

УДК 678.7/.8 : 691.175.51.8

А. С. ТУРОВЕЦ, А. Д. НОВИК (ПС-22)

Научный руководитель – канд. техн. наук *А. А. ВАСИЛЬЕВ*

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Рассмотрены возможности создания композиционных материалов из полимерных отходов. Приведена классификация полимерных отходов и их структура по видам полимеров. Представлена классификация наполнителей. Рассмотрена технология подготовки полимерной основы и методы формования композитов из вторичных полимеров. Приведены основные области применения композитов из вторичных полимеров. Рассмотрена сравнительная эффективность рециклинга. Приведены текущий и прогнозируемый уровни долей переработки полимерных отходов Российской Федерации и Республики Беларусь.

Проблема накопления полимерных отходов приобретает планетарный масштаб. В Российской Федерации уровень переработки остаётся крайне низким по сравнению с общим объёмом образования отходов. Последствия загрязнения наземных и водных экосистем, а также разложение пластика до микропластика создают прямую угрозу здоровью человека и биоразнообразию. В связи с этим простого захоронения или сжигания отходов недостаточно, что обуславливает необходимость поиска принципиально новых подходов – в частности, создания композиционных материалов на основе вторичного полимерного сырья.

Полимерные отходы классифицируются по происхождению на две группы: отходы производства и отходы потребления.

Отходы производства – технологические потери (брак, литники, обрезки) – отличаются высокой чистотой, известным химическим составом и минимальной деструкцией. Их переработка наиболее рентабельна.

Отходы потребления – изделия, вышедшие из употребления. Они подразделяются на отходы производственного потребления (шины, парниковая плёнка) и бытовые отходы (упаковка, посуда). Именно бытовые отходы, входящие в состав твёрдых коммунальных отходов (ТКО), составляют до 50–60 % всех полимеров и представляют главную экологическую проблему.

Ключевая технологическая сложность – смешанные и многослойные отходы (до 17 % ТКО), которые при переплавке образуют расслаивающийся, хрупкий материал.

Структура отходов по типам полимеров приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Структура полимерных отходов по типам полимеров

Тип полимера	Доля в отходах, %	Основные изделия
Полиэтилен (ПЭ)	34	Плѐнка, канистры, трубы
ПЭТФ	20	Бутылки, упаковка
ПВХ	14	Профили, трубы, изоляция
Полистирол	8	Посуда, упаковка
Полипропилен	7	Упаковка, автодетали
Прочие	17	Смешанные отходы

Наполнители подразделяют на минеральные, органические и техногенные. Они выполняют три функции: упрочнение, удешевление и придание специальных свойств.

Минеральные наполнители (мел, тальк, кварц, зола-унос, стеклобой) повышают жѐсткость, термостойкость и снижают усадку.

Органические наполнители (древесные опилки, лузга подсолнечника, костра льна) создают древесно-полимерные композиты (ДПК) – лёгкие материалы с эстетикой натурального дерева.

Техногенные наполнители (зола-унос ТЭС, резиновая крошка) решают проблему утилизации промышленных отходов.

Критическая проблема – несовместимость гидрофобной полимерной матрицы и гидрофильных наполнителей. Решением является поверхностная модификация аппретами (органоциланами), которые создают «мостики» между фазами, повышая прочность композитов на 40–50 %.

Технологическая цепочка подготовки полимерной основы представлена на рисунке 1, а ее параметры – в таблице 2.



Рисунок 1 – Технологическая цепочка подготовки полимерной основы

Таблица 2 – Параметры технологической цепочки подготовки полимерной основы

Этап	Параметры	Оборудование
Дробление	Фракция 5–15 мм	Шредеры, роторные дробилки
Мойка	60–85 °С, многоступенчатая	Фрикционные мойки
Сушка	Остаточная влажность 0,2–0,5%	Центрифуга + термосушка
Грануляция	Фильтрация 80–100 мкм	Экструдер с вакуумной дегазацией

Применяются различные методы формирования композитов из вторичных полимеров:

- экструзия – основной метод для профильных изделий (террасная доска, трубы). Двухшнековые экструдеры обеспечивают качественное смешение высоконаполненных композиций;

- экструзионно-прокатно-формовочная технология (ЭПФТ) – инновационный метод получения тонких листов с ориентацией макромолекул и улучшенными свойствами;

- литьё под давлением – для сложных изделий (корпуса, автодетали, тара). Требует контроля показателя текучести расплава (ПТР);

- горячее прессование – для крупногабаритных изделий (плиты, поддоны) и высоконаполненных композиций;

- 3D-печать – перспективное направление кастомизированного производства из вторичного филамента.

Основные области применения композитов из вторичных полимеров:

- строительство – террасная доска, фасадные панели, гидроизоляция, дорожные покрытия. Композиты с отходами TetraPak снижают себестоимость в 2–3 раза;

- автомобилестроение – детали интерьера, шумоизоляционные панели с натуральными волокнами;

- товары широкого потребления – садовая мебель, поддоны, контейнеры для ТБО.

Сравнительная эффективность рециклинга представлена на рисунке 2.

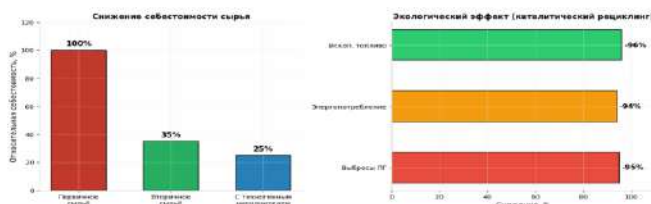


Рисунок 2 – Сравнительная эффективность рециклинга:

энергозатраты на рециклинг составляют менее 10 % от затрат на первичный синтез;

углеродный след снижается до 5 % при новых каталитических технологиях

Энергозатраты на рециклинг составляют менее 10 % от затрат на первичный синтез; срок окупаемости проектов – около 2 лет. Экологический эффект включает сокращение объема полигонов (в РФ захоронено ~ 82 млрд т отходов) и снижение углеродного следа (до 95 % выбросов при новых каталитических технологиях).

Текущий и прогнозируемый уровни долей переработки полимерных отходов Российской Федерации и Республики Беларусь приведены на рисунке 3.

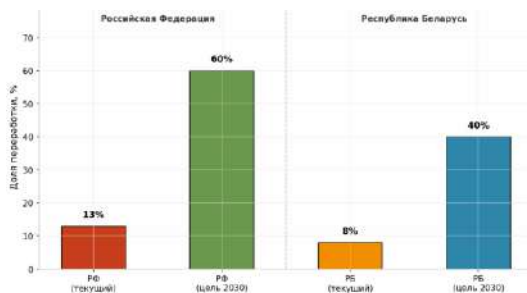


Рисунок 3 – Текущий уровень и целевые показатели доли переработки полимерных отходов

Композиты из отходов – это стратегическое направление формирования циркулярной экономики, соединяющее экологическую необходимость с промышленным развитием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Доклад «Состояние и перспективы развития рынка вторичных полимеров в России». – М. : Российский союз химиков, 2024.

Получено 20.05.2026

ISSN 2227-1155. Сборник студенческих научных работ.
Вып. 31. Гомель, 2026

UDC 629.4.083:004

A. V. FALEJCHIK (UD-11), V. D. PROKHORENKO (UA-11)
Supervisor – senior lecturer E. Y. MAKUTONINA

PREDICTIVE ANALYTICS (PREDICTIVE MAINTENANCE) OF LOCOMOTIVES = ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ (ПРОГНОЗНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ) В СИСТЕМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА

The rail industry, the backbone of global logistics and transportation, operates a vast network of infrastructure and rolling stock, with locomotives serving as the primary driving force. Traditionally, locomotive maintenance has relied on routine unscheduled repairs, major overhauls for scheduled restorations, or scheduled preventative maintenance (scheduled maintenance regardless of condition). While these methods serve their purpose, they are often ineffective, as roads can still cause unexpected downtime, disrupting schedules and incurring significant costs. Predictive analytics, also known as predictive maintenance,