



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ПЕРЕРАБОТКА. ПРИМЕНЕНИЕ. ЭКОЛОГИЯ. («Композит-2025»)

22-24 октября 2025 г.
X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



Энгельс 2025

*Посвящается 95-летию
СТГУ имени Гагарина Ю.А.*



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Энгельский технологический институт (филиал) Саратовского
государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.**

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.
ПЕРЕРАБОТКА. ПРИМЕНЕНИЕ. ЭКОЛОГИЯ.**

Материалы X Международной конференции

«Композит-2025»

22 – 24 октября 2025 г.

Энгельс 2025

УДК 678:677:621:544:5:3:001:004

ББК 2:3:6/8

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор Т.П. Устинова (отв. редактор)

доктор технических наук, доцент Е.В. Бычкова (зам. отв. редактора)

кандидат технических наук, доцент Н.В. Борисова (секретарь)

кандидат технических наук, доцент Н.Л. Левкина

доктор технических наук, профессор Н.Д. Соловьева

П27 Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология. Материалы Международной конференции «Композит-2025». Энгельс, 22-24 октября 2025 года. – Энгельс: Из-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2025. – 323 с.

ISBN 978–5–6049266–0–4

Сборник содержит публикации по фундаментальным и прикладным исследованиям в области полимеров и полимерматричных композитов различного функционального назначения, по вопросам разработки инновационных технологий и технических решений, обеспечивающих создание композиционных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами на основе неорганических и органических полимеров. В сборнике представлены статьи по использованию химических и электрохимических методов совершенствования функциональных свойств материалов и гальванических покрытий, изучению кинетики и механизмов процессов их получения, а также результаты исследований в области решения экологических проблем, технической безопасности и рециклингу отходов полимерных материалов. Завершается сборник блоком сообщений по актуальным вопросам высшего образования, а также социально-экономическим вопросам развития региона.

Сборник предназначен для студентов и аспирантов высших учебных заведений, научных и инженерно-технических работников различных отраслей науки, техники и промышленности, специализирующихся в области создания полимерных композитов, их переработки и применения.

УДК 678:677:621:544:5:3:001:004

ББК 2:3:6/8

Статьи публикуются в авторской редакции

ISBN 978–5–6049266–0–4

© ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2025

Содержание

Секция 1. Фундаментальные и прикладные исследования в области создания полимеров и композитов функционального назначения	8
<u>Аль Кхдер Х.А., Бесшапошникова В.И.</u> Разработка структуры и исследование свойств пакетов материалов мягкой бронезащиты	8
<u>Богданова В.В., Кобец О.И., Перевозникова А.Б.</u> Огнестойкость вспениваемых композитов в зависимости от физико-химических свойств термопластичного связующего и газо-коксообразующей системы	11
<u>Вассоф С.А., Бесшапошникова В.И., Калганова С.Г.</u> Разработка структуры и исследование свойств хлопко-арамидных тканей для спецодежды	14
<u>Виладчева Ю.Ю., Кудринская О.В., Асташкина О.В., Христофоров Д.Е.</u> Разработка углеродных волокнистых сорбентов, модифицированных наночастицами, и исследование их пористой структуры	17
<u>Дианкина Н.В., Ширшова Е.П.</u> Антифрикционные композиты на основе рециклированного углепластика: от отходов к функциональным материалам	20
<u>Дмитриев О.С., Маренков Н.Ю.</u> Математическое моделирование процесса отверждения изделий из полимерных композитов с сотовым наполнителем в автоклаве	23
<u>Колесников А.П., Бычкова Е.В.</u> Оценка сорбционно-десорбционных свойств полимерных сорбентов для определения легколетучих соединений в воздухе	25
<u>Лысенко В.А., Крисковец М.В.</u> Разработка и исследование углеродных волокон с низким удельным объемным электрическим сопротивлением на основе полиоксадиазола	30
<u>Любибогов А.А., Хамзина Д.А., Борисов С.В., Ваниев М.А.</u> Растворы фосфатов меди и аммония как антипиреирующие агенты для эпоксидных олигомеров	33
<u>Масталыгина Е.Е., Пантюхов П.В., Попов А.А.</u> Ускорение биодegradации при создании полимерных смесей и композитов	36
<u>Мостовой А.С., Щербаков А.С., Свиткина В.В., Бекешев А.З.</u> Исследование структуры и свойств пожаробезопасных вспененных эпоксидных композитов, модифицированных кирпичной пылью	39
<u>Мостовой А.С., Щербаков А.С., Свиткина В.В., Бекешев А.З.</u> Эпоксидные композиты на основе функционализированных аминокислотной кислотой алюмосиликатных микросфер: комплексное повышение прочности, термостойкости и экологической эффективности	43
<u>Нургазина А.С., Плакунова Е.В.</u> Исследование свойств эпоксидных композитов наполненных никельсодержащим шламом	47
<u>Полетаева А. Н., Капитанчук С. Е., Соловьева Д. Р.</u> Получение и исследование свойств композиционных материалов для упаковки колбасных изделий	51
<u>Прокофьев И. Г., Коваленко Г. М.</u> Поверхностные свойства полиэтиленовых огнестойких пленок, модифицированных различными антипиренами в виде мастербатчей и фторэластомером	55
<u>Сапронова Т.В., Бесшапошникова В.И.</u> Огнезащитная модификация шерстяных тканей для спецодежды металлургов	58
<u>Симбирцев Я.М., Борисова Н. В., Бычкова Е.В.</u> Сравнительный анализ галогенсодержащих полимерных покрытий для обеспечения антикоррозионной безопасности газопроводов	61
<u>Трифорова И.П., Подшивалова И.М., Бурмистров В.А.</u> Получение и свойства биоразлагаемых композитных пленок поликапролактон-модифицированный крахмал	67

Усачева М.Н., Вилкова С.А., Борисова Н.В. Мембранные ткани: свойства, качество, соответствие	70
Черемухина И.В. Багров А.В., Лазарева Е.Н., Черемухин В.А, Коваленко Е.А. Полимерные композиционные материалы на основе многокомпонентного связующего	77
Шуклин С.Г., Серебрянникова М.Э., Дрямина М.П. Разработка трудногорючего стеклопластика	81
Шуклин С.Г., Хамидуллина А.Р., Дрямина М.П. Разработка стеклопластика на основе вспучивающихся композиций	83
Секция 2. Приоритетные технологии, структура и свойства композиционных материалов на основе органических и неорганических полимеров	85
Алейникова Т.П., Селезнев А.А., Сафронов С.А., Навроцкий В.А. Композиционные материалы на основе полиэтиленов	85
Борисова Н.В., Волкова С.Е., Устинова Т.П. Исследование твёрдофазных растворов на основе ϵ -капролактама и полиакрилонитрильных волокнистых материалов	87
Вафина А.Р., Зенитова Л.А. Остеопластические материалы на основе кремнийорганических соединений на примере силоксанового каучука марки СКТН-Г и Аэросила-100	94
Воронина Н.А., Gladунова О.И. Влияние ультрафиолетового излучения на деградацию поверхности сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых волокон	98
Готлиб Е.М., Дутова В.С., Гимранова А.Р., Валеева А.Р. Цеолит содержащие наполнители эпоксидных полимеров	101
Жуков В.А., Магрицкий А.С., Разина Г.М. Модифицирование полимерного заполнителя с полыми стеклянными микросферами для улучшения удельных прочностных характеристик трёхслойных композитных конструкций	104
Зубова Н.Г., Устинова Т.П. Изучение стойкости эпоксипластов на основе технических нитей, модифицированных органосиланами, к действию химически активных реагентов	108
Кузнецов В.С., Сулхаев С.Т., Макарова А.Д., Гороховский А.В., Гоффман В.Г. Синтез гидрида титана для электродов накопителей энергии	111
Левкина Н.Л., Леонов Д.В., Устинова Т.П. Исследование эффективности применения окисленного графита для модификации полиамида-6 на стадии его синтеза	114
Лысенко В.А., Крисковец М.В., Яковлев С.А. Системное проектирование углеродных волокон на основе поливинилового спирта	120
Магрицкий А.С., Шогенов В.А., Авцынова И.В., Глазков А.А. Влияние использования флотации стеклянных полых микросфер при изготовлении сферопластиков аэрокосмического назначения на их физико-механические и реологические характеристики	123
Мазилев Р.А., Панов Ю.Т., Магрицкий А.С., Сеницын А.Ю. Исследования в области высокопрочных композиционных материалов с использованием связующих на основе полимочевины и полиуретана	127
Сафонов А.В., Дутова В.С., Готлиб Е.М., Рахматуллина А.П. Влияние свойств эпоксидных смол на адгезионные и технологические характеристики отвержденных полимеров на их основе	131
Тураев Т.А., Тронеv Н.С., Кардаш М.М., Терин Д.В. Особенности структуры и свойств ионообменных мембран «Поликон» при предварительной плазменной обработке волокон и форсированной поликонденсации в присутствии ультрадисперсного наполнителя	134

<u>Хамзина Д.А., Борисов С.В.</u> Влияние термопластичного полиуретана на структурообразование и механические свойства эпоксидных композитов	137
<u>Хапёрских С.А., Головина Е.А.</u> Влияние эластомера на шероховатость слоев древесно-волокнутого композита	141
<u>Христофорова И.А., Смирнов Е.А.</u> Особенности получения композитов на основе поливинилхлорида марки С70 и отходов вспененного полистирола	145
<u>Черепанова В.А., Широкова Е.С., Гринченко А.И.</u> Получение смесового термоэластопласта на основе бутадиен-нитрильного каучука и поливинилиденфторида	148
<u>Щегольков А.В., Малинкина В.О., Комаров А.В.</u> Разработка интеллектуального полимерного композита на основе гибридного наполнителя с управляемым сопротивлением	151
<u>Щегольков А.В., Ельцова В.А., Щегольков А.В., Ельцов Я.В.</u> Тензометрические преобразователи с повышенной чувствительностью на основе наномодифицированных композитов	155
<i>Секция 3. Современные технологии и разработка новых электрохимических покрытий</i>	158
Алфёров А.А., Брудник С.В., <u>Кочнева А.К.</u>, Яковлева Е.В., Яковлев А.В. Модификация электрохимически синтезированного оксида графена азотсодержащими соединениями	158
<u>Глухова С.А., Гоц А. А., Гоц И.Ю.</u> Электролизное борирование как метод повышения износостойкости хирургических инструментов	161
<u>Доронин И.А., Мурычев Г.А., Гоц И.Ю.</u> Оценка энергетических свойств поверхности алюминиевого сплава АМг2М при анодном оксидировании с последующим окрашиванием и уплотнением	164
Киреев С.Ю., <u>Поляков В.Н.</u>, Комиссаров А.В., Мельзитдинов Р.Р. Влияние блескообразующих и выравнивающих добавок на распределение медных осадков в полимерных композитных материалах для печатных плат	168
Киреев С.Ю., <u>Янгуразова А.З.</u> Кинетика электроосаждения сплава олово-цинк из щелочного электролита	171
Киреев С.Ю., Штепа В.Н., Шинкевич К.С, Крылов В.А., Камардина Н.В., <u>Маркина М.А.</u>, Балыбердин А. Обзор технологий синтеза феррата бария	174
Киреев С.Ю., <u>Янгуразова А.З.</u>, Киреева С.Н., Балыбердин А.С. Электроосаждение покрытий сплавом олово-цинк в различных режимах электролиза	178
Киреев С.Ю., Киреева С.Н., <u>Синенкова С.Р.</u>, Балыбердин А.С. Электроосаждение композиционных покрытий кобальт-карбид вольфрама и никель-карбид вольфрама в различных режимах электролиза	181
<u>Кобылко Д.А., Соловьева Н.Д.</u> Влияние состава электролита-суспензии, способа перемешивания на свойства композиционного электрохимического покрытия на основе никеля	184
<u>Мурыгина Е.Р., Кондрашов С. Г., Соловьёва Н.Д.</u> Индуцированное соосаждение сплава никель-молибден из кислого сульфатно-хлоридного электролита	188
<u>Панкратов И.С., Соловьева Н.Д., Ялымова Т.Ю.</u> Влияние изменения концентрации хрома в рабочем составе электролита при совместном осаждении цинка и хрома на коррозионную стойкость покрытия	192
<u>Пузаков А.В., Телегин С.В., Гоц И.Ю.</u> Адгезионное поведение полимерно-порошкового покрытия в зависимости от толщины и вида подслоя	196

Целуйкин В.Н., <u>Трибис А.И.</u>, Тихонов Д.А. Электрохимическое осаждение и свойства композиционных никелевых покрытий с углеродными нанотрубками	199
Секция 4. Техническая безопасность и экологические проблемы. Рециклинг отходов	203
<u>Бондаренко К.А.</u>, Политаева Н.А., Вельможина К.А., Шинкевич П.С. Современные подходы к очистке воды от микропластика с использованием полимерных материалов	203
<u>Васильева Л.Ю.</u>, Политаева Н.А. Методы переработки пластиковых отходов. Современные подходы и приоритеты на будущее	206
<u>Голов Д. А.</u>, Ольшанская Л. Н. Магнитосорбент на основе хитозана для очистки сточных вод от анионных ПАВ	209
<u>Горячкин П.Д.</u>, Щербина Н.А., Бычкова Е.В. Свойства полимерного композиционного материала на основе термореактивной матрицы и переработанного фосфогипса	216
<u>Ким В.С.</u>, Староконь И.В. Изучение локальных видов коррозии с целью обеспечения безопасной эксплуатации нефтепроводов	220
<u>Ким М.А.</u>, Уткина И.Ю. Анализ свойств аустенитно-ферритных сталей, используемых для оборудования в химической промышленности	224
<u>Киреев С.Ю.</u>, Штепа В.Н., Шинкевич К.С., Крылов В.А. Применение лабораторного генератора ферратов для удаления микропластика из водных сред	227
<u>Лазарева Е.Н.</u>, Ольшанская Л.Н., Жилина Е.В., Черемухина И.В., Липатова Е.К., Черемухин В.А., Лазарев Д.А. Обеспечение и повышение безопасности персонала предприятий при возникновении возгораний	231
<u>Маркина М.А.</u>, Киреев С.Ю., Камардина Н.В., Балыбердин А.С. Лабораторный генератор ферратов для малообъемных экспериментов	234
<u>Ольшанская Л.Н.</u>, Лазарева. Е.Н. Извлечение гидроксида никеля из гальваношламов для изготовления оксидно-никелевого электрода	238
<u>Петров И. Е.</u>, Христофорова И. А. Проблема утилизации и вторичного использования пенопластов	242
Петрова Д.А. Переработка текстильного полиакрилонитрила	245
<u>Саклакова Е.В.</u>, Некрытов П.С., Асташкина О.В. Необрастающие покрытия: от токсичной защиты к экологичным решениям	248
<u>Сипин О.Д.</u>, Панов Ю.Т., Потапочкина А.Ю., Носков А.В. Рециклинг отходов производства изделий из полиизоцианурата	251
<u>Трущелев А.В.</u>, Бычкова Е.В., Щербина Н.А. Пленочные композиты на основе биоразлагаемых полимеров и отходов производств	254
<u>Шеркузиев Д.Ш.</u>, Хамдамова З.Ш., Хамдамов Д.М. Фитотоксическое воздействие сульфат-ионов в промышленных сточных водах и современные технологии их снижения	257
<u>Шерматов А.Х.</u>, Шеркузиев Д.Ш. Получение фосфорных удобрений из промышленных вторичных кислот и их физико-химический анализ	260
<u>Щербакова Н.Н.</u>, Сержантов В.Г. Глауконитовые и стеклянные наполнители для создания впитывающего материала с бактерицидными свойствами	262

Секция 5. Современные проблемы и перспективы развития в образовании, управлении, экономике	267
Александров М.И., Иващенко М.А., <u>Серебряков А.В.</u> Некоторые аспекты преподавания раздела «линейное программирование» в техническом университете	267
<u>Дикун Н.А.</u>, Ермакова М.Л., Забудькова И.В. Повышение эффективности трудоустройства выпускников ВУЗа	269
<u>Епифанова Е.В.</u>, Зражевская Е.О. Выявление показателей, характеризующих качество образовательного процесса, его результаты и методы их измерения	273
Епифанова Н. Н. Коллективная деятельность и становление личности	277
<u>Ермакова М.Л.</u>, Дикун Н.А., Забудькова И.В. Сохранение трудовых кадров в регионе	280
<u>Забудькова И.В.</u>, Ермакова М.Л., Дикун Н.А. Развитие складской логистики как инфраструктурный фактор роста национальной экономики	283
<u>Зражевская Е.О.</u>, Семенова Т.В. Миграционная политика РФ: изменения в законодательстве как требование времени	287
Зражевская Е.О., <u>Семенова Т.В.</u> Социальные риски и вызовы миграционных процессов в России на современном этапе	294
<u>Никитич Т.О.</u>, Жилина Е.В. Защита информации на цифровых образовательных платформах	301
<u>Оськин М.А.</u>, Серебряков А.В. Изгиб круглой мембраны при ограничениях на прогибы. Метод локальных вариаций	305
<u>Петров В.И.</u>, Щербина Н.А., Вилянский А.М. Роль химических знаний в профилировании выпускника	308
Рыбников В.В. Перспективные полимерные композиционные материалы в спортивном инвентаре: экологичность и эффективность	312
<u>Рябов К.А.</u>, Серебряков А.В., Нагар Ю.Н. Итерационный метод решения матричной игры. Решение задачи линейного программирования путём сведения к эквивалентной матричной игре	315
<u>Стекольников М.В.</u>, Чельшева И.А., Милованова Л.Р. Расширение базового набора деталей развивающего конструктора «полиэдр»	318

УДК 628.543:66.095.3

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА ФЕРРАТОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА ИЗ ВОДНЫХ СРЕД

¹Киреев С.Ю., ²Штепа В.Н., ²Шинкевич К.С., ¹Крылов В.А.

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия

² Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрено применение лабораторного генератора ферратов (Fe(VI)) для решения экологических проблем, связанных с загрязнением водных сред микропластиком — продуктом деградации полимерных композитов и отходов. Разработанная модульная установка обеспечивает электрохимический синтез Fe(VI) in situ с выходом по току 78% при оптимальных параметрах (плотность тока 10 мА/см², рН 12, Т=25°С). Эксперименты продемонстрировали эффективность удаления микропластика (полиэтилен, 100 мкм) на уровне 75%, а также антибиотиков и красителей (86–96%). Технология способствует рециклингу полимерных отходов за счет их окислительной деградации до нетоксичных продуктов, минимизируя риски для экосистем. Используются

доступные методы анализа (спектрофотометрия, турбидиметрия). Перспективы — интеграция с IoT для мониторинга и возобновляемой энергией.

Ключевые слова: ферраты, микропластик, рециклинг отходов, экологическая безопасность, электрохимический синтез, очистка воды

APPLICATION OF A LABORATORY FERRATE GENERATOR FOR MICROPLASTIC REMOVAL FROM AQUEOUS MEDIA

¹Kireev S.Yu., ²Shtepa V.N., ²Shinkevich K.S., ¹Krylov V.A.

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Penza State University, Penza, Russia

²Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The article considers the application of a laboratory ferrate (Fe(VI)) generator to address environmental issues related to the contamination of aqueous media with microplastics — a degradation product of polymer composites and waste. The developed modular installation ensures electrochemical synthesis of Fe(VI) in situ with a current yield of 78% under optimal parameters (current density 10 mA/cm², pH 12, T=25°C). Experiments demonstrated the efficiency of microplastic removal (polyethylene, 100 μm) at 75%, as well as antibiotics and dyes (86–96%). The technology promotes the recycling of polymeric waste through their oxidative degradation to non-toxic products, minimizing risks to ecosystems. Accessible analysis methods (spectrophotometry, turbidimetry) were used. Prospects include integration with IoT for monitoring and renewable energy.

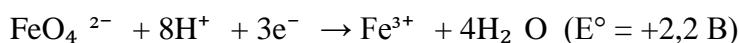
Keywords: ferrates, microplastic, waste recycling, environmental safety, electrochemical synthesis, water purification

Загрязнение водных экосистем микропластиком, возникающим при деградации полимерных композитов и отходов переработки, представляет одну из ключевых экологических угроз XXI века. Ежегодно в окружающую среду поступает более 100 тыс. тонн полимерных отходов, включая фрагменты полиэтилена и полипропилена, которые накапливаются в водоемах, нарушая пищевые цепи и способствуя токсичному воздействию на гидробионты [1, 2]. Традиционные методы рециклинга, такие как механическая сортировка или пиролиз, часто неэффективны для удаления микропластика из стоков из-за его коллоидных свойств и устойчивости к биodeградации. В этом контексте ферраты железа (Fe(VI)) привлекают внимание как многофункциональный реагент, сочетающий окисление, коагуляцию и дезинфекцию, что позволяет интегрировать процессы очистки с рециклингом полимерных отходов.

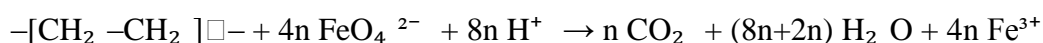
Лабораторный генератор ферратов, разработанный авторами, ориентирован на малообъемные эксперименты (50–200 мл) и обеспечивает синтез Fe(VI) in situ без токсичных побочных продуктов, таких как диоксины. Это решение соответствует принципам технической безопасности и устойчивого развития, минимизируя энергозатраты (до 1,2 Вт·ч/л) и используя доступные материалы (железная стружка Ст3). Цель работы — оценка эффективности генератора для удаления микропластика и сопутствующих загрязнителей

(антибиотиков, красителей), с акцентом на экологическую безопасность и рециклинг.

Ферраты (Fe(VI)) характеризуются высоким редокс-потенциалом (+2,2 В в щелочной среде), что обеспечивает окисление полимерных цепей микропластика по следующей упрощенной схеме:



Для полиэтилена ($-\text{[CH}_2-\text{CH}_2\text{]}_n-$) процесс деградации включает разрыв С–С связей с образованием CO_2 и H_2O :



Термодинамический расчет ($\Delta G^\circ \approx -210$ кДж/моль) подтверждает спонтанность реакции при концентрации Fe(VI) 3–5 мг/л [3]. Продукты восстановления — гидроксиды $\text{Fe}(\text{OH})_3$ — способствуют коагуляции фрагментов микропластика (>10 мкм), облегчая их осаждение и последующий рециклинг. В отличие от озонирования или хлорирования, Fe(VI) не формирует галогенированные токсины, обеспечивая экологическую безопасность.

Конструкция генератора включает анодный модуль с железной стружкой в перфорированном полимерном контейнере, катод из нержавеющей стали (площадь 50 см²) и брезентовую диафрагму для разделения пространств [4]. Электролит — 0,5–1 М NaOH (рН 12). Система регулировки позволяет варьировать плотность тока (5–20 мА/см²), температуру (20–40°C) и скорость потока (0,1–0,5 л/мин). Анализ Fe(VI) проводился спектрофотометрией ($\lambda=510$ нм, $\epsilon=1150 \text{ M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$), микропластика — турбидиметрией (OD_{600}).

Эксперименты проводились в модельных водных средах с добавлением микропластика (полиэтилен, фракция 100 мкм, 10 мг/л), амоксициллина (10 мг/л) и метиленового синего (10 мг/л). Синтез Fe(VI) осуществлялся при следующих параметрах: плотность тока 10 мА/см², рН 12, T=25°C, время обработки 15–30 мин. Объем пробы — 100 мл, скорость потока — 0,3 л/мин. Концентрация Fe(VI) контролировалась по калибровочному графику [5, 6].

Оптимальные режимы обеспечили выход Fe(VI) 78%, что на 15% выше, чем в статических системах [7]. Эффективность удаления загрязнителей представлена в таблице 1.

Таблица 1 — Эффективность удаления загрязнителей ферратами (концентрация Fe(VI)=3–5 мг/л, рН=12, T=25°C)

Загрязнитель	Время обработки, мин	Эффективность, %	Энергопотребление, Вт·ч/л
Микропластик (полиэтилен, 100 мкм)	30	75	1,2
Амоксициллин	30	86	0,8
Метиленовый синий	15	96	0,5
Дрожжевые клетки	20	94	0,7

Удаление микропластика достигнуто за счет окисления (разрыв полимерных цепей) и коагуляции $\text{Fe}(\text{OH})_3$, что позволяет собирать осадок для рециклинга (например, пиролиза в топливо). Для амоксициллина деградация β -лактамного кольца подтверждена снижением поглощения при 272 нм. Метиленовый синий разрушался на 96% ($\lambda=664$ нм), а дрожжевые клетки агрегировались на 94% (OD_{600}). Энергозатраты минимальны (0,5–1,2 Вт·ч/л), что делает технологию рентабельной для регионов с ограниченными ресурсами.

Ограничения: низкая производительность (0,5 л/ч) и необходимость замены диафрагмы в минерализованных стоках. Однако модульность установки позволяет адаптировать ее для полигонов рециклинга полимеров, интегрируя с IoT-датчиками для онлайн-мониторинга pH и концентрации $\text{Fe}(\text{VI})$.

Таким образом, лабораторный генератор ферратов обеспечивает экологически безопасный рециклинг полимерных отходов путем удаления микропластика из водных сред с эффективностью 75–96%. Технология минимизирует токсичные побочные продукты, снижая риски для экосистем, и соответствует принципам устойчивого развития. Перспективы — масштабирование с возобновляемой энергией и автоматизацией, что расширит применение в текстильной и фармацевтической отраслях для обработки стоков с полимерными загрязнителями.

Литература

1. Sharma, V.K. Ferrate(VI) oxidation of selected emerging contaminants: Application to advanced wastewater treatment / V.K. Sharma et al. // *Journal of Hazardous Materials*. – 2022. – Vol. 434. – P. 128886.
2. Безреагентная технология интенсификации процесса выращивания микрорзелени в аквапонных системах / В. Н. Штепа, С. Ю. Киреев, А. В. Козырь, А. Б. Шикунец // *Химическая технология*. – 2023. – Т. 24, № 5. – С. 194-200.
3. Kireev, S.Yu. Study of the Efficiency of Using an Electrochemical Module to Generate Ferrates while Treating Wastewater from Meat Processing Plants/ S.Yu. Kireev et al // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. – 2024. – Vol. 58, No. 2. – P. 469–474.
4. Лабораторный генератор ферратов: конструкция, режимы, эффективность / С. Ю. Киреев, В. Н. Штепа, С. Н. Киреева [и др.] // *Вестник Технологического университета*. – 2025. – Т. 28, № 4. – С. 69-75..
5. Исследование эффективности использования AOPs и активированного угля для очистки коммунальных сточных вод / В. Н. Штепа, С. Ю. Киреев, А. В. Козырь [и др.] // *Химическая технология*. – 2025. – Т. 26, № 5. – С. 190-200.
6. Lee, Y. Microplastic Degradation by Advanced Oxidation Processes/ Y. Lee et al. // *Water Research*. – 2024. – Vol. 250. – P. 121234.
7. Kovalakova, P. Oxidation of antibiotics by ferrate(VI) in water: Evaluation of their removal efficiency and toxicity changes/ P.Kovalakova et al. // *Chemosphere*. – 2021. – Vol. 277. – P. 130365.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ. ПЕРЕРАБОТКА. ПРИМЕНЕНИЕ. ЭКОЛОГИЯ.

Материалы Международной конференции

«Композит-2025» г. Энгельс
22 – 24 октября 2025 года

Редактор *Т.П. Устинова*

Компьютерная верстка *Н.В. Борисова*

Подписано в печать 02.12.2025.

Формат 60×84 1/16. Бумага офисная. Гарнитура Times New Roman. Печать RISO.
Объем 20,2 усл. печ. л. Тираж 100 экз.

ISBN 978-5-6049266-0-4

