

УДК 678.024

**О. И. Карпович, М. М. Ревяко, Е. З. Хрол, А. В. Дубина**  
Белорусский государственный технологический университет

### **СОСТАВ И СТРУКТУРА ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ОАО «БЕЛЦВЕТМЕТ»**

Определены состав и параметры структуры полимерсодержащих отходов, образующихся в ОАО «Белцветмет» в результате механической разделки отработавших автомобильных аккумуляторных батарей. Установлено, что отходы характеризуются значительной неоднородностью по составу и размерам. Получены данные о количестве компонентов, входящих в состав отходов, и массовом содержании этих компонентов. Для идентификации компонентов использовали методы ИК-спектроскопии и дифференциально-сканирующей калориметрии. На основании массового содержания компонентов установлена возможность использования отходов для изготовления композиционных материалов в качестве связующего и наполнителя. Определен гранулометрический состав отходов до и после измельчения на фрезерной дробилке. Установлены насыпная плотность и влагосодержание измельченных отходов. Показана необходимость измельчения и сушки отходов перед переработкой в изделия.

**Ключевые слова:** полимерсодержащие отходы, аккумуляторные батареи, состав, структура, гранулометрический состав, насыпная плотность, влагосодержание.

**O. I. Karpovich, M. M. Revyako, E. Z. Khrol, A. V. Dubina**  
Belarusian State Technological University

### **COMPOSITION AND STRUCTURE POLYMER WASTE ОАО “BELTSVETMET”**

Composition and structure parameters of polymer waste generated in corporation “Beltsvetmet” resulting from the processing of automotive batteries were determined. It has been established that the waste characterized by considerable heterogeneity in composition and size. Data were obtained on the number and weight of components that are part of the waste. To identify the components have been used by IR spectroscopy and differential scanning calorimetry. On the basis of the mass of components has been found possible use for the manufacture of composite waste material as a binder and a filler. Was determined by grading the waste before and after grinding mill for milling. Were determined bulk density and moisture content of the crushed waste. Was shown the need for grinding and drying before processing waste into products.

**Key words:** polymer waste, batteries, structure, composition, particle size distribution, bulk density, moisture content.

**Введение.** В последние годы для Республики Беларусь становится все более актуальной проблема утилизации промышленных и бытовых отходов, содержащих термопластичные полимеры. Это обусловлено увеличением объемов полимерных отходов, а также растущими ценами на полимерные материалы. Так, за последние 5 лет стоимость термопластичных полимеров крупнотоннажного производства на мировом рынке возросла в 2,0–2,5 раза. Повысились и цены на вторичные материалы.

Одно из основных направлений государственной политики Республики Беларусь относительно вопросов экологической безопасности – развитие технологий переработки отходов. В нашей стране имеются отрасли экономики, заинтересованные в расширении промышленного использования вторичных полимерных материалов. В изделия перерабатывается лишь незначительная часть отходов, в первую очередь – промышленные и достаточно однород-

ные отходы, имеющие известные и вполне стабильные технологические и эксплуатационные свойства. В то же время большая часть некондиционных полимерных отходов – смешанных промышленных и бытовых – не используется, но может стать дешевым сырьем для изделий неответственного назначения и найти применение, в частности в строительстве, в сельском и коммунальном хозяйстве. Однако переработка смешанных некондиционных полимерных отходов сопряжена с повышенными трудовыми и энергетическими затратами, увеличивающими себестоимость изделий и снижающими их конкурентоспособность [1].

Так, одним из перспективных экологических проектов, реализованных в ОАО «Белцветмет», является переработка отработавших автомобильных аккумуляторных батарей. В конце 2009 г. для этой цели было введено в строй современное оборудование, на котором аккумуляторы разделяются не вручную,

а механическим способом на составляющие фракции. На переработку принимают батареи вместе с электролитом, который собирается на всех стадиях производства. При переработке батарей образуются также смешанные полимерные отходы, которые пока не находят применения. На данный момент существует значительное количество производителей аккумуляторных батарей, которые используют для их изготовления различные полимерные материалы [2]. Это приводит к тому, что состав образующихся на предприятии отходов существенно неоднороден. Для оценки возможности переработки таких отходов в изделия необходимы, прежде всего, сведения об их составе и структуре, которые на данный момент отсутствуют.

Цель работы – определение состава и структуры полимерсодержащих отходов, образующихся в результате разделки отработавших автомобильных аккумуляторных батарей в ОАО «Белцветмет».

**Основная часть.** Исследованы отходы двух типов, предоставленные ОАО «Белцветмет»:

1) отходы, которые образуются в результате разделки корпусов аккумуляторных батарей (далее КАБ);

2) полимерсодержащие отходы, которые образуются в результате разделки внутренней части аккумуляторных батарей (далее ПОАБ).

Отходы КАБ (рис. 1) визуально представляют собой преимущественно цветные куски пластика, характеризующиеся значительной неоднородностью по размерам и форме (от 2 до 17 см). Отходы в незначительном количестве также содержат полимерную пленку, полимерные жгуты и нити, резину, древесину, полимерные этикетки, стеклянный войлок.



Рис. 1. Общий вид отходов КАБ

Отходы ПОАБ (рис. 2) визуально представляют собой преимущественно отрезки темно-серой пленки, характеризующиеся значительной неоднородностью по размерам (длина от 2 мм до 30 см, ширина от 2 мм до 4 см). Встречаются также достаточно крупные (до 3 см) куски эбонита, куски пластика, полимерная пленка, полимерные жгуты и нити, полимерные этикетки, свинец, стеклянный войлок, резина.



Рис. 2. Общий вид отходов ПОАБ

Значительная неоднородность исходных отходов КАБ (табл. 1) и ПОАБ по размерам, наличие крупных частиц обуславливает необходимость их измельчения перед использованием в процессах формообразования изделий.

Для исследования состава и структуры исходных отходов КАБ и ПОАБ навески отходов (не менее 5 кг) вручную разделяли на отдельные компоненты. Идентифицировали компоненты методом ИК-спектроскопии на ИК-Фурье спектрометре NEXUS E.S.P. (Thermo Scientific, США) по плотности, температуре плавления, по поведению при воздействии открытого пламени. Температуру плавления для термопластичных компонентов определяли по методу дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) на термоаналитической системе TGA/DSC-1/1600 HF (METTLER TOLEDO Instruments, Швейцария), а также используя прибор для определения показателя текучести расплава ИИРТ-А. Содержание компонентов в навесках отходов определяли путем их взвешивания на лабораторных весах с точностью до 0,1 г.

Плотность отходов КАБ и ПОАБ определяли методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 15139–69. В качестве рабочей жидкости использовали спирт этиловый.

Таблица 1

**Гранулометрический состав исходных отходов КАБ**

Эквивалентный размер частиц $d_{\text{экв}}$ , мм	До 15,6	От 15,6 до 21,2	От 21,2 до 26,7	От 26,7 до 33,7	Более 33,7	Отходы в виде пленки
Содержание фракции, %	4,9	18,8	15,9	37,3	22,0	1,1

Высокое влагосодержание в полимерных материалах может приводить к ухудшению физико-механических и эксплуатационных свойств. Перед переработкой таких материалов в изделия следует определить необходимость сушки и предпочтительный режим сушки. Влагосодержание отходов КАБ и ПОАБ определяли высушиванием до постоянной массы при температуре  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Для контроля равномерности структуры материалов различных партий, а также для расчета заправляемого объема оснастки и бункеров машин, применяемых для переработки в изделия, необходим показатель насыпной плотности, который определяли по ГОСТ 11035.1–93 как отношение массы материала к его объему.

Исходные отходы КАБ и ПОАБ измельчали на дробилке БЗС 0090 М производства ЗАО «Атлант». Гранулометрический состав измельченных отходов определяли методом ситового анализа на ситовом анализаторе Вибростенд ПЭ-6700.

Массовое содержание компонентов в составе отходов КАБ приведено в табл. 2. В составе отходов КАБ больше всего (более 90%) содержится полипропилена. Согласно источнику [2], для изготовления корпусов аккумуляторных батарей чаще всего используют полипропилен, реже АБС-пластик. Всего плавких (термопластичных) компонентов в составе КАБ более 97%, неплавких менее 3%. Таких материалов, как резина, древесина, стекловолокно, полиэтилен высокого давления, поливинилхлорид, содержится менее 1%.

Таблица 2

**Массовое содержание компонентов в составе отходов КАБ**

Материал	Массовое содержание, %
Полипропилен	91,8
АБС-пластик	5,8
Сшитый полиэтилен высокого давления	1,7
Резина	0,5
Древесина	0,2
Стекловолокно	0,02
Полиэтилен высокого давления	0,02
Поливинилхлорид	0,01

Массовое содержание компонентов в составе отходов ПОАБ приведено в табл. 3. В составе отходов ПОАБ больше всего (около 80%) содержится сшитого полиэтилена высокого давления, который при переработке не плавится. Всего неплавких компонентов в составе ПОАБ около 90%, плавких (термопластичных) около 10%. Это свидетельствует о том, что данные отходы можно использовать только как наполнитель. Таких материалов, как резина, стекловолокно, полиэтилен высокого давления, находится менее 1%. Также в составе ПОАБ содержится свинец в количестве до 1%.

Таблица 3

**Массовое содержание компонентов в составе отходов ПОАБ**

Материал	Массовое содержание, %
Сшитый полиэтилен высокого давления	78,3
Эбонит	9,9
Поливинилхлорид	6,4
АБС-пластик	3,1
Полипропилен	1,0
Свинец	0,7
Стекловолокно	0,4
Полиэтилен высокого давления	0,1
Резина	0,1

Гранулометрический состав отходов КАБ и ПОАБ после измельчения в дробилке представлен в табл. 4. Видно, что максимальные размеры частиц отходов после дробления не превышают 10 мм. Размеры наибольшего количества частиц лежат в пределах 2–5 мм. Частицы (гранулы) таких размеров чаще всего используются в процессах переработки полимерных материалов.

Средняя плотность измельченных отходов КАБ составляет  $0,88 \text{ г/см}^3$ , средняя плотность измельченных отходов ПОАБ –  $1,38 \text{ г/см}^3$ . Значение показателя насыпной плотности для измельченных отходов КАБ составляет  $0,28 \text{ г/см}^3$ , для измельченных отходов ПОАБ –  $0,18 \text{ г/см}^3$ .

Влагосодержание измельченных отходов КАБ составило 0,25%, для отходов ПОАБ – 1,25%. Полученные данные превышают допустимое содержание влаги в полипропилене, равное 0,1%, что свидетельствует о необходимости сушки материала перед вторичной переработкой.

Таблица 4

**Гранулометрический состав измельченных отходов КАБ и ПОАБ**

Эквивалентный размер частиц $d_{\text{экв}}$ , мм	Менее 0,63	От 0,63 до 1,1	От 1,1 до 2,0	От 2,0 до 5,0	От 5,0 до 10,0
Содержание фракции для отходов КАБ, %	2,4	1,6	11,0	81,1	3,1
Содержание фракции для отходов ПОАБ, %	8,1	3,8	19,4	51,6	17,1

**Заключение.** Исследованы состав и структура полимерсодержащих отходов, предоставленных ОАО «Белцветмет». Отходы характеризуются значительной неоднородностью по составу и размерам. В них входят полимерные куски, полимерная пленка, полимерные жгуты и нити, резина, древесина, полимерные этикетки, стеклянный войлок, эбонит, свинец. При изготовлении изделий отходы КАБ можно использовать как полимерное связующее, так как

в их составе больше всего термопластичных компонентов, а отходы ПОАБ – в качестве наполнителя, так как в их составе больше всего неплавких компонентов.

Для переработки в изделия из-за значительной неоднородности частиц исходных отходов по размерам их необходимо дробить и сушить.

Полученные данные можно использовать для проектирования технологических процессов переработки полимерсодержащих отходов.

### Литература

1. Формование изделий из некондиционных отходов термопластов / Ставров В. П. [и др.] // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 нояб. 2010 г.: в 2 ч. Минск: БГТУ, 2010. Ч. 1. С. 22–25.
2. Хрусталеv Д. А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003. 224 с.

### References

1. Stavrov V. P., Karpovich O. I., Kalinka A. N., Gavris S. V. [Molding with substandard waste thermoplastics]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Resurso- i energosberegayushchiye tekhnologii i oborudovaniye, ekologicheski bezopasnyye tekhnologii)* [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Resource and energy saving technologies and equipment, environmentally friendly technologies)]. Minsk, 2010, pp. 22–25 (in Russian).
2. Khrustalev D. A. *Akkumulyatory* [Batteries]. Moscow, Izumrud Publ., 2003. 224 p.

### Информация об авторах

**Карпович Олег Иосифович** – кандидат технических наук, доцент кафедры механики материалов и конструкций. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: karpovich@belstu.by

**Ревяко Михаил Михайлович** – доктор технических наук, профессор кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tnsippm@belstu.by

**Хрол Евгений Зенонович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tnsippm@belstu.by

**Дубина Антон Владимирович** – магистрант кафедры механики материалов и конструкций. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: 7065667@gmail.com

### Information about the authors

**Karpovich Oleg Iosifovich** – Ph. D. Engineering, associate professor, Department of Mechanics of Materials and Constructions. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: karpovich@belstu.by

**Revyako Mikhail Mikhailovich** – Ph. D. Engineering, professor, Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tnsippm@belstu.by

**Khrol Evgeniy Zenonovich** – Ph. D. Engineering, senior lecturer, Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tnsippm@belstu.by

**Dubina Anton Vladimirovich** – undergraduate student, Department of Mechanics of Materials and Constructions. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: 7065667@gmail.com

Поступила 19.02.2015