

УДК 66.022.38

Е. Л. Антонова (viramaina3@yandex.by),
магистр товароведения, исследователь

В. Е. Сыцко (val19-10@mail.ru),
д-р техн. наук, профессор
Белорусский торгово-экономический
университет потребительской кооперации
г. Гомель, Республика Беларусь

ВНЕДРЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ УРОВНЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

В статье рассмотрена актуальная экономическая проблема использования и переработки полимерных материалов. Приведена информация о статистических данных Республики Беларусь об образовании отходов. Авторами было проведено исследование, целью которого было изучение влияния недорогих и общедоступных антипиренов на свойства древесно-полимерных материалов.

The article considers the actual economic problem of the use and processing of polymer materials. Information on the statistical data of the Republic of Belarus on waste generation is provided. The authors conducted a study aimed at studying the effect of inexpensive and publicly available flame retardants on the properties of wood-polymer materials.

Ключевые слова: отходы; полимеры; антипирены.

Key words: waste; polymers; flame retardants.

В настоящее время в мире наблюдается устойчивая тенденция увеличения исследований использования вторичных полимерных материалов в различных отраслях промышленности. В связи с увеличением объемов отходов производства предприятий, отходов объектов общественного питания, учебных заведений, бытового сектора особо значимым является изучение новых технологий переработки. Процесс получения вторичных изделий представляет собой измельчение и дальнейшее смешивание переработанных материалов в различных пропорциях.

В Беларуси утверждена Национальная стратегия развития экономики замкнутого цикла до 2035 г. Базовый принцип циркулярной экономики такой: добывай, производи, используй повторно. Одна из задач – увеличение уровня повторного использования твердых коммунальных отходов до 90%. Достичь такой высокой планки возможно только при условии внедрения прорывных технологий. Пример подает райцентр Круглое: на заводе по переработке вторичных ресурсов «Восточный» первыми в стране для сортировки твердых бытовых отходов стали использовать искусственный интеллект (ИИ). Речь о самых проблемных с точки зрения экологии отходах – полимерах.

Производственные площадки завода по переработке вторичных ресурсов «Восточный» расположены в Могилеве и в райцентре Круглое. Вторая – более масштабная: 17 тыс. м², 94 работника. Заводом ежегодно перерабатывается около 7 тыс. т полимерных отходов: ПЭТ-бутылки, отходы пластмасс, пленки. Сырье закупают у коммунальщиков со всей республики. Полимерных отходов около 200 видов, каждый из них требует особых условий переработки, поэтому качество конечного продукта во многом зависит от сортировки. К примеру, чтобы получать высокомаржинальную продукцию, ПЭТ-бутылки сортируют раздельно по цветам.

Главное преимущество нового аппаратного комплекса автоматической сортировки, созданного на основе искусственного интеллекта, видно невооруженным глазом. На старой линии работают 15 человек и сортируют отходы пластика вручную. На инновационном комплексе за всех работает робот. Нейросеть распознает объекты по заложенным в нее фотографиям с примерами образцов. Обучение ИИ происходит постоянно путем аккумуляции миллионов фо-

тографий потока отходов других заводов, в том числе российских. По прогнозам специалистов, срок окупаемости – год, а выпуск более качественной продукции повысит доходность по входящему сырью до 30%.

Инновационное предприятие – большое подспорье для небольшого райцентра с населением около 7 000 человек. В 2008 г. помещение под производство приобрели за одну базовую величину. А уже сегодня в объемах промышленного производства всего района доля предприятия – почти половина, в экспорте товаров – 28%. К примеру, из вторичного сырья создают пластиковые детали для белорусских тракторов, комбайнов, автомобилей. Данное предприятие единственное на постсоветском пространстве, которое производит мастербатч – концентраты красителей из вторичных полимеров. Здесь подготавливают сырье, смешивают с нужными добавками и присадками и получают качественный композит. Идет постоянное обновление оборудования. В рамках инициативы «Один район – один проект» была установлена новая линия гранулирования, которая дает вторую жизнь широкому спектру полимеров. На заводе «Восточный» первыми в стране реализовали инвестпроект по производству RDF-топлива из смеси полимеров. Отгружается продукция в ОАО «Красносельскстройматериалы».

За рубежом большинство компаний используют свои технологии и практический опыт применения вторичных композиционных материалов для изделий гражданских отраслей. В Республике Беларусь в большей степени используется импортное и дорогостоящее полимерное сырье. Разработка новых методов рециклинга вторичных полимеров внесет определенный вклад для национальной экономики страны. Развитие новых технологий переработки и их дальнейшего использования позволит реализовать ряд новых преимуществ, таких как снижение потребности промышленности в первичных ресурсах, снижение объемов выбросов и отходов производства, а также экономическая эффективность производства.

На рисунке показаны статистические данные отходов Республики Беларусь за 2020–2025 гг.

Образование отходов

на 28.07.2025						
	Единица	2020	2021	2022	2023	2024
Образование отходов по источникам						
Сельское хозяйство, лесоводство и рыболовство	1000 т/год	997,1	702,4	702,8	681,2	715,6
Горнодобывающая промышленность	1000 т/год	455,9	1 670,8	1 675,6	630,3	528,1
Обработывающая промышленность	1000 т/год	50 016,6	50 506,8	27 890,6	40 046,2	43 978,9
Снабжение электричеством, газом, паром и кондиционированным воздухом	1000 т/год	499,3	511,3	561,0	618,8	668,3
Строительство	1000 т/год	1 857,0	1 756,9	1 713,2	2 088,9	2 338,2
Другие виды экономической деятельности	1000 т/год	7 357,7	7 101,8	6 617,3	6 338,6	7 119,0
Всего образовано отходов производства	1000 т/год	61 183,4	62 250,0	39 160,5	50 404,0	55 348,1
Образование твердых коммунальных отходов	1000 т/год	4 070,4	3 970,2	3 994,3	3 982,6	4 263,0
Индикаторы качества окружающей среды						
Население страны*	миллионов человек	9,4	9,3	9,2	9,2	9,1
Отходы производства на душу населения*	кг / чел	6 522,8	6 691,7	4 243,6	5 491,6	6 060,5
Твердые коммунальные отходы на душу населения*	кг / чел	433,9	426,8	432,8	433,9	466,8
ВВП в текущих ценах	миллиардов рублей	149,7	176,9	193,7	218,0	246,6
Отходы производства на единицу ВВП	кг / млн рублей **	0,41	0,35	0,20	0,23	0,22
Твердые коммунальные отходы на единицу ВВП	кг / млн рублей **	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
ВВП по ППС в сопоставимых ценах (2021) по данным Всемирного банка на 01.07.2025	миллиардов международных долларов	250,7	256,9	244,9	255,0	265,2
Отходы производства на единицу ВВП	кг / тыс. международных долл.	244,0	242,4	159,9	197,7	208,7
Твердые коммунальные отходы на единицу ВВП	кг / тыс. международных долл.	16,2	15,5	16,3	15,6	16,1

Анализ рисунка со статистическими данными показывает, что общее количество отходов производства в 2020 г. составило 61 183,4 т/год, к концу 2024 г. – 55 348,1 т/год. Твердых коммунальных отходов в 2020 г. было образовано 4 070,4 т/год, к концу 2024 г. – 4 263,0 т/год [1].

Был проведен научный эксперимент, в котором были изучены физико-механические свойства полимеров с применением антипиренов. Была поставлена задача изготовления образцов из полипропилена (ПП) с добавлением таких антипиренов, как:

- гидроксид алюминия (ГОСТ 11841);
- гидроксид магния (ГОСТ 34444);
- борат цинка (ТУ 11307-015-91);
- меламин (ГОСТ 7579);
- полифосфат аммония (ГОСТ 12.1.007) [2].

При проведении эксперимента гранулы полипропилена были измельчены, затем смешаны с антипиренами в различном процентном соотношении. Далее состав высыпали в формы $15 \times 3,5$ см и под горячим прессом с температурой от 190 до 230 °С проводилось формование образцов. Плотность менялась от 15 до 50 ед. (0,7–2,2 Мпа), время прессования составляло 3–5 мин. В дальнейшем над полученными образцами проводились физико-механические испытания.

Над образцами были проведены физико-механические испытания. Были проверены прочность на изгиб (Н/мм²), модуль упругости (Н/мм²). Прочность при изгибе является мерой, которая показывает, насколько гибок материал, или какова жесткость материала. Характерными показателями материала, подверженного изгибающим нагрузкам, выступают значения максимального напряжения и деформации на наружной поверхности образца [3].

После проведенных физико-механических испытаний образцов сделан вывод, что наиболее прочными являются образцы с содержанием такого антипирена, как меламин. Прочность образца ниже при большом количестве добавок в смеси. Можно сделать выводы о необходимости корректировки процентного соотношения компонентов. Для каждого состава необходимы определенные условия прессования, такие как время, температура плавления и давление. Также сделан вывод, что наличие в смеси двух и более веществ будет способствовать достижению большего эффекта.

Систему управления отходами в стране необходимо совершенствовать: переход к зеленой экономике требует значительных инвестиций в разработку новых технологий, в основные средства действующих предприятий для перехода на использование вторичного сырья, а также на поддержку предприятий переработчиков.

Список использованной литературы

1. **Отходы** полимеров в Республике Беларусь // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <http://www.belstat.gov.by/> (дата обращения: 09.02.2026).
2. **Халтуринский, Н. А.** Горение полимеров и механизмы действия антипиренов / Н. А. Халтуринский, А. А. Берлин, Т. В. Попова // Успехи химии. – 1984. – № 2. – С. 53.
3. **Физическая** химия полимерных композиций / под ред. Ю. С. Липатова. – Киев : Наукова думка, 1974. – 184 с.
4. **Макнил, И. К.** Полимерная наука / И. К. Макнил // Химическое издание. – 1978. – № 16. – С. 95.
5. **Сычко, В. Е.** Рециклинг полимерных материалов как основа экологической безопасности / В. Е. Сычко, Е. Л. Антонова // Эффективность сферы товарного обращения и труда : сб. науч. ст. IX Писаренковских чтений, Гомель, 26 окт. 2023 г. / Бел. торгово-экон. ун-т потреб. кооп. ; под науч. ред. Т. В. Гасановой, А. З. Коробкина ; редкол.: С. Н. Лебедева [и др.]. – Гомель, 2023. – С. 84–87.