

На рисунке 2 приведены результаты оптимизации графика электрической нагрузки одного из исследуемых водозаборов минимизирующие стоимость оплаты за электроэнергию. Для приведенных графиков нагрузок оплата за электроэнергию после оптимизации снизилась на 10,2 %.

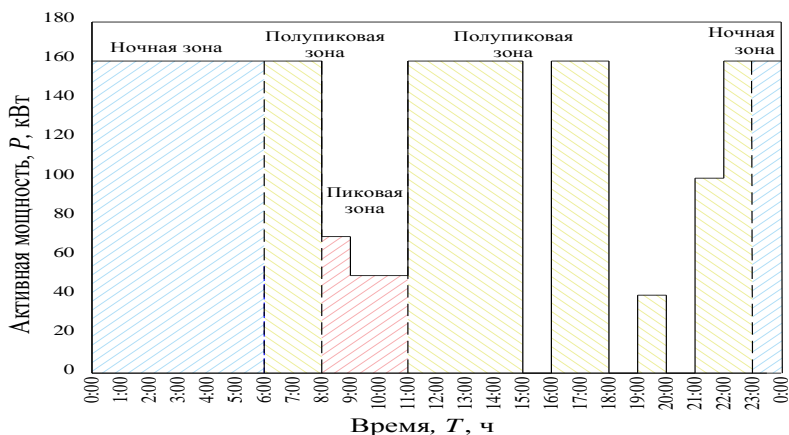


Рисунок 2 – Графики нагрузок водозабора после оптимизации

Список литературы

1. Optimize the cost of paying for electricity in the water supply system by using accumulating tanks. In E3S Web of Conferences / A. Kapanski [et al]. – 2020. – Vol. 178. – P. 01065. EDP Sciences.

УДК 551

КУДИНА Е.Ф.

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальной задачей технической эксплуатации систем водоснабжения является очистка природных и сточных вод, прежде всего, от загрязнений промышленного производства. Суммарный мировой выпуск только производственных сточных вод составляет по приблизительным подсчетам более 500 млрд м³ в год. Отходы промышленного производства приводят к изменению качества природных вод [1, 2]:

- снижается кислотность пресных вод в результате загрязнения серной и азотной кислотами из атмосферы, увеличивается содержание сульфатов и нитратов;

- подкисленные дождевые воды, просачиваясь в нижние слои почвы, растворяют карбонатные породы, что вызывает увеличение содержания ионов кальция, магния, кремния в подземных и речных водах;

- повышается содержание в природных водах фосфатов, нитратов, нитритов и аммонийного азота;

- возрастает содержание в природных водах тяжелых металлов (свинца, кадмия, ртути, цинка и др.);

- поверхностные и подземные воды обогащаются солями, поступающими со сточными водами за счет смыва твердых отходов. Например, из каждых 1000 т городских отходов в грунтовые воды попадает до 8 т растворимых солей, солесодержание многих рек ежегодно повышается на 30-50 мг/л;

- воды загрязняются органическими соединениями (синтетические ПАВ, пестициды и другие токсичные, канцерогенные и мутагенные вещества);

- снижается содержание кислорода в природных водах, в результате его расхода на окислительные процессы, связанные с минерализацией органических соединений, а также вследствие загрязнения водоемов гидрофобными веществами. В отсутствие кислорода в воде развиваются восстановительные процессы, например, сульфаты восстанавливаются до сероводорода.

Возникла потенциальная опасность загрязнения природных вод радиоактивными изотопами химических элементов. Глобальной проблемой стало присутствие в сточных водах нефтяных загрязнений, создающих трудности при отделении выпадающих из растворов осадков с широким диапазоном кислотности.

Цель работы – систематизировать современные волокнистые материалы в технологиях очистки воды.

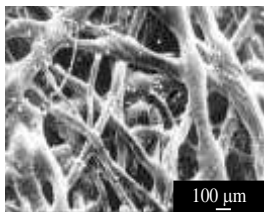
Основные результаты. Почти все применяемые для нейтрализации и очистки сточных вод стандартные типы оборудования предусматривают использование фильтроэлементов в системах пневмоаэрации сточных вод, а также на последней стадии очистки стоков с помощью адсорбционных, бактерицидных или микрофильтров. Перспективным направлением очистки сточных вод является их нейтрализация с помощью биофильтров. В которых

моделируются биофизические и биохимические процессы обработки воды, протекающие в природе.

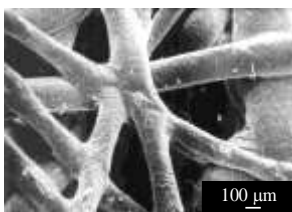
В современном оборудовании для очистки сточных вод в качестве фильтроэлементов используют полимерные волокнистые материалы, полученных по melt-blowing технологии. Она заключается в формировании волокон из жидких или вязкотекучих материалов, нагретых выше температуры плавления или стеклования, и распылении их потоком газа. Распыленная волокнистая масса охлаждается в газовом потоке и осаждается на формообразующей подложке. Технология melt-blowing позволяет: изменять химический состав материала, модифицировать волокна химическими, физическими и биологическими методами на стадии распыления в газовом потоке, закреплять на волокнах дисперсные частицы модификаторов и варьировать текстуру волокнистых материалов. Это обуславливает большие возможности расширения их эксплуатационных свойств. Уникальность melt-blown материалов обусловлена их структурой: большой удельной поверхностью; пористостью; образованием «замороженных» носителей электрических зарядов, распределенных по объему волокон, вследствие чего волокнистая система приобретает повышенную физико-химическую активность и специфические служебные свойства. Технология melt-blowing позволяет получать волокнистые полимерные системы (ВПС), эффективно улавливающие и биологически инактивирующие нефтепродукты, органические растворители, ионы тяжелых металлов, что позволяет упростить очистку сточных вод.

Полимерные волокнистые материалы (ПВМ), полученные методом melt-blowing, являются гетерогенными системами [3, 4]. Они состоят как минимум из двух фаз (при отсутствии модификаторов и наполнителей): волокнистой полимерной матрицы, представляющей собой волокна, хаотически расположенные в пространстве и адгезионно скрепленные в точках касания, и воздушных пустот – сквозных извилистых пор или каналов (рисунок1). Параметры волокнисто-пористой структуры определяют фильтрационные характеристики ПВМ. По критерию преобладающего механизма фильтрации их можно разделить на электростатные, магнитные, адсорбционные, бактерицидные, материалы-носители микроорганизмов и др.

а)



б)



в)

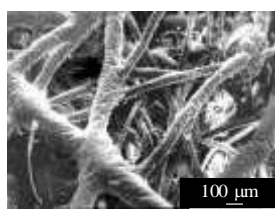


Рисунок 1 – Электронно-микроскопические изображения melt-blown материалов на основе ПЭНД: a – плотность $\rho = 369 \text{ кг/м}^3$, пористость $\Pi = 28 \%$;
 b – $\rho = 373 \text{ кг/м}^3$, $\Pi = 39 \%$; ϵ – $\rho = 250 \text{ кг/м}^3$, $\Pi = 46 \%$

Электретные ПВМ. Принцип действия волокнистого электретного фильтра основан на захвате волокнами частиц благодаря кулоновским и индукционными силами.

Для изготовления электретных фильтроэлементов применяют в основном ПВМ с предварительно заряженными волокнами. Зарядку волокон осуществляют в поле высокого напряжения или коронного разряда. Разработаны технологии получения электретных фильтров из пленки полипропилена и в процессе переработки полиэтилена. Электретные фильтроэлементы сохраняют стабильный заряд при повышенных температурах: выдержка электретного фильтроэлемента при $T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 100 сут вызывает снижение эффективности фильтрации с 99,5 до 92,0 %.

Магнитные ПВМ. Технологическую основу получения таких материалов составляет метод melt-blowing, включающий дополнительно следующие операции: экструзию расплава полимера, наполненного высокодисперсными порошками феррита бария или стронция; вытягивания волокон с помощью газового потока и их обработку в магнитном поле. По структуре магнитные ПВМ представляют систему когезионно скрепленных волокон, содержащих инкорпорированные частицы ферритового наполнителя.

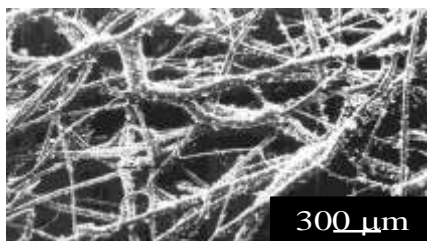
Основными параметрами, характеризующими магнитный фильтрующий ПВМ, являются диаметр волокон, плотность фильтроматериала, концентрация и размер частиц наполнителя. При уменьшении диаметра волокна от 40 до 6 мкм (для масла) и до 20 мкм (для воды) эффективность фильтрации увеличивается от 10 до 100 %. Если волокна не содержат частиц магнитного наполнителя, эта зависимость сдвигается в область меньших значений диаметра волокон, т.е. для улавливания всех частиц диаметр волокон должен быть меньше 3–4 мкм. При увеличении концентрации ферритового наполнителя от 5 до 30 % эффективность фильтрации масла возрастает от 30 до 100 %, а воды – от 60 до 100 %. Полную очистку воды от частиц примесей с диаметром более 5 мкм обеспечивает введение в ПВМ феррита в количестве 20 %. Полностью воду и масло можно очистить с помощью фильтроматериала с плотностью более $0,6 \text{ г/см}^3$.

Адсорбционные и микробицидные ПВМ. Адсорбционные ПВМ предназначены для комплексной глубокой очистки промышленных стоков, в которых одновременно присутствуют тонкие взвеси твердых частиц, эмульгированные нефтепродукты, растворенные соли тяжелых металлов, органические токсиканты и детергенты при значительных колебаниях кислотности и состава стоков. Такие фильтроматериалы содержат иммобилизованные в полимерной волокнистой матрице адсорбционно-активные вещества [1, 2]:

- высокопористые углеродные и неорганические адсорбенты (аэросил, цеолиты, природные и синтетические активные угли, углеродные волокна);
- ионообменные полимерные волокна (на основе модифицированных ПА, ПАН, ПВС и т. д.);
- комплексообразователи с ионами металлов (ферроцианиды, азотсодержащие гетероциклические соединения и др.).

Особенность структуры ПВМ состоит в адгезионном закреплении частиц адсорбента на волокнах (рисунок 2, *а*). Перерабатывать адсорбенты совместно с полимером в процессе получения ПВМ нецелесообразно, т. к. пористые частицы инкапсулируются связующим и теряют свои адсорбционные свойства (рисунок 2, *б*).

а)



б)

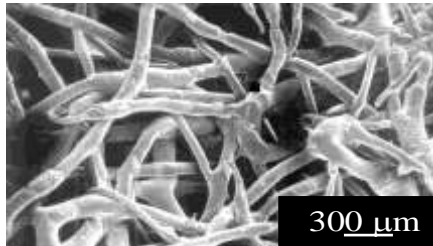


Рисунок 2 – Электронномикроскопические снимки ПВМ на основе ПЭНД, модифицированного древесным активированным углем (13,8 %):

- а* – частицы угля инжестрированы в газополимерный поток,
- б* – частицы угля экструдировались с расплавом полимера

Экспериментально установлено, что в ПВМ можно ввести не более 20–25 % модификатора, соблюдая условие его адгезионного закрепления на поверхности волокон. Технология введения пористых адсорбентов в melt-blown ПВМ, исключаяющая их инкапсуляцию связующим, позволяет получать материалы с высокими адсорбционными характеристиками. Установлено, что melt-blown материалы, состоящие из тонких лиофильных волокон ПЭ или ПП, являются хорошими абсорбентами нефти. Нефтеудерживающая способность таких материалов достигает 10 г/г и более, что превышает аналогичные параметры композиционных материалов, предназначенных для сбора нефтепродуктов. Высокая степень извлечения нефтяного масла при фильтрации через melt-blown ПВМ замасленной воды составляет 60–90 %.

Биологически активные ВПМ предназначены для глубокой биоутилизации загрязнителей сточных вод путем их трансформации в нетоксичные формы с помощью иммобилизованных на носителе микроорганизмов. Усовершенствованные технологии melt-blowing позволяют в едином производственном цикле изготавливать и модифицировать волокнистые полимерные

носители (ВПН), придавая им дополнительные функциональные свойства, направленные на повышение совместимости с микроорганизмами при регулировании их активности. ВПН изготавливают из ПА, ПП или ПЭНД с плотностью 100–400 кг/м³. Удельная поверхность загрузки биофильтров такими носителями (с учетом коэффициента заполнения биофильтра 0,5) достигает (7–11)·10³ м²/м³. Достоинствами ВПН из melt-blown материалов являются низкая насыпная масса (~100–120 кг/м³), химическая и биологическая инертность, а также широкие технологические возможности придания материалу дополнительных функциональных свойств (сорбционных, электростатических и др.). ВПН превосходит по сорбционным параметрам типовые носители микроорганизмов. Биофильтр с ВПН из ПП-2 не уступает по качеству очистки химических стоков биофильтру, заполненному керамзитом. Степень конверсии отдельных загрязнителей лежит в пределах от 35 до 100 %, независимо от типа биофильтра. ВПН обеспечивает высокую эффективность биоочистки при больших расходах стоков, содержании значительных концентраций нефтепродуктов и при наличии в стоках примесей токсичных веществ.

Выводы. Таким образом, широкие возможности melt-blowing технологии позволяют получать ВПМ, которые являются перспективными материалами для эффективной очистки природных и сточных вод.

Список литературы

1 **Буря, А.И.** Вода – свойства, проблемы и методы очистки : [монография] / А.И. Буря, Е.Ф. Кудина. – Днепропетровск : Пороги, 2006. – 520 с.

2 Химия и микробиология воды : учеб. пособие / Е.Ф. Кудина, О.А. Ермолович, Ю.М. Плещачевский ; под ред. Ю.М. Плещачевского, А.С. Неверова. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 335 с.

3. Melt Blowing: Equipment, Technology and Polymer Fibrous Materials / L. S. Pinchuk [et al.]. – Berlin : Springer, 2002. – 212 p.

4 **Кудина, Е.Ф.** Перспективы применения волокнистых материалов для очистки природных и сточных вод / Е.Ф. Кудина, Л.С. Пинчук // ВодаMagazine. – 2008. – № 2 (6). – С. 20–24.

УДК 556.53(282.2):574.6

КОВАЛЁВ Е.Н., КОВАЛЁВА О.В.
**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС МАЛЫХ РЕК
ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь
eg.kovalev2014@yandex.by, sanakovaleva@mail.ru*