

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ТЕРМОПЛАСТА И ЦСП

П. С. Беляев<sup>1</sup>, О. С. Примеров<sup>1</sup>, А. В. Савин<sup>2</sup>

*Кафедра «Материалы и технология», ФГБОУ ВО «ТГТУ» (1);  
АО «ТАМАК» (2), г. Тамбов, Россия;  
polymers@asp.tstu.ru*

**Ключевые слова:** композит; отходы термопластов и цементно-стружечных плит; смеситель Брабендера; технологический процесс.

**Аннотация:** Рассмотрена задача утилизации отходов термопластов и цементно-стружечных плит (ЦСП). Проведены экспериментальные исследования по определению влияния технологических параметров процесса переработки на качественные показатели получаемого композита. Установлено, что полученный композит обладает повышенными физико-механическими свойствами и может быть использован при производстве изделий технического или строительного назначения. Утилизация отходов термопластов и ЦСП позволит улучшить экологическую безопасность региона, сократить площади полигонов для захоронения отходов и потребление первичного полимерного сырья.

---

В результате антропогенной деятельности образуются отходы, среди которых отходы пластмасс занимают особое место в силу своих специфических свойств. Производство пластических масс на современном этапе развития возрастает в среднем на 5–6 % ежегодно и к 2018 г., по прогнозам, достигнет 470 млн т. Сфера обращения с отходами в России выглядит следующим образом: 5 % отправляются на переработку, 10 % – на полигоны, отвечающие экологическим требованиям, а 85 % попадают на объекты, которые не обеспечивают экологическую безопасность [1].

Существует два, принципиально отличающихся друг от друга, подхода к проблеме утилизации отходов. Первый из них заключается в сжигании отходов или размещении на специально отведенных для этих целей участках – полигонах или свалках. Другой подход предполагает переработку (рециклинг) отходов и получение вторичного сырья или новых композиционных материалов [2 – 6].

Одним из способов решения проблемы создания качественных полимерных материалов и изделий из вторичных полимеров является их модификация. Большой научный и практический интерес представляет создание наполненных полимерных материалов на основе вторичного полимерного сырья. Использование полимерных материалов из вторичного сырья, содержащих до 70 % наполнителя, позволяет высвободить до 40 % первичного сырья и направить его на производство ответственных изделий.

В качестве наполнителя полимерных материалов рассмотрим отходы одного из распространенных строительных материалов – цементно-стружечных плит (ЦСП) [7]. Ежегодный объем производства этих изделий только в Тамбовской области составляет около 54 тыс. м<sup>3</sup>. При обрезке кромок готовых листов образуется достаточно большое количество отходов, представляющих собой древесно-цементную пыль различных фракций, доля которого составляет 5 – 10 % от общего

объема производства ЦСП. Годовой объем этих отходов превышает 5 тыс. м<sup>3</sup>. Транспортировка и хранение отходов – крайне затратное мероприятие, так как они занимают большие площади на полигонах [4, 7, 8].

Учитывая состав и дисперсность этих отходов (до 0,35 мм – 80 %), можно предположить их использование в качестве сырья для производства строительных материалов. Предприятия-производители ЦСП используют до 25 % образовавшихся отходов в качестве компонентов для производства мелких блоков, однако качество получаемых изделий можно оценить как низкое.

Возможными областями применения наполнителя – цементно-древесной смеси (ЦДС) из отходов производства ЦСП могут быть композиционные строительные материалы, в частности, пригодные для изготовления тротуарных плиток, черепицы, колодезных люков, декоративных оградок. Композиционный материал также используют при изготовлении электроизоляционных и электроустановочных изделий, ручек электроинструментов и др.

В качестве компонентов для создания строительных материалов предлагается использовать отходы полимеров (полистирола, полипропилена, полиэтилена высокого и низкого давления) и отходы производства ЦСП.

Проведены исследования технологического процесса получения композитов из отходов термопластов и ЦСП, включающего следующие этапы:

- 1) дозирование компонентов;
- 2) перемешивание в смесителе Брабендера;
- 3) формование изделий, охлаждение и выталкивание из формы.

Технологический процесс осуществлялся следующим образом: отходы термопластов с содержанием посторонних примесей не более 5 % подвергаются сортировке, в процессе которой из них удаляют случайные инородные и металлические включения и выбраковывают сильно загрязненные куски.

Делались навески полимера и наполнителя с различным соотношением компонентов: ЦДС – 50 – 80 %, полимер – остальное. Камера смесителя нагревалась до температуры получения однородной пластичной массы,  $T_{нагр} = 100...350$  °С (зависит от применяемых полимеров).

Подготовленные отходы и наполнитель загружались в рабочую камеру смесителя, где вращающиеся на малых оборотах рабочие органы под действием сдвиговых напряжений и сил адгезии затягивали их. Далее затвором закрывалось загрузочное отверстие, и устанавливали частоту вращения рабочих органов в пределах 30...90 об/мин. Смешение происходило в течение 5...15 мин. После остановки рабочих органов, проводилась выгрузка полученной смеси.

Далее смесь закладывалась в пресс-форму с рабочими размерами 250x250 мм. Прессование происходило в течение 3...5 мин при температуре 150...250 °С. После прессования форма остывала в течение 10...15 мин. (охлаждение может быть естественным и искусственным, например, в охлаждаемой и неохлаждаемой пресс-форме). Охлаждение естественным способом занимает намного больше времени, чем искусственным. Далее полученное изделие, с размерами 100x100x8, выталкивалось из формы.

Смеситель (рис. 1) состоит из камеры смесительной 5, загрузочного устройства, станины с приводом, включающим электродвигатель 2, муфту 3, фрикционные шестерни 4 и шкафа управления 1. Смесительными органами являются два ротора 6 специального профиля, установленные в корпусе камеры консольно и вращающиеся в противоположные стороны. Опорами ротора являются подшипник скольжения и два подшипника качения. Вращение роторов осуществляется через мотор-редуктор 2, связанный муфтой 3с валом приводного ротора; второй ротор получает вращение от приводного ротора через зубчатую передачу 4 с передаточным отношением 1, 5.

Полученные образцы композита испытывались в лаборатории АО «ТАМАК» по ГОСТ 26816–86 «Плиты цементностружечные. Технические условия».

*Средства испытаний:* испытательная машина «FRANK» зав. № 3050017023; штангенциркуль с цифровым отсчетным устройством ШЦЦ-1; толщинометр ТР 25-60Б, зав. № 2456; лабораторные весы ВЛТЭ-1100, зав. № А-351.

В таблицах 1 – 4 в качестве примера представлены результаты испытаний образцов изделий из отходов полиэтилена и ЦСП при соотношении полимера и наполнителя – 1:2, температуре смешения  $T_{нагр} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; частоте вращения рабочих органов – 30 об/мин; времени смешения – 10 мин; времени прессования – 5 мин при  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Нормы по ГОСТ 26816–86 составляли: для плотности – 1100...1400 кг/м<sup>3</sup>; прочности при изгибе –  $\geq 12\text{ МПа}$ ; водопоглощения –  $\leq 16\text{ }%$ ; разбухания по толщине –  $\leq 2\text{ }%$ .

Полученные образцы композита испытывались также в лаборатории «Технология переработки полимерных материалов» ФГБОУ ВО «ТГТУ». *Цель испытаний:* определить физико-механические свойства композита с наполнителем ЦДС из отходов производства ЦСП, при различных соотношениях компонентов: ЦДС – 50 – 80 %, полимер – остальное. *Средства испытаний:* разрывная машина; штангенциркуль с цифровым отсчетным устройством ШЦЦ-1; толщинометр ТР 25-60Б; лабораторные весы ВЛТЭ-1100.

Результаты испытаний исследований представлены в табл. 5.

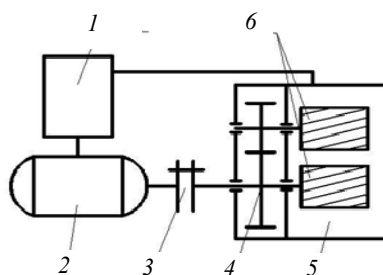


Рис. 1. Схема смесителя Бранднера

Таблица 1

#### Плотность изделия из отходов

Номер образца	Образец				Плотность образца, кг/м <sup>3</sup>
	масса, г	толщина, см	длина, см	ширина, см	
1	77,8	0,80	8,1	8,0	1501
2	75,1	0,76	8,1	8,1	1506
3	75,2	0,77	8,1	8,1	1489
4	77,6	0,78	8,1	8,0	1535
5	74,7	0,76	8,1	8,1	1498
6	76,9	0,78	8,1	8,0	1521
7	67,1	0,70	8,1	8,1	1461
Среднее значение					1501

Таблица 2

#### Прочность при изгибе изделия из отходов

Номер образца	Образец		Разрушающая нагрузка, Н	Прочность при изгибе, МПа
	толщина, мм	ширина, мм		
1	6,2	75,6	175	18,1
2	6,2	75,5	185	19,05
3	6,3	75,6	175	18,1
4	6,2	75,5	195	20,0
5	6,2	75,5	195	20,0
Среднее значение				19,05

Таблица 3

**Водопоглощение**

Номер образца	Масса образца		Водопоглощение, %
	до увлажнения, г	после увлажнения, г	
1	77,8	78,1	3,4
2	75,1	75,2	1,3
3	75,2	75,5	4,0
4	77,6	77,8	2,6
5	74,7	75,0	4,0
6	76,9	77,2	4,0
7	67,1	67,4	4,5
Среднее значение			3,4

Таблица 4

**Разбухание по толщине**

Номер образца	Толщина образца		Разбухание по толщине, %
	до увлажнения, мм	после увлажнения, мм	
1	8,0	8,0	0
2	7,6	7,7	1,3
3	7,7	7,9	2,6
4	7,8	7,9	1,3
5	7,6	7,6	0
6	7,8	7,8	0
7	7,0	7,0	0
Среднее значение			0,7

Таблица 5

**Зависимость физико-механических свойств композита от соотношения компонентов**

Показатель	Состав на основе термопласта			
	50 %	34 %	25 %	20 %
Соотношение ЦДС к полимеру	50 %	34 %	25 %	20 %
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1212	1395	1569	1616
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	27,2	24,5	23,8	21
Водопоглощение за 24 ч, %	0	0,05	0,54	0,65
Разбухание за 24 ч, %	0,63	0,77	1,7	2,13
Кислотостойкость, %	98,9	98,1	96,9	95
Щелочностойкость, %	96,4	94,9	93,7	92

На основе вышеизложенного сделаны следующие выводы. Использование в качестве наполнителя ЦДС, образующейся при производстве ЦСП, позволяет получить относительно дешевый композиционный строительный материал, обладающего необходимой прочностью, низкими показателями водопоглощения и разбухания, высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред (кислот и щелочей).

Физико-механические свойства получаемого полимерного композита зависят от соотношения компонентов смеси. При изготовлении композита с содержанием менее 20 % термопласта происходит расслоение полученного материала вследствие неполного склеивания частиц наполнителя между собой. При добавлении более 50 % термопласта значительного улучшения физико-механических показателей композита не наблюдается, однако его стоимость значительно увеличивается. Полученный композиционный материал может быть использован вторично. Он дробится, нагревается до пластичного состояния, перемешивается, в него дополнительно могут быть введены, при необходимости, наполнители, полимеры и добавки.

#### *Список литературы*

1. Итоги конференции «Вторичная переработка полимеров 2018» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mplast.by/novosti/2018-03-06-vtorichnaya-pererabotka-polimerov-2018/> (дата обращения: 27.06.2018).
2. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками / П. С. Беляев [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 22, № 2. – С. 264 – 271.
3. Анализ эффективности разработанных технологий утилизации отходов термопластов / П. В. Макеев [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 4. – С. 1002 – 1006.
4. Ресурсосберегающая технология переработки отходов полимерных материалов / А. С. Клинков [и др.] // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 3 (47). – С. 292 – 300.
5. Решение проблемы утилизации полимерных отходов путем использования их в процессе модификации дорожного вяжущего / П. С. Беляев [и др.] // Строительные материалы. – 2013. – № 10. – С. 38 – 41.
6. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов : учебное пособие / А. С. Клинков [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 100 с.
7. О компании АО «ТАМАК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tamak.ru/about/> (дата обращения: 27.06.2018).
8. Рециклинг и утилизация тары и упаковки : учеб. пособие / А. С. Клинков [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 112 с.

---

## **The Development of Technology for Composites Based on Thermoplastic Waste and CBPB**

**P. S. Belyaev<sup>1</sup>, O. S. Primerov<sup>1</sup>, A. V. Savin<sup>2</sup>**

*Department of Materials and Technology, TSTU (1);  
JSC "TAMAK" (2), Tambov, Russia; polymers@asp.tstu.ru*

**Keywords:** Brabender's mixer; composite; technological process; waste of thermoplastics and cement-bonded particleboards (CBPB).

**Abstract:** The article discusses recycling of thermoplastics and cement-bonded particleboards. The experimental studies to determine the influence of process parameters of treatment on qualitative indicators of a composite material are carried out.

It is noted that the resulting composite has high physical and mechanical properties and can be used in the production of products for technical or construction purposes. Waste disposal of thermoplastics and CBPB will improve the environmental safety of the region, reduce landfill areas and reduce the consumption of primary polymer raw materials.

### References

1. <https://mplast.by/novosti/2018-03-06-vtorichnaya-pererabotka-polimerov-2018/> (accessed 27 June 2018).
2. Belyayev P.S., Polushkin D.L., Makeyev P.V., Frolov V.A. [Modification of petroleum road bitumen by polymeric materials for the production of asphalt-concrete coatings with improved performance characteristics], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 2, pp. 264-271. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Makeyev P.V., Klinkov A.S., Shashkov I.V., Odnol'ko V.G. [Analysis of the effectiveness of developed technologies for utilization of thermoplastic wastes], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 4, pp. 1002-1006. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Klinkov A.S., Makeyev P.V., Shashkov I.V., Polushkin D.L. [Resource-saving technology for recycling waste polymeric materials], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2013, no. 3 (47), pp. 292 – 300. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Belyayev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Polushkin D.L., Frolov V.A. [The solution of the problem of recycling polymer waste by using them in the process of modifying the road binder], *Stroitel'nyye materialy* [Building materials], 2013, no. 10, pp. 38-41. (In Russ.)
6. Klinkov A.S., Belyayev P.S., Skuratov V.K., Sokolov M.V., Odnol'ko V.G. *Utilizatsiya i vtorichnaya pererabotka tary i upakovki iz polimernykh materialov: uchebnoye posobiye* [Recycling and recycling of packaging and packaging of polymer materials: a tutorial], Tambov: Izdatel'stvo FGBOU VPO "TGTU", 2010, 100 p. (In Russ.)
7. <http://www.tamak.ru/about/> (accessed 27 June 2018).
8. Klinkov A.S., Belyayev P.S., Skuratov V.K., Sokolov M.V., Yefremov O.V., Odnol'ko V.G. *Retsikling i utilizatsiya tary i upakovki : uchebnoye posobiye* [Recycling and disposal of packaging and packaging: a tutorial], Tambov: Izdatel'stvo FGBOU VPO "TGTU", 2010, 112 p. (In Russ.)

---

## Entwicklung der Technologie zum Erhalten von Verbundwerkstoffen auf der Grundlage der Thermoplast- und ZSP-Abfälle

**Zusammenfassung:** Es ist das Problem des Recyclings von Thermoplasten und Zementspanplatten (ZSP) betrachtet. Experimentelle Studien wurden durchgeführt, um den Einfluss von technologischen Parametern des Verarbeitungsprozesses auf die qualitativen Eigenschaften des resultierenden Verbundstoffs zu bestimmen. Es wurde festgestellt, dass der erhaltene Verbundstoff erhöhte physikalische und mechanische Eigenschaften aufweist und bei der Herstellung von Produkten für technische oder Bauzwecke verwendet werden kann. Das Recycling von Thermoplasten und ZSP-Abfällen wird die Umweltsicherheit der Region verbessern, die Deponiefläche für die Abfallentsorgung reduzieren und den Verbrauch von primären polymeren Rohstoffen verkürzen.

## **Elaboration de la technologie de l'obtention des composites à la base des déchets de thermoplastique et plaques à copeaux de ciment**

**Résumé:** Est examinée la tâche de l'élimination des déchets de thermoplastiques et de plaques à copeaux de ciment (PCC). Sont effectuées les études expérimentales pour déterminer l'impact des paramètres technologiques du procédé du traitement sur les indicateurs qualitatifs du composite obtenu. Il est établi que le composite obtenu a des propriétés physiques et mécaniques élevées et peut être utilisé dans la production de produits à usage technique ou de construction. L'utilisation des déchets de thermoplastiques et de PCC permettra d'améliorer la sécurité écologique de la région, de réduire la superficie des sites d'enfouissement et de réduire la consommation des polymères comme matières premières.

---

**Авторы:** *Беляев Павел Серафимович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Материалы и технология»; *Примеров Олег Сергеевич* – аспирант кафедры «Материалы и технология», ФГБОУ ВО «ТГТУ»; *Савин Андрей Викторович* – директор по производству ЦСП АО «ТАМАК», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Соколов Михаил Владимирович* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

---