

как из экологических (утилизация ПЭТФ, снижение потребления ФА и как следствие ортоксилола), так и экономических соображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рзаев К. Форум CREON «Полимеры России», Москва. 05.12.2023.
2. Jiayu X., Qi Zh., Junjie H., Rong H., Quratulain Z., Dongxia Ya., Qing Zh., Junli X., Xingmei L. Progress in the catalytic glycolysis of polyethylene terephthalate // *Journal of Environmental Management*, 2021. – Vol. 296. – P. 113–167.
3. Мерекенова А. К. Новые поверхностно-активные вещества на основе модифицированных отходов полиэтилентерефталата для нефтепромышленной химии. Диссертация на соискание ученой степени доктора философии. – Алматы, 2022. – 185 с.
4. Зайцев Н. П. Полиэфирные смолы из ПЭТФ бутылок. Миф или реальность? // *Композитный мир*, 2023. – С. 13–18.
5. Зоненштайн М. Полиуретаны. Состав, свойства, производство, применение. – Санкт-Петербург, 2018. – 156 с.
6. Мусина А. М. Переработка побочных продуктов производства изоалканов и терефталевой кислоты. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфа, 2011. – 196 с.

УДК 677.494.6:678.82

Н. Р. Прокопчук, проф., д-р хим. наук, член-корр. НАН Беларуси;
Л. А. Ленартович, доц., канд. техн. наук;
Е. А. Чепелевич, студ. (БГТУ, г. Минск);
А. М. Тригубович, науч. сотр.
(ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», г. Минск)

АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ НАНООКСИДОВ МЕТАЛЛОВ В ПЭТ-КОМПОЗИЦИЯХ

В настоящее время в условиях постоянного роста заболеваемости среди населения, вызванного высокой выживаемостью болезнетворных бактерий и вирусов, остро встает вопрос о снижении возможности заражения человека. Болезнетворные бактерии могут распространяться воздушно-капельным путем, а также через предметы общественного пользования (транспорт, общественные заведения, больницы и т.п.). На многих поверхностях (поручни транспорта, столы и стулья в объектах питания, одежда и т.п.) возможно длительной сохранение бактериями своей жизнеспособности, что приводит к быстрому распространению инфекций. Одним из способов, снижающих вероятность заражения, является создание материалов, обладаю-

щих антибактериальными свойствами [1–3]. По данным различных исследований наночастицы металлов и их оксидов могут оказывать бактерицидное (уничтожают микробную клетку) или бактериостатическое действие (подавляющие рост и размножение микробной клетки) на широкий круг микроорганизмов, включая и условно-патогенные виды. Поэтому, исследования, направленные на разработку таких материалов, являются весьма актуальными.

Целью работы является изучение влияния наноксидов цинка и титана, введенных в ПЭТ на стадии синтеза в концентрации до 0,015 мас. %, на антибактериальные свойства полимера. Производили оценку антимикробной активности образцов полиэтилентерефталата, содержащего наноксиды TiO_2 и ZnO , по отношению к бактериям (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*) и грибам (*Candida boidinii*) в модельных условиях.

Предварительно очищенную поверхность образцов инокулировали ночной культурой клеток (полученной через 24 часа культивирования) *E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis* или *C. boidinii*, при этом культуральную жидкость микробных клеток разбавляли до содержания клеток не более 10^7 КОЕ/мл стерильным физиологическим раствором. Опрыскивали суспензией клеток 6 образцов, после чего 5 из них помещали каждый в отдельную чашку Петри с влажным бумажным фильтром и подложкой для сохранения оптимальных условий для бактерий, чашки Петри помещали в эксикатор, на дно которого наливали стерильную воду и инкубировали при температуре 28°C и 37°C в течении 7 сут.

Определяли начальные количества микроорганизмов путем смыва оставшейся суспензии с поверхности контрольного и опытных образцов в 1 мл стерильного физраствора. Последующие смывы с образцов производили по истечении 12 и 24 ч момента заражения. Антимикробные свойства образцов оценивали по снижению количества жизнеспособных клеток бактерий на поверхности по сравнению с контролем. Количество жизнеспособных клеток (титр клеток) на поверхности образцов определяли методом высева смыва бактериальной суспензии с 1 см² полимерного материала с последующим высевом на агаризованную питательную среду мясо-пептонный агар (МПА). Определение количества жизнеспособных клеток бактерий осуществляли методом предельных разведений.

При оценке антимикробной активности образцов материалов, включающих наночастицы установлено, что наибольшим эффектом к выбранным тест-культурам обладали образцы, содержащие наночастицы ZnO . Показано, что через 24 ч после заражения поверхности материала бактериями *E. coli*, количество жизнеспособных клеток в

смывах снизилось с $6,7 \times 10^7$ до $1,4 \times 10^6$ КОЕ/см², для *S. aureus* с $6,5 \times 10^7$ до $1,2 \times 10^6$ КОЕ/см² по сравнению с контролем. Количество жизнеспособных клеток *B. subtilis* МТП-5 на образцах с ZnO через 24 часа также значительно снизилось с $4,2 \times 10^7$ до $1,2 \times 10^6$ КОЕ/мл. Также снизилось и количество жизнеспособных клеток *C. boidinii* ФД-2 с $4,6 \times 10^7$ до $1,3 \times 10^6$ КОЕ/мл. Образцы, содержащие в своем составе наночастицы содержащие TiO₂, практически не оказывали выраженного антимикробного действия на культуры *E. coli* и *S. aureus* в первые 24 часа, значение количества жизнеспособных клеток на их поверхности соответствовало контролю. Основным критерием антимикробной активности исследуемых образцов в отношении тест-культур микроорганизмов в соответствии со стандартом испытаний ISO 22196-2011 является снижение количества микробных клеток через 24 часа инкубирования. В процентном выражении микробиологическая эффективность образцов содержащих наночастицы ZnO на составляла от 81,2% до 97,8%, что соответствует снижению числа бактериальных клеток в среднем на один порядок. Для образцов, содержащих TiO₂ значительное снижение отмечено только для *B. subtilis* и *C. boidinii*, процент погибших клеток составлял 64,4% и 60,9% соответственно (рисунок 1). Наибольшим антимикробным эффектом ко всем исследованным штаммам тест-культур обладали образцы, содержащие наночастицы ZnO.

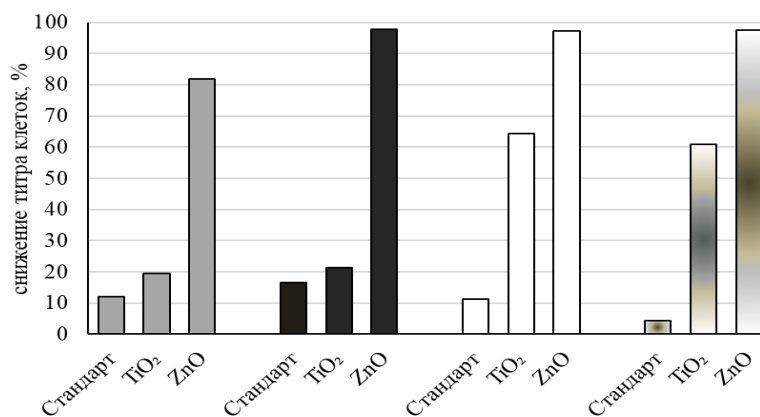


Рисунок 1 – Микробиологическая эффективность образцов
(% снижения титра клеток на поверхности образца) по отношению к тест-культурам: *E. coli* (■), *S. aureus* (■), *B. subtilis* (□), *C. boidinii* (■) через 24 часа инкубирования образцов

Полученные результаты имеют большой практический интерес, т.к. позволяют за счет введения малого количества наночастиц оксидов металлов оказывать антибактериальное действие в отношении условно-патогенных бактерий. Такие композиции могут быть использованы для изготовления одежды, а также иных текстильных материалов, используемых в медицинских учреждениях и объектах питания, для

снижения риска распространения заболеваний среди населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Upasani P. S. Polyester fabric with inherent antibacterial, hydrophilic and UV protection properties / P. S. Upasani, T. V. Sreekumar, A.K. Jain // The Textile Institute, 2016. – Vol. 107. – P. 1135–1143.
2. Çaykara T. Exploring the potential of polyethylene terephthalate in the design of antibacterial surface / T. Çaykara, M. G. Sande, N. Azoia, L. R. Rodrigues, C. Joana Silva // Medical Microbiology and Immunology, 2020. – Vol. 209. – P. 363–372.
3. Qiuying Li. Fabrication of multifunctional PET fabrics with flame retardant, antibacterial and superhydrophobic properties / Li Qiuying, Sh. Zhang, K. Mahmood, Yi Jin, Ch. Huang, Z. Huang, S. Zhang, W. Ming // Progress in Organic Coatings, 2021. – Vol. 157. – P. 296–305.

УДК 678.5

А. В. Горбачев, асп.; И. З. Файзуллин, доц., канд. техн. наук;
Ю. М. Казаков, ректор, д-р техн. наук;
С. И. Вольфсон, зав. кафедрой ХТПЭ, д-р техн. наук
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Российская Федерация);
А. В. Касперович, зав. кафедрой ПКМ, канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА И МОДИФИЦИРОВАННОЙ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ

Ввиду истощения ископаемых ресурсов, изменений климата и загрязнения окружающей среды [1], важной задачей является разработка механизмов устойчивого развития, опирающихся на использование возобновляемых источников сырья и технологий их переработки. В связи с этим, актуальной становится проблема обработки аграрных лигноцеллюлозных отходов, обусловленная ежегодным увеличением их объемов [2]. В ранее проведенных исследованиях в области полимерных композиций акцентируется внимание на разработке инновационных методов переработки этих материалов с целью создания устойчивых полимерных композиционных материалов нового поколения [3, 4].

В работе исследовалось влияние модификации рисовой шелухи на свойства композиций на основе полипропилена экструзионной марки. Модификация рисовой шелухи проводилась в растворе щелочи – гидроксида калия при кипячении в течение 1 часа, с дальнейшим