

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 67.08

DOI 10.52928/2070-1683-2025-42-3-49-55

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОДУКТОВ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
ОТХОДОВ СТЕКЛОПЛАСТИКА

Е.Г. ФЕДАРОВИЧ, д-р техн. наук, проф. А.Э. ЛЕВДАНСКИЙ
(Белорусский государственный технологический университет, Минск)

Для получения вторичного волокнистого материала из продуктов селективного измельчения отходов производства стеклопластика предложено использование многостадийной технологии классификации, включающей в себя пневмокласификацию и механическое разделение на сите. Представлена разработанная установка исследования процесса селективного измельчения отходов стеклопластика, включающая стадию классификации. Представлены результаты экспериментальных исследований извлечения недоизмельченного материала, мелких волокон и частиц измельченной полимерной матрицы из продуктов селективного измельчения отходов, обрезков стеклохолста на основе связующего Депол С-180 ПТ и стеклоармированных стержней на основе ЭД-20. Определены рациональные значения средней скорости воздушного потока на сечения классификатора, позволяющие наиболее эффективно осуществлять процесс пневмокласификации в роторно-гравитационном классификаторе. Подобран диаметр отверстий сита, необходимый для качественного отделения от волокнистой фракции частиц полимерной матрицы. Посредством метода выжигания определено содержание стекловолокна в полученном волокнистом материале. Представленная технологическая схема позволяет выделить из продуктов измельчения отходов стеклопластика волокнистый материал, который может быть использован как исходное сырье в производстве новых изделий.

Ключевые слова: отходы стеклопластика, измельчение стеклопластика, пневмокласификация, механическое разделение, стекловолокно, вторичный материал.

Введение. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) находят широкое применение практически во всех отраслях народного хозяйства: в строительстве, автомобиле-, судо- и авиастроении, радиоэлектронике, в производстве предметов быта и т.д. [1]. Этому способствует широкий спектр свойств данных материалов: физико-химические, механические, теплофизические, электрические, оптические качества; повышенная износостойкость, особые виброакустические свойства и др.

Согласно статистическим данным из различных источников, объем мирового рынка композиционных полимерных материалов в 2023 году оценивается в 99,5–117,0 млрд долларов^{1,2}. Прогнозируемый среднегодовой темп роста рынка ПКМ в период с 2023 г. по 2032 г. составит 6,9–7,8%. Среди ведущих мировых производителей продукции из ПКМ можно выделить Dupont, DIT BV, Composites Universal Group, Cabot Corporation, Mitsubishi Chemical Corporation, Owens Corning, Teijin Limited, Toray Industries Incorporation и SGL Group. При этом, как отмечается, наибольшая доля в мировом рынке ПКМ приходится на стеклопластик.

В результате объемного производства и применения изделий из стеклопластика возникает проблема их утилизации. По некоторым данным, мировые объемы образования отходов стеклопластика можно оценить на уровне 980 тыс. тонн [2]. Учитывая долгосрочность процессов деструкции стеклопластика (по различным данным до 200 лет) и постоянное ужесточение экологического законодательства, проблема утилизации является актуальной [3]. Основной путь решения данной проблемы – вторичная переработка отходов производства и потребления стеклопластика.

Одним из перспективных с экономической и экологической точки зрения является механический метод, основанный на измельчении стеклопластика в молотковых мельницах или аналогичных устройствах, с последующей классификацией на фракции [4; 5]. Данный метод имеет ряд преимуществ: сравнительная простота технологического оформления, применимость для практически любых полимерных композиционных материалов, одновременная переработка армирующих волокон и полимерного связующего, отсутствие вредных выбросов и испарений. Такие предприятия как Reprocover (Бельгия), Zajons Logistik (Германия), ReFiber ApS (Дания) уже используют технологию механической переработки стеклопластиковых изделий для производства вторичного волокнистого материала, который в большинстве случаев выступает как наполнитель термопластов либо в цементной промышленности.

¹ Размер рынка композитных материалов, прогнозы до 2033 года [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sphericalinsights.com/ru/reports/composite-process-materials-market> (дата обращения 24.02.2025).

² Объем рынка композитных материалов, отчет о доле, анализ, тенденции, рост в 2032 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.zionmarketresearch.com/report/composite-materials-market> (дата обращения 24.02.2025).

Имеющиеся в настоящее время исследования [6–9] отмечают, что основной нерешенной до настоящего времени проблемой механической переработки стеклопластика является классификация продуктов переработки, которая ввиду отсутствия более совершенного оборудования осуществляется методом отсева на ситах. Сущность проблемы заключается в том, что при использовании сит выделенный из продуктов переработки вторичный волокнистый материал содержит волокна широкого фракционного состава. Наличие в нем большого количества мелких волокон, которые не реализуют свои прочностные свойства в композиционном материале, приводит к снижению физико-механических свойств ПКМ. Также на снижение прочностных свойств композиционных материалов оказывает влияние наличие во вторичном волокнистом материале значительного количества частиц полимерной матрицы, которые снижают общее количество стекловолокна в массе.

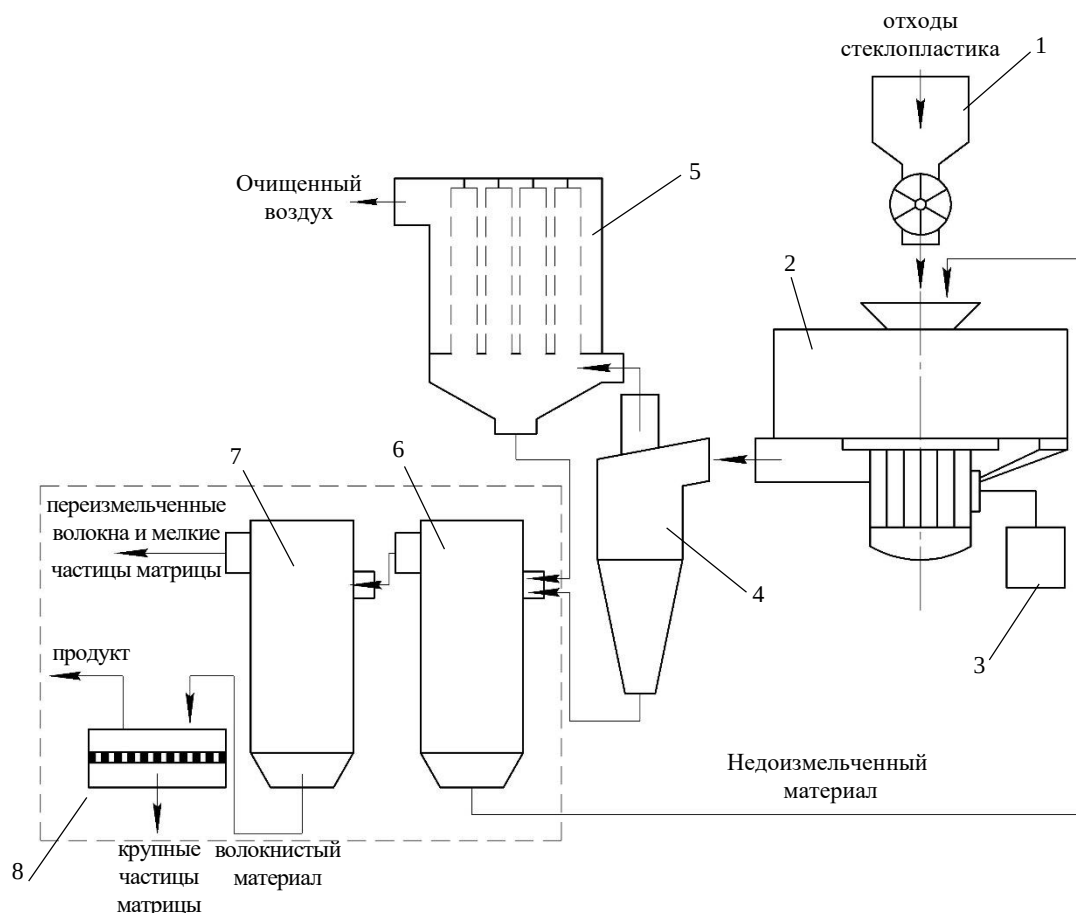
Проведенные нами ранее экспериментальные исследования в данном направлении показывают схожие результаты в сложности разделения продуктов селективного измельчения стеклопластика на фракции методом отсева на сите. Стоит добавить, что, используя метод классификации на сите, практически невозможно выделить из продуктов измельчения стеклопластика недоизмельченные куски стеклопластика и пучки волокон, скрепленные между собой матрицей. Связано это в первую очередь со свойством волокнистого материала слипаться и слеживаться на поверхности сита.

Указанные негативные аспекты механической классификации продуктов переработки стеклопластика не позволяют получать на основе вторичного волокнистого материала качественные изделия с заданными физико-механическими свойствами. В результате технология механической переработки стеклопластика не находит своего широкого распространения в мире.

Для решения поставленной проблемы была сформулирована цель настоящего исследования: разработать принципиально новый подход классификации продуктов селективного измельчения стеклопластика, основанный на совместном использовании методов механической классификации и пневмокласификации.

Основная часть. Опыты проводились на разработанной экспериментальной установке исследования процесса селективного измельчения стеклопластика, представленной на рисунке 1.

Экспериментальная установка состоит из питателя 1, ударно-центробежной мельницы 2, частотного преобразователя 3, циклона 4, рукавного фильтра 5, последовательно установленных пневмокласификаторов 6, 7 и сита 8.



1 – питатель; 2 – ударно-центробежная мельница; 3 – частотный преобразователь;
4 – циклон; 5 – рукавный фильтр; 6, 7 – пневмокласификаторы; 8 – сито

Рисунок 1. – Экспериментальная установка исследования процесса селективного измельчения стеклопластика

Исследования проводились следующим образом. Отходы стеклопластика посредством питателя 1 с постоянным массовым расходом (100 кг/ч) подавались в загрузочный патрубок ударно-центробежной мельницы 2. Полученные продукты измельчения совместно с воздушным потоком направлялись на разделение в циклон 4 и рукавный фильтр 5. Извлеченные из воздушного потока продукты измельчения из циклона 4 и рукавного фильтра 5 направлялись в пневмокласификатор 6. Далее, полученный волокнистый материал поступал в пневмокласификатор 7 и затем на механическую классификацию на сито 8.

Как можно заметить на рисунке 1, процесс классификации продуктов селективного измельчения стеклопластика состоит из трех стадий:

1. Полученный в результате селективного измельчения отходов стеклопластика, обрезков стеклохолста на основе связующего Депол С-180 ПТ и стеклоармированных стержней на основе ЭД-20 вторичный продукт – полидисперсный материал, состоящий из кусков недоизмельченного стеклопластика, пучков стекловолокна, скрепленных матрицей, и частиц измельченной матрицы (рисунок 2), подвергается пневмокласификации в роторно-гравитационном классификаторе 6. При этом в нем задается определенное значение расхода воздуха таким образом, чтобы волокнистый материал подхватывался потоком воздуха и направлялся в патрубок выхода мелкой фракции. Недоизмельченный стеклопластик и скрепленные между собой матрицей пучки волокон, преодолевая силу воздушного сопротивления, направляются в патрубок выхода крупной фракции и при необходимости могут быть повторно измельчены в ударно-центробежной мельнице 2.

2. Далее, полученный волокнистый материал направляется в пневмокласификатор 7. В данном случае за счет меньшей скорости воздушного потока происходит разделение материала в зависимости от длины волокна. Длинные волокна и крупные частицы измельченной полимерной матрицы будут преодолевать силу воздушного сопротивления и направляться к выходному патрубку крупной фракции, а мелкие частицы матрицы и переизмельченные волокна будут подхватываться потоком и направляться к выходному патрубку мелкой фракции.

3. В результате отсутствия в волокнистом материале мелких переизмельченных волокон, которые в основном способствуют слипанию и слеживанию материала при механическом воздействии, использование на данном этапе классификации сита позволяет за счет колебательного воздействия встряхивать материал (волокна) с меньшей степенью слеживаемости, что способствует более эффективному перемещению оставшихся в материале частиц матрицы к просеивающей поверхности сквозь волокна и дальнейшему прохождению через отверстия сита.



а

б

***а* – стеклохолст, связующее на основе полиэфирной смолы Депол С-180 ПТ;
б – стеклоармированные стержни, связующее на основе эпоксидной смолы ЭД-20**

Рисунок 2. – Продукты селективного измельчения стеклопластика

Основным технологическим параметром, влияющим на качественные показатели процесса разделения в гравитационном пневмокласификаторе, является средняя скорость восходящего потока по сечению аппарата. В результате проведения экспериментальных исследований процесса разделения продуктов селективного измельчения стеклопластика в пневмокласификаторе, были построены графические зависимости влияния средней скорости восходящего потока воздуха в классификаторе на выход крупной фракции (рисунок 3).

Экспериментально установлено, что увеличение средней скорости воздуха на сечение аппарата с 1,05 до 4,51 м/с приводит к постепенному снижению количества выделенной крупной фракции из продуктов селективного измельчения стеклопластиков Депол С-180 ПТ и ЭД-20. Данные зависимости можно с высокой степенью достоверности (0,9653–0,9942) описать квадратичными функциями, представленными на рисунке 3.

Установлено, что для полного разделения продуктов селективного измельчения стеклопластиковых отходов Депол С-180 ПТ и ЭД-20 на волокнистую фракцию (мелкая фракция – целевая) и недоизмельченный материал (крупная фракция) скорость воздуха в классификаторе должна составлять около 3,24 м/с.

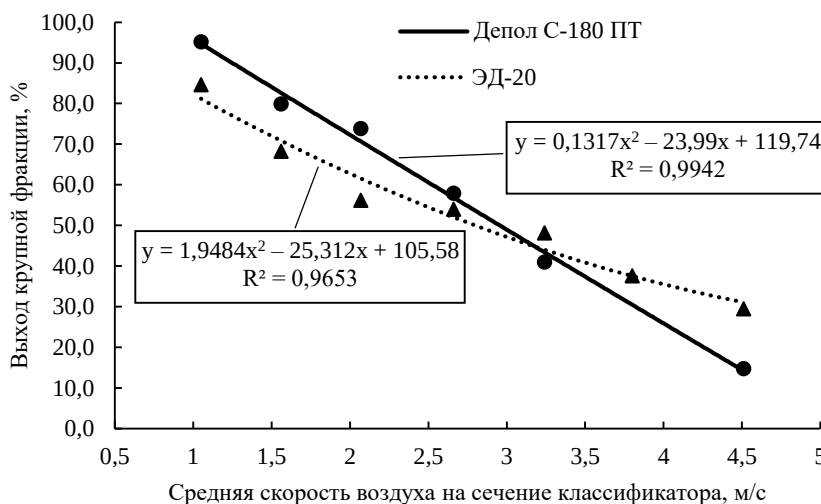


Рисунок 3. – Влияние скорости воздуха на выход крупной фракции при разделении продуктов селективного измельчения стеклопластиков Депол С-180 ПТ и ЭД-20

При данной скорости потока крупная фракция представляет собой систему, состоящую из крупных кусков недоизмельченного стеклопластика, пучков волокон, скрепленных недоизмельченной термореактивной матрицей, и крупных частиц измельченной матрицы (рисунок 4). Мелкая фракция представляет собой полидисперсный материал, состоящий из волокон различной длины от 0,1 до 25,0 мм и измельченных частиц полимерной матрицы. Увеличение скорости потока воздуха до значений 3,8–4,51 м/с приводит к загрязнению волокнистой фракции недоизмельченным материалом соответственно на 13,08–40,98% для стеклопластика Депол С-180 ПТ и на 10,54–48,12% для стеклопластика ЭД-20. Снижение скорости воздушного потока в пневмоклассификаторе до значений 2,66–1,05 м/с приводит к неполному разделению смеси, так как в крупной фракции присутствует волокнистый материал, для стеклопластика Депол С-180 ПТ в количестве 16,94–54,2% и для ЭД-20 – 5,87–36,49%.



а – стеклохолст, связующее на основе полиэфирной смолы Депол С-180 ПТ;
б – стеклоармированные стержни, связующее на основе эпоксидной смолы ЭД-20

Рисунок 4. – Извлеченная крупная фракция из продуктов селективного измельчения стеклопластика при средней скорости воздуха на сечения пневмоклассификатора 3,24 м/с

Далее, полученная волокнистая фракция, очищенная от недоизмельченного материала и крупных частиц измельченной полимерной матрицы, направлялась на вторую стадию пневмоклассификации с целью разделения по длине волокна. Основной задачей на данном этапе являлось выделить из полидисперсного волокнистого материала мелкие волокна, длина которых не позволяет им в полной мере реализовать свою прочность в композиционном материале. Ранее проведенные исследования по возможности использования вторичного волокнистого материала для получения композиционных материалов показывают, что длина армирующих вторичных волокон, для обеспечения армирующего эффекта, не должна быть меньше 4 мм [10].

Экспериментальные исследования разделения волокнистой фракции, полученной на первой стадии пневмоклассификации, проведенные при средней скорости воздуха на сечения классификатора от 0,61 до 1,56 м/с (рисунок 5), показали, что при превышении скорости восходящего потока более 1,05 м/с в мелкой фракции наблюдается наличие волокон длиной 4 мм и более. При средней скорости воздуха 1,05 м/с количество мелкой

фракции, выделенной из отходов стеклопластика на основе Депоп С-180 ПТ, составляет 25,83%, а для отходов стеклопластика на основе связующего ЭД-20 – соответственно 39,79%. Мелкая фракция представляет собой систему, состоящую из тонкодисперсных частиц измельченной полимерной матрицы, измельченного короткого (длиной до 3 мм) стекловолокна. Исследования при меньших скоростях воздушного потока в классификаторе (0,61 м/с) указывают на неполное извлечение из волокнистой фракции частиц матрицы и переизмельченных волокон.

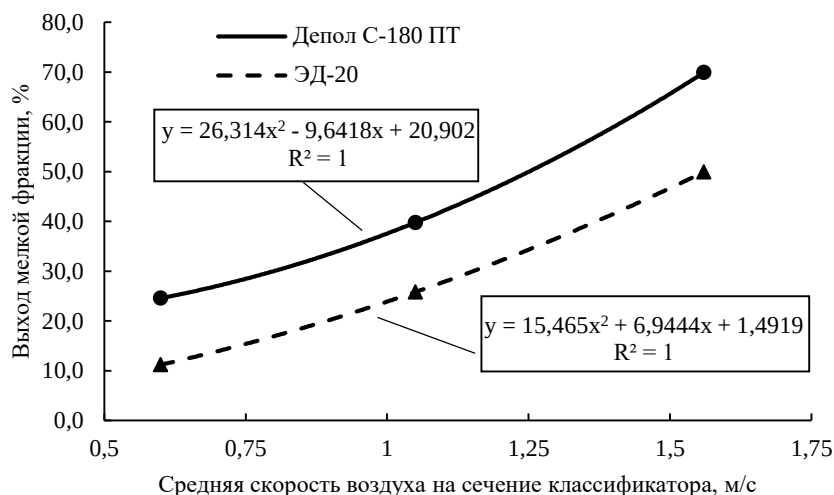
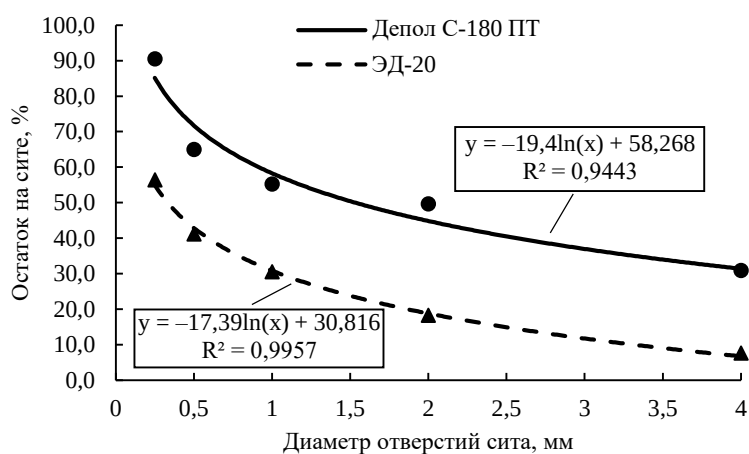


Рисунок 5. – Влияние скорости воздуха на выход мелкой фракции при разделении волокнистой фракции стеклопластиков Депоп С-180 ПТ и ЭД-20

Полученная в результате двух стадий пневмокласификации волокнистая фракция, очищенная от недоизмельченных кусков стеклопластика, тонкодисперсной пыли измельченных полимерной матрицы и стекловолокна, направляется для разделения на сито. Использование сита необходимо для отделения от волокнистой фракции частиц полимерной матрицы, чья скорость витания совпадает со скоростью витания пучков волокон. Слипание и слеживание волокон на поверхности сита в данном случае не несет существенного негативного влияния на качество разделения, так как в волокнистой фракции отсутствуют крупные куски стеклопластика и короткие волокна, которые могли бы задерживаться в слое волокон. Отсутствие коротких волокон в волокнистой фракции уменьшает ее степень слеживаемости на поверхности сита, тем самым способствуя более свободному прохождению частиц полимерной матрицы к поверхности сита.

Рассеивание волокнистой фракции осуществляли на ситовом анализаторе Retsch AS 200 с одинаковым промежутком времени отсева на ситах с диаметром отверстий, мм: 4, 2, 1, 0,5 и 0,25. Результаты экспериментальных исследований отсева волокнистой фракции, полученной из стеклопластиков на основе связующих Депоп С-180 ПТ и ЭД-20, представлены на рисунке 6.



a – зависимость остатка волокнистой фракции стеклопластиков Депоп С-180 ПТ и ЭД-20 от диаметра отверстий сита; *б* – волокнистая фракция, полученная из отходов стеклопластика ЭД-20

Рисунок 6. – Результаты отсева волокнистой фракции стеклопластиков Депоп С-180 ПТ и ЭД-20

Экспериментальные исследования рассева волокнистой фракции на ситах показали, что использование сита с диаметром отверстий 0,5 мм является наиболее рациональным для отделения от волокнистой фракции частиц полимерной матрицы (см. рисунок 6, а). Остаток на сите представляет собой пучки волокон, размер которых находится в пределах от 4 до 25 мм (см. рисунок 6, б). При использовании сит с отверстиями большего диаметра (1–4 мм) волокна проходят через поверхность сита, тем самым уменьшая общее количество получаемой волокнистой фракции.

В результате проведения трех стадий классификации продуктов селективного измельчения отходов стеклопластика на основе связующих Дёпол С-180 ПТ и ЭД-20, количество выделенной волокнистой фракции, за вычетом выделенного недоизмельченного материала, составляет соответственно 50 и 30% от первоначально полученного продукта селективного измельчения.

Для оценки качественного состава продуктов селективного измельчения стеклопластиков волокнистая фракция подвергалась выжиганию в муфельной печи при температуре 600 °С³. Установлено, что в волокнистом материале, полученном из отходов стеклохолста на основе связующего Дёпол С-180 ПТ и стеклоармированных стержней на основе ЭД-20, содержится соответственно 46,1 и 36,35% стекловолокна.

Заключение. Разработана принципиально новая схема классификации продуктов механической переработки отходов стеклопластика. В результате проведения экспериментальных исследований подобраны рациональные параметры процессов пневмокласификации и механической классификации продуктов селективного измельчения стеклопластика. Установлено, что при средней скорости потока воздуха на сечение классификатора 3,24 м/с происходит наиболее полное удаление из продуктов механической переработки отходов стеклопластика недоизмельченного материала в количестве 40,98 и 48,12% соответственно для отходов стеклопластиков на основе Дёпол С-180 ПТ и ЭД-20, которые впоследствии могут быть повторно направлены на измельчение. Для удаления из волокнистой фракции мелких волокон (до 4 мм), которые в готовых вторичных композитных материалах не реализовывают свои армирующие свойства, необходимо задавать среднюю скорость на сечение классификатора равную 1,05 м/с. Использование на завершающей стадии классификации сита с диаметром отверстий 0,5 мм позволяет удалить из волокнистой фракции частицы полимерной матрицы, чья скорость витания совпадает со скоростью витания волокон в пневмокласификаторе.

Представленная принципиальная технологическая схема классификации продуктов селективного измельчения отходов стеклопластиков позволяет решить проблемы наличия в волокнистой фракции недоизмельченного материала и мелких волокон, которые невозможно выделить, используя классический метод механической классификации на ситах. Получение качественного волокнистого материала из отходов стеклопластика позволит решить серьезную проблему утилизации композиционных материалов на основе стекловолокна, что способствует осуществлению замкнутого цикла производства в рамках зеленой экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Талалаева Г.В., Пазникова С.Н. Современные композиционные материалы: перспективы и риски применения их в области комплексной безопасности и гражданской обороны // Технологии гражданской безопасности. – 2023. – Т. 20, № 1. – С. 107–114.
2. Куликова Ю.В., Слюсарь Н.Н., Шайдурова Г.И. Анализ проблемы утилизации отходов композиционных материалов // Бюллетень науки и практики. – 2017. – Т. 24, № 11. – С. 255–261.
3. Recycling of Composite Materials / Y. Yang, R. Boom, B. Irion et al. // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. – 2012. – Vol. 51. – P. 53–68. DOI: 10.1016/j.cep.2011.09.007.
4. Mechanical properties of recycled Glass Fiber Reinforced Polymers (rGFRP) in limestone calcined clay cement mortars / M. Rico, J.R. Zelaya, B. García et al. // Revista EIA. – 2024. – № 21(41). – P. 1–19. DOI: 10.24050/reia.v21i41.1720.
5. Retracted: a critical review on recycling composite waste using pyrolysis for sustainable development / R. Abdallah, A. Juaidi, M.A. Sava et al. // Energies. – 2021. – № 14(18). DOI: 10.3390/en14185748.
6. Strength and microscopic investigation of unsaturated polyester BMC reinforced with SMC-recyclate / R. DeRosa, E. Telfeyan, G. Gaustaud et al. // Journal of Thermoplastic Composite Materials. – 2005. – № 18(4). – P. 333–349. DOI: 10.1177/0892705705049560.
7. Successful closed-loop recycling of thermoset composites / J. Palmer, O.R. Ghita, L. Savage et al. // Composites. Part A. – 2009. – № 40(4). – P. 490–498. DOI: 10.1016/j.compositesa.2009.02.002.
8. Pickering S.J. Recycling Thermoset Composite Materials // Wiley Encyclopedia of Composites. – 2012. – P. 1–17. DOI: 10.1002/9781118097298.weoc214.
9. Recycling of the Fibrous Fraction of Reinforced Thermoset Composites / C.E. Kouparitsas, C.N. Kartalis, P.C. Varelidis et al. // Polymer Composites. – 2002. – № 23(4). – P. 682–689. DOI: 10.1002/pc.10468.
10. Утилизация изделий из волокнистого композиционного материала / Е.И. Кордикова, А.В. Спиглазов, Д.И. Чиркун и др. // Труды БГТУ. – 2013. – № 4. – С. 66–68.

REFERENCES

1. Talalaeva, G.V., & Paznikova, S.N. (2023). Sovremennyye kompozitsionnyye materialy: perspektivy i riski primeneniya ih v oblasti kompleksnoy bezopasnosti i grazhdanskoj oborony [Modern composite materials: prospects and risks of their use in the field of integrated security and civil defense]. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti [Civil Security Technology]*, 20(1), 107–114. (In Russ.).

³ Методы сжигания по ГОСТ 32652-2014 (ISO 1172:1996).

2. Kulikova, Yu.V., Slyusar', N.N., & Shajdurova, G.I. (2017). Analiz problemy utilizacii othodov kompozicionnyh materialov [Analiz problemy utilizacii othodov kompozicionnyh materialov]. *Byulleten nauki i praktiki [Bulletin of Science and Practice]*, 24(11), 255–261. (In Russ.).
3. Yang, Y., Boom, R., Irion, B., Van Heerden, D.J., Kuiper, P., & De Wit, H. (2012). Recycling of Composite Materials. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 51, 53–68. DOI: 10.1016/j.cep.2011.09.007.
4. Rico, M., Zelaya, J.R., García, B., & Vanegas, D. (2024). Mechanical properties of recycled Glass Fiber Reinforced Polymers (rGFRP) in limestone calcined clay cement mortars. *Revista EIA*, 21(41), 1–19. DOI: 10.24050/reia.v21i41.1720.
5. Abdallah, R., Juaidi, A., Sava, M.A., Çamur, H., Albatayneh, A., Abdala, S., & Manzano-Agugliaro, F. (2021). Retracted: a critical review on recycling composite waste using pyrolysis for sustainable development. *Energies*, 14(18). DOI: 10.3390/en14185748.
6. DeRosa, R., Telfeyan, E., Gaustaud, G., & Mayes, S. (2005). Strength and microscopic investigation of unsaturated polyester BMC reinforced with SMC-recyclate. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 18(4), 333–349. DOI: 10.1177/0892705705049560.
7. Palmer, J., Ghita, O.R., Savage, L., & Evans, K.E. (2009). Successful closed-loop recycling of thermoset composites. *Composites Part A*, 40(4), 490–498. DOI: 10.1016/j.compositesa.2009.02.002.
8. Pickering, S.J. (2012). Recycling Thermoset Composite Materials. *Wiley Encyclopedia of Composites*, 1–17. DOI: 10.1002/9781118097298.weoc214.
9. Kouparitsas, C.E., Kartalis, C.N., Varelidis, P.C., Tsenoglou, C.J., & Papaspyrides, C.D. (2002). Recycling of the Fibrous Fraction of Reinforced Thermoset Composites. *Polymer Composites*, 23(4), 682–689. DOI: 10.1002/pc.10468.
10. Kordikova, E.I., Spiglazov, A.V., Chirkun, D.I., & Kuprash, E.A. (2013). Utilizaciya izdelij iz voloknistogo kompozicionnogo materiala [Disposal of fiber composite products]. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, 4, 66–68. (In Russ.).

Поступила 24.07.2025

CLASSIFICATION OF PRODUCTS OF SELECTIVE GRINDING OF GLASS PLASTIC WASTE

E. FEDAROVICH, A. LEVDANSKI
(Belarusian State Technological University, Minsk)

It is proposed to use a multistage classification technology, including pneumatic classification and mechanical separation on a sieve, to obtain secondary fibrous material from the products of selective grinding of fiberglass production waste. A developed installation for studying the process of selective grinding of fiberglass waste, including a classification stage, is presented. The results of experimental studies of the extraction of under-crushed material, small fibers and particles of crushed polymer matrix from the products of selective grinding of waste, trimmings of fiberglass based on the binder Depol S-180 PT and fiberglass rods based on ED-20 are presented. Rational values of the average air flow velocity on the classifier cross-sections are determined, allowing the most efficient implementation of the pneumatic classification process in a rotor-gravity classifier. The diameter of the sieve holes is selected necessary for high-quality separation of polymer matrix particles from the fibrous fraction. The content of glass fiber in the obtained fibrous material was determined by means of the burning method. The presented technological scheme allows to extract fibrous material from the products of crushing fiberglass waste, which can be used as a raw material in the production of new products.

Keywords: glass plastic waste, glass plastic shredding, pneumatic classification, mechanical separation, fiberglass, recycled material.