

На правах рукописи



Шелкунова Мария Владимировна

**СОЗДАНИЕ БИНАРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С
ПОВЫШЕННОЙ ИММОБИЛИЗАЦИОННОЙ
СПОСОБНОСТЬЮ ДЛЯ БИОФИЛЬТРАЦИИ СТОКОВ**

05.17.06 - «Технология и переработка полимеров и композитов»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Корчагин Владимир Иванович

Официальные оппоненты: **Успенская Майя Валерьевна,**
доктор технических наук, профессор
(ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»),
центр химической инженерии, профессор)
Вострикова Галина Юрьевна,
кандидат химических наук
(ФГБОУ ВО «Воронежский технический университет», кафедра химии и химической технологии материалов, доцент)

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Гамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Защита состоится «29» декабря 2021 года в 13 : 30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.035.05 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, д.19, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в ресурсном центре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «ВГУИТ» по адресу: 394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19 и на Интернет-сайте <https://www.vsuet.ru>.

Автореферат диссертации размещен на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВГУИТ» <https://www.vsuet.ru> и на интернет-сайте ВАК РФ <https://vak3.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат диссертации разослан «15» ноября 2021 г.

Отзывы на автореферат просим присылать по адресу: 394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «ВГУИТ», диссертационный совет Д 212.035.08.

Ученый секретарь диссертационного
Д 212.035.08, к.т.н.



Власова Л.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

На современных локальных очистных сооружениях применяются плавающие биофильтрационные загрузки с различной конфигурацией, состоянием поверхности, иммобилизационной способностью, что способствует интенсификации процессов окисления, турбулизации потока и вымыванию избыточной биомассы.

На рынке представлен ассортимент биозагрузок как отечественного, так и зарубежного производства. Подавляющее их большинство изготавливается из полиолефинов и имеет сложную геометрию для придания иммобилизационной способности, что одновременно является недостатком, т.к. со временем приводит к заиливанию рабочих элементов с невозможностью их регенерации.

Актуальность проблемы при создании плавающей композитной биозагрузки заключается в создании фиксированной толщины биопленки, все слои которой должны быть достигаемы для кислорода и субстратов, а образовавшееся излишки биомассы должны самоочищаться без каких-либо механических повреждений.

Не менее важной проблемой является изготовление в высокоскоростном оборудовании под действием сдвиговых деформаций биозагрузки с высокой иммобилизационной способностью на основе бинарной композиции (БК), содержащей синтетические полимеры и неплавкие природные полисахариды (ПС) при содержании не менее 30 мас. %. Экструзионная переработка БК ограничена узкими скоростными и температурными интервалами из-за высокой вязкости композиции и низкой термостойкости ПС.

Применение отработанной микроцеллюлозы (ОМЦ) – адсорбента со стадии рафинирования и дезодорирования растительных масел, привлекательно для модификации «экокомпозитов» с заданными свойствами, т.к. в ее состав входят такие ценные компоненты как липиды, жирные кислоты, воска и др., а объемы образования в Воронежской области превышают 2 тыс. тонн в год.

Современной тенденцией является частичная замена (не менее 20 %) серийного полиэтилена (ПЭ) на вторичные полимерные ресурсы.

В этой связи инновационным подходом является получение пористых элементов простой геометрической формы с высокой биоемкостью и возможностью самоочищения при использовании БК с полимерной матрицей на основе ПЭ, в том числе вторичного, а также ОМЦ в качестве модифицирующей добавки.

Степень разработанности темы. Загрузка «BioChip» с высокой иммобилизационной способностью производится в Германии с 2016 года,

отечественный аналог загрузки имеет недостаточную биоемкость. Информации по составу и технологии изготовления биозагрузок и их иммобилизационной способности крайне недостаточно. В недостаточной степени разработаны технология переработки БК и теоретические основы по воздействию сдвиговых деформаций при критических температурах переработки полимерных композитов с высоким содержанием ПС.

Цель работы: создание бинарной полимерной композиции с использованием трудносовместимых полиолефина и микроцеллюлозы (МЦ) для изготовления биозагрузки с высокой иммобилизационной способностью при селективной очистке стоков.

Достижение цели потребовало решения следующих задач:

1. определение качественного и количественного состава биофильтрационных элементов на основе БК, включающей ПЭ и МЦ, в том числе ОМЦ со стадии рафинации растительных масел с учетом переработки в высокоскоростном оборудовании;

2. модификация БК при использовании ОМЦ, содержащей липиды;

3. устранение термодеструктивных процессов в высокоскоростном экструзионном оборудовании при изготовлении модифицированной бинарной полимерной композиции с пористой структурой;

4. получение гранулированной биофильтрационной загрузки на основе модифицированной бинарной композиции (МБК), обладающей пористой структурой и иммобилизационной способностью по отношению к микроорганизмам активного ила;

5. изучение физико-механических показателей и эксплуатационных свойств МБК при воздействии абиотических факторов;

6. разработка эколого-технологических основ получения МБК с повышенной иммобилизационной способностью по отношению к микроорганизмам активного ила;

7. апробирование результатов исследований в опытно-промышленных условиях.

Научная новизна:

1. Созданы научно-практические подходы получения и переработки БК при использовании трудносовместимых полимеров: ПЭ и МЦ для изготовления элементов биофильтрационной загрузки с высокой иммобилизационной способностью (соответствует формуле специальности, пункт 1).

2. Установлено, что максимальное содержание МЦ в БК не должно превышать 30 об.%, что лимитируется реологическим поведением при высоких скоростях сдвига, продолжительностью воздействия при критических параметрах переработки и прочностными показателями при

воздействии абиотических факторов (соответствует области исследований, пункт 1).

3. Выявлено, что модификация БК с использованием ОМЦ не более 15 об.%, содержащей липиды, оказывает пластифицирующий эффект при экструзионной переработке и обеспечивает иммобилизационную способность биоагрузки (соответствует области исследований, пункт 2).

4. Утилизация ОМЦ, содержащей оксонеустойчивые загрязнения, в качестве модифицирующего компонента БК, позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду отходов со стадии рафинации растительных масел (соответствует области исследований, пункт 3.).

Теоретическая и практическая значимость работы:

- созданы эколого-технологические подходы получения БК на основе серийных термопластов и МЦ при использовании высокоскоростного экструзионного оборудования;

- проведена коррекция Бегли кривых течения БК и МБК и получено регрессионное уравнение, позволяющее спрогнозировать изменение напряжения сдвига от скорости сдвига в условиях экструзионной переработки;

- установлены температурные интервалы экструзионной переработки высоковязких БК с учетом их термостабильности;

- выявлено влияние абиотических факторов на композитный материал состава «ПЭ : МЦ», в том числе с частичной заменой на ОМЦ, содержащую липиды;

- получены опытно-промышленные образцы композитной биоагрузки с высокой биоемкостью и возможностью самоочистения элементов;

- разработана технологическая схема производства и даны рекомендации к промышленному получению композитной биоагрузки в высокоскоростном экструзионном оборудовании;

- предложен способ утилизации отхода масложировой промышленности – ОМЦ в качестве многофункциональной добавки к высоконаполненным ПС и полиолефинам.

Методология и методы исследований.

В основу исследований положено равномерное распределение в БК на основе гранулированного ПЭ марки ПВД-158030-020 порошкообразной МЦ марки Filtracell, а также пастообразной ОМЦ, которое достигается при использовании лопастного смесителя марки ST - 50 и высокоэффективного компаундирования в двухшнековом экструдере марки STR-50D-40/600 при температуре 170 ± 2 °С .

Предложено, что методы исследований БК должны базироваться на комплексе современных физико-химических и инструментальных методов, позволяющих установить: критические параметры переработки при высоких скоростях сдвига, сравнимых с высокоскоростной экструзионной переработкой; выявить термолабильность при термическом воздействии в среде кислорода воздуха; определить морфологические показатели; физико-механические и эксплуатационные показатели при воздействии абиотических факторов.

Личный вклад автора. Вклад автора состоит в самостоятельном проведении исследований, обобщении данных, анализа полученных результатов, формулировании теоретической и практической значимости, научной новизны и выводов, а также в коллективном участии при получении экспериментальных образцов в опытно-промышленных условиях. Сформулированы цель и задачи при участии научного руководителя, проф. В.И. Корчагина. Обсуждение результатов для опубликования в печати проводилось совместно с научным руководителем и соавторами, в частности, доцентом Л.Н. Студеникиной. Автор выражает благодарность к.т.н., техническому директору ООО «Вектор Полимир» Протасову Артему Викторовичу за помощь при получении экспериментальных образцов в промышленных условиях.

На защиту выносятся:

1) основные технологические аспекты при получении плавающей биозагрузки на основе БК с высокой пористостью и шероховатостью;

2) экспериментальные исследования по установлению оптимального состава БК, обеспечивающего необходимые эксплуатационные показатели при воздействии абиотических факторов;

3) теоретические зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига при деформировании через круглый капилляр БК и МБК;

4) методологический подход при получении гранулированной биофильтрационной загрузки, обладающей пористой структурой и иммобилизационной способностью;

5) анализ результатов исследований по влиянию абиотических факторов на прочностные, эксплуатационные и биологические показатели биозагрузки;

6) эколого-технологический подход получения биозагрузки при использовании в качестве модифицирующей добавки ОМЦ и апробирование их в опытно-промышленных условиях.

Апробация работы. Основные результаты докладывались и обсуждались на конференциях: международной научно-практической конференции «Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития» (Москва, 2017), IV международной

научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» (Воронеж, 2017), региональной конференции «Охрана окружающей среды в Воронежской области» (Нововоронеж, 2017), отчетных научных конференциях преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ (Воронеж, 2018,2019), международной научно-практической конференции имени В.И. Вернадского «Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования» (Тамбов, 2019), научно-практической конференции «Проблемы и инновационные решения в химической технологии» (Воронеж, 2019).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 22 работы, в том числе 1 - в журнале, индексируемом в базе цитирования SCOPUS, 5 - в журналах, рекомендованных ВАК, 5 – в журналах, рецензируемых РИНЦ и 9 - в тезисах докладов конференций. Получены 2 патента РФ на изобретение.

Достоверность. Обработку экспериментальных данных проводили с помощью программ Microsoft Office Excel, Mathcad v 14.0, CeastVIEW 5.94 4D, что позволило достичь воспроизводимость и согласованность лабораторных и экспериментальных данных.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Материалы работы изложены на 147 стр. машинописного текста, включая 16 таблиц и 30 рисунков. Список литературы включает 130 наименований. Приложения представлены на 12 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследований, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе рассмотрено современное состояние проблемы по использованию биофильтрационных полимерных загрузок при очистке стоков на локальных сооружениях, инновационные подходы при создании биodeградируемых полимерных композитов, современное представление по иммобилизационной способности материалов, технологические аспекты при переработке композитов с высоким содержанием природных полимеров и влияние внешних факторов на физико-механические и эксплуатационные показатели БК.

Во второй главе представлены объекты и методы исследований. Объектом исследований являлись композиты, полученные с использованием ПВД марки 158030-020, ЛПВД марки UF1001DN и МК марки Filtracell со степенью наполнения до 40 объемных %. В качестве модифицирующего компонента использовали ОМЦ, представляющую собой адсорбент, содержащий в составе до 50 % растительных масел и

восков. БК с использованием крахмала (Кр) использовали в качестве объекта сравнения.

Соотношение компонентов в композиции, %(об.):

- ПВД : МЦ (степень наполнения $10 \div 40$);
- ПВД : ОМЦ (степень наполнения 30);
- ПВД : МЦ:ОМЦ ($70 \div (20 : 10)$; $(15 : 15)$ и $(10 \div 20)$);
- ПВД : Кр ($70 : 30$).

Реологическое поведение и термомеханическую деструкцию БК и МБК изучали с использованием капиллярного реометра Smart RHEO-1000 в диапазоне скоростей сдвига $100 \div 300 \text{ с}^{-1}$ в температурном интервале от 160 до 200 °С при использовании капилляров диаметром $d = 1,0$ мм длиной $l = 5,0$ и $30,0$ мм. Обработка данных осуществлялась с помощью программного обеспечения CeastVIEW 5.94 4D. В качестве стандартного реологического показателя использовали показатель текучести расплава (ПТР), который определяли по ГОСТ 11645-73 (ISO 1133) с помощью прибора ИИРТ-5.

Комплексный термический анализ проводили с использованием дериватографа марки Термоскан 01.

Ускоренное старение БК проводили по ГОСТ 32317-2012.

Подготовку и испытания БК И МБК при определении прочностных показателей осуществляли по ГОСТ 11262-80.

Прочностные показатели БК и МБК определяли в соответствии с ГОСТ 11262-80 на разрывной машине РМ-50.

Водопоглощение БК, в том числе модифицированных ОМЦ, определяли весовым методом по ГОСТ 4650-80.

Морфологические показатели: структура материала – цифровое микрофотографирование (Levenhuk D870T), плотность - ГОСТ 15139-69, шероховатость поверхности – по отношению \max и \min толщины.

Эффективность иммобилизации - весовым методом по приросту биомассы. Стойкость к химическим средам – по ГОСТ 12020-72.

В третьей главе изложены результаты исследований, экспериментальные данные и их обсуждение.

Анализ технических источников указывает, что компаундирование трудносовместимых полимеров необходимо проводить в двухшнековых агрегатах с предварительным смешением компонентов, при этом используют пластифицирующие и компатибилизирующие добавки для обеспечения перерабатываемости БК, но не ухудшающие при этом способности к водопоглощению, влагоудержанию, иммобилизации, биодеструкции, и т.п.

В табл. 1 представлены морфологические показатели БК и МБК, которые были получены в опытно-промышленных условиях при использовании двухшнекового экструдера.

Таблица 1. Основные морфологические показатели ПЭ и БК при степени наполнения 30 %(об.).

Показатель	Значение показателя композитов с содержанием			
	МЦ	ОМЦ	Кр	ПЭ
Пористость, %	56 ± 6	44 ± 2	48 ± 3	-
Шероховатость, мкм	3500±200	2200 ±200	2800 ±200	-
Кажущаяся плотность, кг/м ³	430 ± 15	595 ± 12	542 ± 10	860±5

На фотографиях (рис.1) отражено влияние ОМЦ на состояние поверхности БК, которое сопровождается более низкой пористостью и шероховатостью.

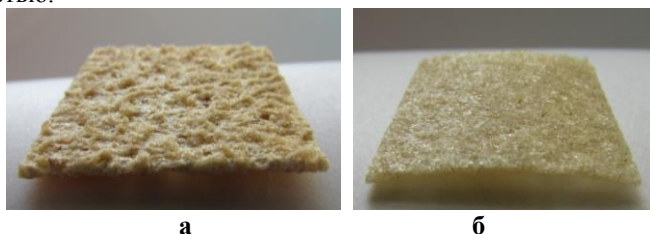


Рис. 1. Образцы композитного материала состава, об.% ПЭ : МЦ = 70 : 30 (а) и ПЭ : МЦ : ОМЦ = 70 : 15 : 15 (б)

Использование одношнековых экструдеров при компаундировании осложнено из-за неудовлетворительной перерабатываемости и высокой вязкости композитов, что отражено в табл. 2.

Таблица 2. Реологические показатели БК при различном содержании ПС

Показатели	Значение показателей БК при различном содержании МЦ и Кр, об.%				
	0	10	20	30	40
ПТР композиции с МЦ, г/10 мин, t = 160 °С	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4
эффективная вязкость расплава композиции с МЦ, Па·с/lg(η), при t = 160 °С, γ̇ = 100 с ⁻¹ , капилляр d/l = 1/5 мм	595/ 2,77	626/ 2,79	672/ 2,82	721/ 2,85	779/ 2,89

ПТР композиции с крахмалом, г/10 мин, $t = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$	2,1	Нет данных	1,68	1,12	0,85
эффективная вязкость расплава композиции с крахмалом, $\text{Па}\cdot\text{с}/\lg(\eta)$, при $t = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\gamma = 100\text{ с}^{-1}$, капилляр $d/l = 1/5\text{ мм}$	595/ 2,77		1050/ 3,02	1350/ 3,13	1800/ 3,26

Следует отметить, что введение в ПЭ жесткого наполнителя – МЦ способствует снижению адгезии между материалом и рабочими органами экструдера, и как следствие, проскальзыванию материала при экструзионной переработке.

Частичная замена (15 %,об.) МЦ на ОМЦ в БК позволяет повысить адгезию и снизить показатель эффективной вязкости более, чем на 20 %, что указывает на пластифицирующий эффект примесей, входящих в её состав: липидов, восков и т.п., что отражено в табл. 3.

При изучении реологического поведения БК с соотношением компонентов, об.% - ПЭ : МЦ = 70 : 30 было отмечено устойчивое течение расплава композиции в температурном диапазоне от 160 до 200 $^{\circ}\text{C}$ на капиллярах длиной 5 и 30 мм, что подтверждается инвариантностью кривых течения на графических зависимостях, представленных на рис.2. Введение МЦ в ПЭ не снижает термостабильности композита в параметрических диапазонах переработки полиолефинов, в отличии наполненного ПЭ термолabileм Кр, для которого установлен температурный предел переработки – 190 $^{\circ}\text{C}$.

Таблица 3. Реологические показатели композитов при частичной замене МЦ на ОМЦ* при соотношениях, %, об. ПЭ : (МЦ + ОМЦ) = 70 : (20 + 10*; 15 + 15* и 10 + 20*)

Показатель	Значение показателей при частичной замене МЦ на ОМЦ в БК при соотношении компонентов, %(об.) ПЭ : (МЦ + ОМЦ)			
	30	20 + 10*	15 + 15*	10 + 20*
ПТР, г/10 мин, $t = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,6	1,8	2,0	2,4
Показатель эффективной вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$, $t = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\gamma = 100\text{ с}^{-1}$	721	685	632	598

Примечание: * - содержание ОМЦ (об. %) в композиции

Проявление пластифицирующего эффекта при введении ОМЦ из расчета получения БК с соотношением компонентов, мас.% - ПЭ : МЦ : ОМЦ = 70 : 20 : 10, способствует снижению показателя эффективной вязкости более, чем на 15 %.

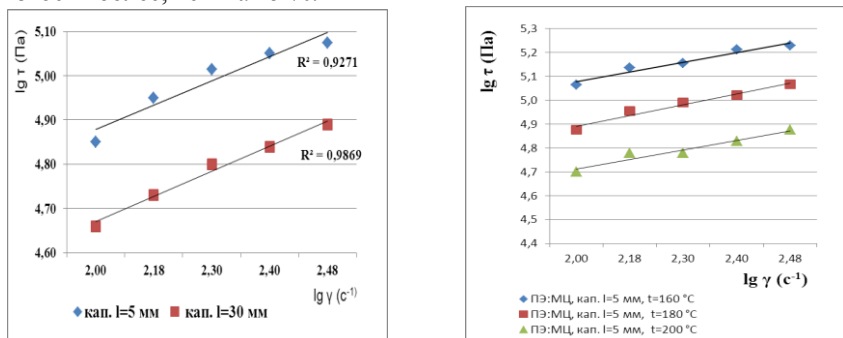


Рис. 2. Кривые течения БК с соотношением компонентов, об.% – ПЭ : МЦ = 70 : 30 при $T = 180 \text{ }^\circ\text{C}$ и деформировании через капилляры длиной 5,0 и 30,0 мм

Однако расположение зависимостей напряжений сдвига от скорости сдвига при температуре переработки $200 \text{ }^\circ\text{C}$ отличается от зависимостей, которые были получены при температуре $160 \text{ }^\circ\text{C}$ и $180 \text{ }^\circ\text{C}$, что отражено на рис.3.

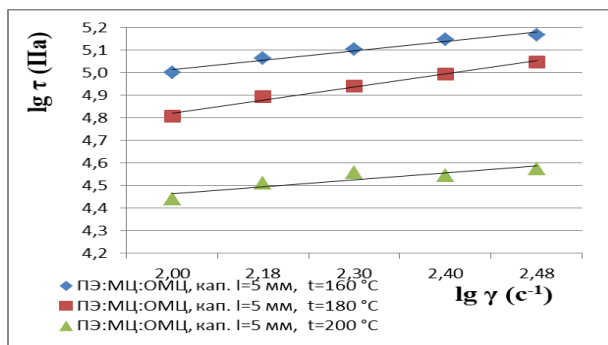


Рис. 3. Кривые течения БК с соотношением компонентов, об.% – ПЭ : ОМЦ = 70 : 30 при деформировании через капилляр длиной и $T = 160$; 180 и $200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Данное изменение характерно для «пробкового» течения, когда в материале при деформировании не наблюдается слоевого перемещения, а

выпотевающие низкомолекулярные компоненты из ОМЦ выполняют роль смазки. Отсюда следует, что температурная область переработки БК, содержащих ОМЦ, ограничена наличием низкокипящих примесей.

Для прогнозирования экструзионной переработки БК и МБК проведена коррекция Бегли и рассчитаны с помощью программы Vizard коэффициенты уравнений (табл.4), описывающих зависимости изменения истинного напряжения сдвига от скорости сдвига.

Таблица 4. Коэффициенты уравнения $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$, где y - $\log(PE)$, x - $\log(SR)$, описывающего зависимости изменения истинного давления от скорости сдвига

Состав композита, об. %	Коэффициенты уравнения		
	a_0	a_1	a_2
ПЭ : МЦ = 70 : 30	-2,8409	7,4054	-1,5432
ПЭ : МЦ : ОМЦ = 70 : 20 : 10	3,4134	1,5399	-0,2370

БК обладает довольно высокой термической стойкостью, деструктивные процессы наблюдались после достижения критической температуры свыше 200 °С, которые сопровождались появлением специфического запаха, потемнением экструдата и резким снижением вязкости, что отражено в табл.5.

Таблица 5. Показатели эффективной вязкости БК (70:30 % об.) в зависимости от времени воздействия критической температуры

Время действия температуры	Значение показателя эффективной вязкости, Па*с		
	ПЭ	ПЭ : МЦ	ПЭ : МЦ _{отр}
5 мин	220	317	132
10 мин	212	310	125
15 мин	198	247	111

На рис. 4 представлены температурно-временные области для БК, позволяющие спрогнозировать проявление термодеструкции при переработке.

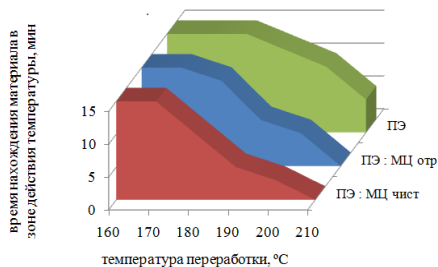


Рис. 4. Температурная-временная область переработки композитов

Изучение воздействия химических факторов (0,1 н раствора NaOH, H₂SO₄, CH₃COOH и H₂O) на изменение массы образцов БК показало, что для композитов с содержанием МЦ 30 % об. при вымачивании отмечается максимальная набухаемость во всех средах. Следует отметить, что для БК и основе Кр и ОМЦ отмечается сравнимый прирост массы, но который более чем в 3 раза меньше для композитов, содержащих МЦ.

Воздействие химических факторов на предел прочности при разрыве БК характеризуется сложным поведением, которое определяется структурными изменениями в полиэтиленовой матрице, в частности, степенью аморфотизации полиэтиленовой матрицы и набухаемостью полисахаридов, что отражено на рис. 5.

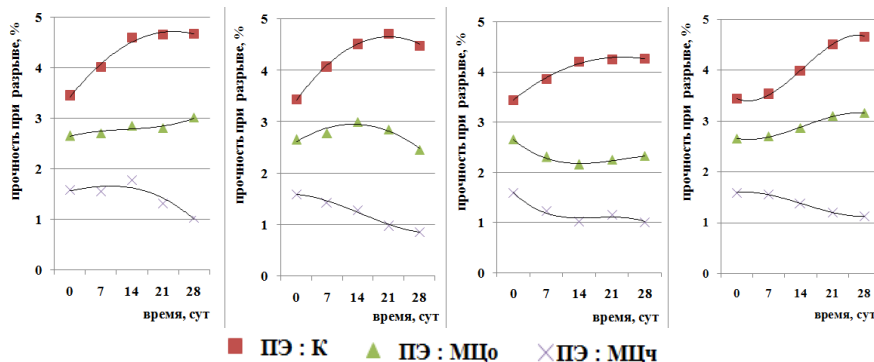


Рис.5. Влияние химических факторов на предел прочности при разрыве БК

Влияние абиотических факторов: солнечного УФ-излучения длительностью в 1 год, вымачивания в воде в течение 1 года, а также 5-кратной заморозки/разморозки отражено на рис. 6. Во всех случаях снижение прочности составило не более 7%, таким образом, разработанный

Композит можно рекомендовать к применению на реальных очистных сооружениях.

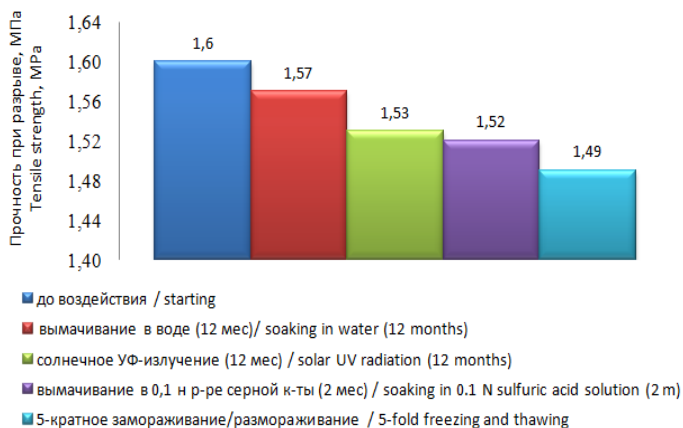


Рис. 6. Влияние абиотических факторов на показатель прочности БК при разрыве

Опытно-промышленные испытания в течении 1 месяца показали (рис.7), что прирост БК практически отмечается на одном уровне – $14,2 \pm 1,2$ % мас., при этом резко снижается прочность БК содержащей МЦ, что обусловлено высокой набухаемостью, и как следствие потерей прочности. Следует отметить, что МБК, содержащая ОМЦ, обладает более высокой прочностью и самоочищающей способностью.

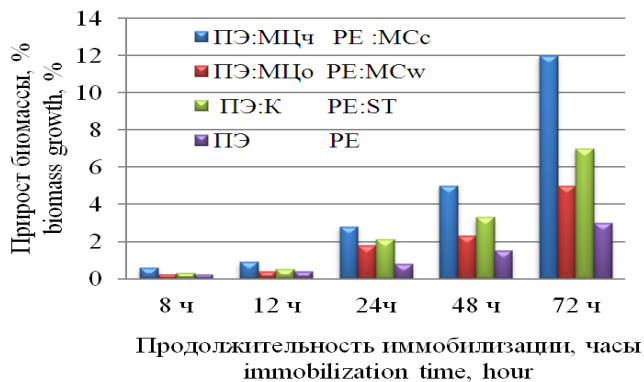


Рис. 7. Динамика иммобилизации активного ила

Исходя из комплекса технологических, прочностных и эксплуатационных свойств полученных композитов был предложен состав – ПВД : МЦ : ОМЦ = 70 : 15 : 15 об.%, что позволит обеспечить пластификацию расплава без снижения иммобилизационной способности композита с учетом прочности при набухании (см. рис.5 прочность в воде в течении 1 одного месяца БК более чем в 3 раза меньше в сравнении с МБК).

В условиях ООО «Вектор Полимир» и ООО «Трубы Черноземья» были проведены опытно-промышленные испытания с учетом экологической безопасности и выпущены опытные партии БК и МБК. Установлено, что газообразованию при экструзионной переработке способствует повышение температуры и реакционная среда рабочего объема оборудования. Возникающие критические напряжения сдвига в отсутствие окислителей и примесей способствуют механодеструкции, сопровождающейся образованием свободных радикалов, которые рекомбинируются с образованием более разветвленной структуры полимера. В свою очередь, высокая температура способствует деструкции в боковых звеньях полимера с образованием легколетучих продуктов, которые выделяются из реакционного объема.

Проведенные исследования и опытно-экспериментальные работы позволили разработать принципиальную технологическую схему производства МБК, позволяющего утилизировать ОМЦ (рис.8).

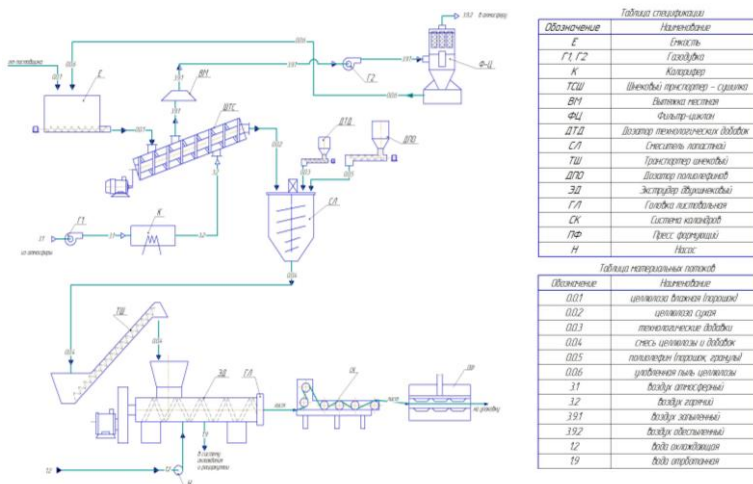


Рис. 8. Принципиальная технологическая схема получения биогазгрузки для биофильтрации стоков

МЦ из емкости хранения Е подается в шнековую транспортер-сушилку, в которой подсушивается горячим воздухом до влажности $1,0 \pm 0,2$ %, мас. (изначально микроцеллюлоза может иметь влажность до 15,0 %, мас. т.к. является гидрофильным материалом). Воздух для сушки нагнетается газодувкой Г и подогревается в калорифере К. Отработанный запыленный воздух от сушки местной вытяжкой ВМ подается в аппарат для очистки воздуха – фильтр-циклон, представляющий собой комбинацию циклона и рукавного фильтра. Подсушенная МЦ и ОМЦ с помощью дозаторов подаются в смеситель лопастной СЛ, где смешивается с ПВД. Приготовленная пастообразная смесь, соотношением компонентов, %, об. - ПВД : МЦ : ОМЦ = 70 : 15 : 15 шнековым транспортером в загрузочную воронку двухшнекового экструдера. Экструдер оснащен фильерной головкой, позволяющей формовать стренги диаметром 10,0; 15,0 мм и более, которые охлаждаются в водяной ванне и подвергаются гранулированию. В результате получают гранулированную биозагрузку необходимого размера.

Выводы:

1. Созданы научно-практические подходы получения и переработки БК при использовании трудносовместимых полимеров: ПЭ и МЦ для изготовления элементов биофильтрационной загрузки с высокой иммобилизационной способностью предварительным смешением и компаундированием в двухшнековом экструдере.

2. Предложен состав МБК, при соотношении компонентов, %, об. – ПЭ : МЦ : ОМЦ = 70 : 15 : 15, обеспечивающий эффективную переработку в экструзионном оборудовании, необходимые прочностные показатели в водной среде, высокую иммобилизационную способность активного ила и самоочищающую способность при биологической очистке.

3. Модификация БК с использованием ОМЦ не более 15 об.%, содержащей липиды, оказывает пластифицирующий эффект при экструзионной переработке и обеспечивает иммобилизационную способность биозагрузки.

4. Получено регрессионное уравнение и определены коэффициенты для БК и МБК, что позволит спрогнозировать переработку в высокоскоростном экструзионном оборудовании.

5. Создан методологический подход получения биофильтрационной загрузки, обладающей пористой структурой и иммобилизационной способностью, на основе серийного ПВД-158030-020 и порошкообразного МЦ марки Filtracell и ОМЦ.

6. Разработаны эколого-технологические подходы при получении МБК с повышенной иммобилизационной способностью по отношению к

микроорганизмам активного ила с учетом воздействия абиотических факторов и утилизации ОМЦ.

7. В производственных условиях ООО «Вектор Полимир» и ООО «Трубы Черноземья» апробирована технология получения БК и МБК и выпущены опытные партии композитов для изготовления биозагрузки.

Список опубликованных научных работ по теме диссертации.

Публикации в изданиях, индексируемых в базах цитирования SCOPUS:

1. Корчагин, В.И. Реологическое поведение бинарной полимерной композиции / В.И. Корчагин, Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова // Пластические массы. – 2019. – № 9 – 10. – С. 52 – 55.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и рецензируемых журналах:

2. Шелкунова, М.В. Разработка материала-носителя биомассы из высоконаполненного микроцеллюлозой ПВД / М.В. Шелкунова // Вестник ВГУИТ. — 2019. – № 3. – С.192 – 196.

3. Оценка эффективности иммобилизации активного ила на композитных материалах «полиэтилен: полисахариды» / Л.Н. Студеникина, Ю.Н. Дочкина, М.В. Шелкунова, В.И. Корчагин. // Вестник ВГУИТ. – 2018. – Т. 80. – № 4. – С. 356 – 360.

4. Технологические аспекты получения полимерной композиции для биофильтра с улучшенными иммобилизационными свойствами / Л.Н. Студеникина, А.В. Протасов, В.И. Корчагин, М.В. Шелкунова // Вестник ВГУИТ. – 2015. – № 1. – С.150 – 153.

5. Влияние внешних факторов на высоконаполненный полисахаридами полиэтилен / Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова, Ю.Н. Дочкина, [и др.] // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2019. – № 1. – С. 27 – 33.

6. Модификация полиэтилена микроцеллюлозой для повышения его иммобилизационной способности / Л.Н. Студеникина, В.И. Корчагин, М.В. Шелкунова, [и др.] // Вестник ВГУ. – 2018. – № 3. – С. 23 – 29.

Патенты:

7. Патент № RU 2682532 С1. Способ получения материала-носителя биомассы для биологической очистки сточных вод / Л.Н. Студеникина, А.В. Протасов, В.И. Корчагин, М.В. Шелкунова, Ю.Н. Дочкина ; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО «ВГУИТ» - №2018113477 ; заяв. 13.04.2018; опубл. 19.03.2019. – 13 с.

8. Патент № 2605714 РФ, МПК7. C02F 3/10. Способ получения загрузки биофильтра с иммобилизационными свойствами / В.И. Корчагин, Л.Н. Студеникина, А.В. Протасов, Т.В. Тарасевич, Л.В. Молоканова, М.В.

Шелкунова //заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГУИТ» па- патент на изобретение.-RUS 2605714; заявл.26.06.2015, опубл. 27.12.2016. – 7 с.

Статьи, рецензируемые в РИНЦ:

9. Композиты на основе термопластов с различным содержанием целлюлозы: новый подход к применению / Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова, Т.А. Куковьякина, [и др.] // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2019. – № 8. – С. 68 – 71.

10. Тенденции развития отрасли искусственной биологической очистки сточных вод / Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова, С.Ю. Домарева, [и др.] // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2019. – № 8. – С. 20 – 25.

11. Утилизация отработанной микроцеллюлозы при получении композитной загрузки биофильтра / Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова, В.Н. Жердев, М.С. Чудинов // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2018. – № 6. – С. 33 – 38.

12. Получение функциональных экобезопасных композитных материалов на основе термопластов / Л.Н. Студеникина, А.В. Протасов, М.В. Шелкунова, Р.С. Кудяев // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2018. – № 7.– С. 68 – 73.

13. Жердев, В.Н. Видовой состав активного ила из аэротенков ЛОС / В.Н. Жердев, Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2016. – № 2. – С. 34 – 39.

Материалы конференций:

14. Перспективы модернизации технологий биологической очистки сточных вод / Л.Н. Студеникина, В.И. Корчагин, М.В. Шелкунова, [и др.] // Перспективы развития биоэкономики: материалы VI Национальной научно-практической конференции. – Воронеж, 2019. – С. 84.

15. Разработка модифицированной загрузки для биологической очистки сточных вод /Л.Н. Студеникина, В.И. Корчагин, М.В. Шелкунова, [и др.] // Проблемы и инновационные решения в химической технологии ПИРХТ-2019: материалы всероссийской конференции с международным участием / Воронеж. гос. ун-т инж. техн. – Воронеж: ВГУИТ, 2019. – С. 312–313.

16. Студеникина, Л.Н. Реологическое поведение высоконаполненного микроцеллюлозой полиэтилена / Л.Н. Студеникина, Л.Н., Корчагин, В.И., Шелкунова, М.В. // Материалы LVII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2018 год : В 3 ч. Ч. 1. / под ред. О.С. Корнеевой; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2019. – С.105.

17. Оценка стойкости композитов «полиэтилен : полисахариды» к воздействию внешних факторов / Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова, Т.Е. Кудина, [и др.] // Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования : материалы Международной научно-практической конференции имени В.И. Вернадского. – Тамбов, 2019. – С. 226.

18. Влияние структуры композитных термопластов на иммобилизацию активного ила / Л.Н. Студеникина, В.И. Корчагин, М.В. Шелкунова, [и др.] // Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования: материалы Международной научно-практической конференции имени В.И. Вернадского. – Тамбов, 2019.- С. 356–360.

19. Студеникина, Л.Н. Иммобилизация активного ила на композитной загрузке биофильтра / Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова, В.И. Ступин // материалы LVI отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2017 год: В 3 ч. Ч. 1. / под ред. С.Т. Антипова; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2018. – С.116.

20. Разработка материала-носителя биомассы для биологической очистки сточных вод / В.И. Корчагин, Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова, Ю.Н. Дочкина // Комплексные проблемы техносферной безопасности : в сборнике статей IV международной научно-практической конференции. – Воронеж: ВГТУ, 2017. – С. 149–153.

21. Студеникина, Л.Н. Получение и применение новых полимерных композиций на основе отходов масложировой промышленности /Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова // Охрана окружающей среды в Воронежской области. – Нововоронеж, 2017. – С. 86 – 88.

22. Студеникина, Л.Н. Актуальность внедрения локальных систем очистки сточных вод на хозяйствующих субъектах / Л.Н. Студеникина, М.В. Шелкунова, В.И. Корчагин // Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития : в сборнике статей международной научно-практической конференции. – Москва, 2017. – С. 94-97.

Подписано в печать 27.10. 2021. Формат 60 x 84 1/16

Усл. печ. л.1. Тираж 100 экз. Заказ № 63

ФГБОУВПО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»
(ФГБОУВПО «ВГУИТ»)

Отдел оперативной полиграфии ФГБОУВПО «ВГУИТ»

Адрес университета и отдела полиграфии:

394036, Воронеж, пр. Революции, 19