBD	$7,4 \times 10^{-4}$
ZnO-DBD	$1,1 \times 10^{-3}$

Как видно из таблицы 1, все синтезированные фотокатализаторы обладают большей активностью, чем коммерчески доступный оксид цинка ZnO ЭКОС. Активность фотокатализаторов убывает в следующем порядке: ZnO>ZnO-DBD=ZnO-Ag-DBD>ZnO-Ag>ZnO ЭКОС.

Активность синтезированного ZnO, выраженная в терминах константы скорости реакции, выше активности коммерчески доступного оксида цинка (ZnO ЭКОС) примерно в 4 раза (3,8 раз). Тем не менее, модификация синтезированного материала приводит к уменьшению активности синтезированного катализатора. Для установления причин понижения активности наноструктурированного ZnO после его химической и плазменной модификации необходимо проведение дополнительных исследований.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Конвергенция-2025», подпрограмма «Микромир плазма и Вселенная», задание 2.2.02, НИР 1 «Разработка основ комбинированного воздействия плазмы, электромагнитных полей и бихроматического лазерного излучения на материалы и биологические объекты для использования в новых технологиях» и НИР 8 «Создание научных основ плазмоактивированного взаимодействия наночастиц с поверхностью функциональных материалов с целью разработки новых методов направленного синтеза и модификации наноструктурированных каталитических материалов», а также гранта Министерства образования РБ по проекту «Плазмоиндуцированная модификация допированных плазмонными наночастицами катализаторов для фотодегradации фармакологических отходов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste/>. – Дата доступа: 11.03.2019.
2. Shcherbina, E. Pharmaceuticals waste / E. Shcherbina, A. Batyan, A. Kireykov // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века: материалы 17-й международной научной конференции, 18-19 мая 2017 г. г. Минск, Республика Беларусь: в 3 ч. / МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ; под ред. С.А.Маскевича, С.С.Позняка. – Минск, 2019. – Ч.2. – С.187-188.
3. Tran Thi, V. H., Synergistic Adsorption and Photocatalytic Activity under Visible Irradiation Using Ag-ZnO/GO Nanoparticles Derived at Low Temperature / T. Cao, T. Pham, M. Le // Journal of Chemistry. – 2019. – P. 1–13.

4. A comparative study on photocatalytic activity of ZnO-based photocatalysts treated by dielectric barrier discharge plasma / N.A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. – 2020. – V. 24, № 4. – P. 275–291.
5. Effect of impregnation by silver nanoparticles on the efficiency of plasma-treated ZnO-based catalysts / N. A. Savastenko [et al.] // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes. – 2020. – V. 24, № 1. – P. 21–45.

**РЕАЛИЗАЦИЯ СТОКГОЛЬМСКОЙ КОНВЕНЦИИ ПО СТОЙКИМ
ОРГАНИЧЕСКИМ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

**IMPLEMENTATION OF THE STOCKHOLM CONVENTION
ON PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

В. Д. Дузинчук^{1,2}, С. Е. Головатый^{1,2}
V. D. Duzinchuk^{1,2}, S. E. Golovaty^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

*²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kem@iseu.by, sscience@yandex.ru*

¹Belarusian State University, BSU

*²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University,
ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проблема негативного влияния стойких органических загрязнителей (СОЗ) на здоровье населения и окружающую среду является глобальной. Решение проблемы СОЗ сегодня – одна из приоритетных экологических задач всего мирового сообщества. Актуальность проблемы реализации обязательств Республики Беларусь о стойких органических загрязнителях состоит в том, что на территории нашей страны все еще остается определенное количество этих веществ. Согласно принятым и реализуемым программам относительно сокращения и полного прекращения использования СОЗ, к концу нынешнего десятилетия в Беларуси должны быть уничтожены все запасы полихлорированных бифенилов (ПХБ) и непригодных пестицидов.

The problem of the negative impact of persistent organic pollutants (POPs) on public health and the environment is a global one. Nowadays, the solution of the POPs problem is one of the priority environmental tasks of the international community. Relevance of the problem of implementation of obligations of the Republic of Belarus on persistent organic pollutants lies in the fact that a certain amount of these substances still remains in the territory of our country. According to adopted and implemented programs on reduction and complete cessation of use of these substances, all stocks of polychlorinated biphenyls (PCBs) and obsolete pesticides in Belarus have to be destroyed by the end of the current decade.

Ключевые слова: Стокгольмская конвенция, стойкие органические загрязнители (СОЗ), полихлорированные дифенилы (ПХД), непригодные пестициды.

Keywords: Stockholm Convention, persistent organic pollutants (POPs), polychlorinated biphenyls (PCBs), obsolete pesticides.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-285-288>

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) – это химические вещества, медленно разлагающиеся или абсолютно не разлагающиеся в естественных условиях [1]. К ним относится группа синтетических соединений, которые применяются в сельском хозяйстве в качестве пестицидов, используются в промышленности или образуются самопроизвольно в качестве побочных продуктов сгорания или промышленных процессов. Они токсичны даже в крайне малых концентрациях.

СОЗ являются глобальной экологической проблемой вследствие их устойчивости, способности мигрировать на большие расстояния и накапливаться в объектах окружающей среды и в тканях живых организмов, отравляя людей, животных и растения.

С целью решения данной глобальной проблемы 22 мая 2001 года была принята Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях, целью которой является защита здоровья людей и окружающей среды от высокотоксичных химических веществ, содержащихся в окружающей среде и воздействующих на людей