

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов на коррозионную стойкость

№ п/п	Исследуемая среда	Масса образца до испытаний, $m_0$ , г	Масса образца после испытаний $m_1$ , г	Потеря массы $\Delta m$ , г/см <sup>2</sup>
1	Вода дистиллированная	59,6255	59,4954	0,002602
2	0,1Н р-р NaCl	75,1084	74,8938	0,004292
3	0,1Н р-р CaCl <sub>2</sub>	74,6338	74,3924	0,004828
4	0,1Н р-р H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	73,5922	69,6541	0,078762
5	0,1Н р-р Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	73,1131	73,0969	0,000322

Анализ результатов проведенных испытаний показывает, что наиболее агрессивной средой является раствор серной кислоты, далее по степени уменьшения: растворы CaCl<sub>2</sub>, NaCl, дистиллированная вода, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Для улучшения коррозионной стойкости необходимо применить антикоррозионные покрытия.

#### Список использованных источников

1. Ангал, Р. Коррозия и защита от коррозии: учеб. пособие; пер. с англ. / Р. Ангал. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2014. – 344 с.
2. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. Общероссийский классификатор стандартов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://standartgost.ru/0/2876-edinaya\\_sistema\\_zaschity\\_ot\\_korrozii\\_i\\_stareniya](https://standartgost.ru/0/2876-edinaya_sistema_zaschity_ot_korrozii_i_stareniya).
3. ГОСТ 9.905-2007. Единая система защиты от коррозии и старения. Методы коррозионных испытаний. Общие требования. Общероссийский классификатор стандартов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://standartgost.ru/0/2876-edinaya\\_sistema\\_zaschity\\_ot\\_korrozii\\_i\\_stareniya](https://standartgost.ru/0/2876-edinaya_sistema_zaschity_ot_korrozii_i_stareniya).
4. ГОСТ 9.907-2007. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические. Методы удаления продуктов коррозии после коррозионных испытаний. Общероссийский классификатор стандартов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://standartgost.ru/0/2876-dinaya\\_sistema\\_zaschity\\_ot\\_korrozii\\_i\\_stareniya](https://standartgost.ru/0/2876-dinaya_sistema_zaschity_ot_korrozii_i_stareniya).

УДК 621.926.4

## СЕЛЕКТИВНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ СТЕКЛОПОЛНЕННЫХ ПЛАСТИКОВ

**Федарович Е.Г., маг., Левданский А.Э., д.т.н., доц.**

*Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрены условия селективного измельчения стеклонаполненных пластиков. Указано, что извлечение из стеклопластика армирующего материала и его повторное использование в новых изделиях, позволяет снизить себестоимость выпускаемой продукции, а также снизить негативное воздействие отходов на окружающую среду. Предложено использовать в качестве агрегата для селективного измельчения стеклопластика ударно-центробежную мельницу. Сделаны выводы о причинах селективного разрушения стеклонаполненных пластиков в ударно-центробежной мельнице. Представлен результат селективного измельчения стеклопластика в мельнице.

Ключевые слова: стеклонаполненный пластик, матрица, стекловолокно, ударно-центробежная мельница, микротрещины.

Стеклопластик применяется во многих областях народного хозяйства. Применение стеклопластиков во многом обусловлено его механическими и физико-химическими свойствами. Он находит широкое применение в электротехнике в качестве электроизоляционных и конструкционных материалов, в машиностроении, строительстве и т.д. [1].

Согласно постановлению Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [2], отходы стеклопластика относятся к третьему классу

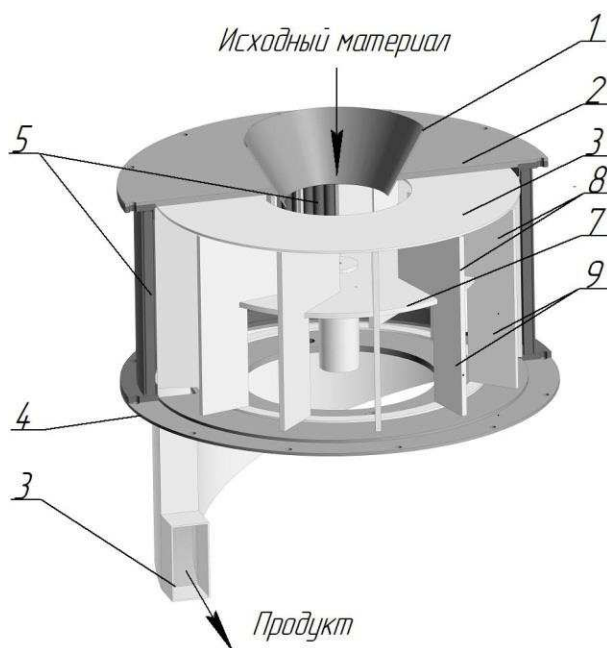
опасности – умеренно опасные вещества, что позволяет утилизировать их методом захоронения. Ежегодно возрастающие потребности в данном материале приводят к увеличению образующихся отходов и, как следствие, к увеличению площадей специальных полигонов для их захоронения, что оказывает негативное влияние на окружающую среду.

В компании ООО «Гелькоут Трейд» (г. Нижний Новгород), занимающейся выпуском композитных материалов из полимерного сырья, образуется большое количество отходов, в виде кусков (пластинок) стеклопластика. В образующихся отходах содержится стекловолокно, которое может быть повторно использовано при производстве новых изделий из стеклопластика. В виду вышесказанного, была поставлена цель настоящего исследования: разработать агрегат, который позволяет осуществить селективное измельчение стеклонаполненных пластинок.

Сотрудниками кафедры процессов и аппаратов химических производств БГТУ разработана конструкция ударно-центробежной мельницы (рисунок 1) позволяющей выделить из отходов стеклопластика армирующий компонент.

Данная конструкция состоит из загрузочного патрубка 1, крышки 2, разгрузочного патрубка 3, днища 4, отбойной поверхности 5 и ротора 6, состоящего из диска 7, разгонных 8 и отбойных 9 лопаток.

Мельница работает следующим образом: исходный материал, в виде кусков стеклопластика, с размерами не более 70×70×12 мм, загружается в мельницу через патрубок 1. За счет вращения ротора 6, в его центре создается разрежение, что способствует прохождению вместе с материалом, через патрубок 1 потока воздуха, который выполняет функцию транспортирующей среды материала к разгрузочному патрубку 3. Исходный материал, попав на вращающийся диск ротора 7, равномерным слоем разгоняется и отбрасывается в межлопаточное пространство образованное разгонными лопатками 8. Далее, куски материала, отбрасываются в рабочую зону мельницы, к отбойной поверхности 5. При ударе об отбойную поверхность 5 происходит разрушение матрицы стеклопластика, с высвобождением армирующего компонента.



- 1 – патрубок подачи исходного материала; 2 – крышка; 3 – ротор мельницы;  
4 – отбойная поверхность; 5 – разгонные лопатки ротора; 6 – диск ротора;  
7 – отбойные лопатки ротора; 8 – днище; 9 – разгрузочный патрубок

Рисунок 1 – Устройство ударно-центробежной мельницы

Не разрушенные куски материала, будут отскакивать от отбойной поверхности 5 и попадать под удар отбойных лопаток 9. Далее, двигаясь по ним, куски будут разгоняться и снова ударяться об отбойную поверхность 5. Повторное ударное воздействие на куски материала будет происходить многократно, пока не произойдет полное разрушение матрицы стеклопластика. Тонкий порошок, образованный при разрушении матрицы, в также нити стекловолокна, подхватываются нисходящим потоком воздуха и вместе с ним, вращаясь, опускается вниз к разгрузочному патрубку 3.

Исследованный нами стеклонаполненный пластик, представляет собой композиционный материал с короткими волокнами. В данной композиции, в отличие от композитов с непрерывными волокнами, где напряжения передаются на волокна полностью, напряжения на короткие волокна передаются частично. При этом, очевидно, что концы волокон не могут быть нагружены, так как матрица не может передавать напряжения на них. Из чего можно сделать вывод, что даже при наличии армирующего компонента, основная доля напряжений приходится на матрицу. Поэтому, механические свойства стеклонаполненных пластиков с короткими волокнами в большей степени определяются прочностными свойствами матрицы, и ее адгезионного взаимодействия с волокнами [3]. Так, модули упругости наиболее распространенных полимеров, используемых в качестве матрицы, составляют, ГПа: эпоксидная смола – до 5,0; полисульфон – 2,4–2,6; полифениленсульфон – 2,3–2,8; поликарбонат – 2,3–2,6; полиэтилен – 0,2–0,55; полиэфирэфиркетон – 3,7–4,2; полифенилен – 6,0–8,3. Для сравнения, модули упругости армирующего стекловолокна, в зависимости от его типа, ГПа: E (с бором) – 76,0–78,0; E (без бор) – 80,0–81,0; S – 88,0–91,0; AR – 72,0–74,0; ECR – 80,0–81,0; D – 52,0; кварц – 69,0 [4].

Лис К. [5], исходя из уравнений Стоуэлла Э. и Лью Т., установил, что, если действующие напряжения совпадают с ориентацией волокон, или наблюдается малый угол между ними, то разрушение материала определяется растягивающими напряжениями в волокнах. Однако в композитах, с хаотическим распределением армирующих волокон (в нашем случае), отсутствует единое направление волокон, и угол, в разных местах стеклопластика будет разный. Ввиду этого, резко увеличиваются сдвиговые напряжения в матрице, и по границе раздела волокно-матрица, а растягивающие напряжения в волокнах снижаются, что приводит к изменению характера разрушения от разрыва волокон к разрушению при сдвиге по границе раздела фаз или по матрице. Также в дополнении к вышесказанному необходимо упомянуть, что при хаотически распределенными короткими волокнами в матрице, некоторые волокна пересекают поверхность изделия. Поэтому, даже при использовании технологий прессования или литья под давлением, волокна выходят на поверхность под различными углами. Это в свою очередь приводит к образованию дефектов. В работе [6], было показано, что размеры начального дефекта, в полиэфирной матрице на поверхности изделий, близки к размеру пучков волокон. Как известно, повышение дефектности структуры приводит снижению прочностных характеристик.

В разработанной ударно-центробежной мельнице, перемещение материала от загрузочного к разгрузочному патрубку характеризуется высоким количеством ударных воздействий. Такое поведение материала также оказывает влияние на разрушение матрицы стеклопластика. Известно, что усталостная выносливость полимеров, с короткими волокнами, значительно меньше, чем у полимеров с непрерывными волокнами [3]. В матрице легко инициируются начальные повреждения, что приводит к нарушению целостности композита, хотя волокна остаются неповрежденными. Граница раздела фаз особенно чувствительна к усталостному разрушению, так как сдвиговые напряжения на границе раздела меняют свое направление в каждом цикле. Особенно высокий уровень напряжений испытывает граница раздела фаз на концах волокон, которые служат центрами зарождения усталостных трещин.

На рисунке 2 представлен результат селективного измельчения стеклонаполненных пластиков в ударно-центробежной мельнице.



а



б

а – отходы стеклопластика до селективного измельчения; б – отходы стеклопластика после селективного измельчения

Рисунок 2 – Результат селективного измельчения стеклопластика

#### Список использованных источников

1. Вольнов, О. И. Стеклопластик. История развития, технология производства, формообразования деталей и современное применение / О. И. Вольнов, Д. О. Дудукин // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева – Нижний Новгород, 2014. – № 3 – С. 5.
2. Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь [Электронный ресурс]: постановление министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 9 сентября 2019 г., № 3-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Минск, 2023.
3. Промышленные полимерные композиционные материалы. Пер. с англ./ под ред. П.Г. Бабаевского – М.: Химия, 1980 – 472 с., ил. – Лондон: Эплайд Сайнес Паблишер, 1977.
4. Гутников, С. И. Стекланные волокна: учебн. пособие / С. И. Гутников, Б. И. Лазорьяк, А. Н. Селезнев. – М.: Московский гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2010. – 53 с.
5. Lees, K. (1968). Polym. Eng. Sci., 8, 195.
6. Harris, B. and Cawthorne, D. (1974). Plastics and Polymers, Oct., 209.

УДК 628.33

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ПОЛИМЕРНО-ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ БОРЬБЫ С ЭВТРОФИКАЦИЕЙ ВОДОЕМОВ

**Шестакова А.А.<sup>1,2</sup>, маг., Курсанова Е.А.<sup>1</sup>, д.т.н., проф.,  
Горин К.В.<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с., Бешапошникова В.И.<sup>1</sup>, д.т.н., проф.**

<sup>1</sup>Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина

<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский институт»

<sup>1,2</sup>г. Москва, Российская Федерация

*Реферат. В статье рассмотрен вопрос распространения процесса эвтрофикации и её причин на территории Московской области. Представлено актуальное направление для борьбы с эвтрофикацией с помощью «зелёных» композитов. Рассчитаны коэффициенты весомости показателей качества материала и определены наиболее значимые. Получена функциональная зависимость сорбционной способности от основных параметров структуры композитных материалов по основным параметрам.*

**Ключевые слова:** полимерно-текстильный материал, эвтрофикация, биоремедиация водоемов.

В условиях городской экосистемы поверхностные сточные воды испытывают антропогенную нагрузку. Степень антропогенного воздействия и концентрации элементов напрямую зависят от той территории, в пределах которой расположена река [1]. Характерными загрязняющими веществами для водных объектов бассейна р. Москвы являются соединения азота и фосфора, взвешенные органические минеральные вещества [2].

Среди различных индикаторов состояния городской среды, одним из самых информативных является снег, потому что он накапливает разные загрязняющие вещества и, исходя из анализа состояния снега, можно сделать выводы о качестве воды, попадающей через почву в подземные воды и затем в водоёмы. В настоящее время наиболее распространенным явлением стала эвтрофикация – обогащение водоема эвтрофицирующими элементами, стимулирующими рост цианобактерий и микроводорослей. Главной причиной этого стало усиленное применение азотных и фосфорных удобрений и моющих средств, и сброс в водоемы больших объемов химически загрязненных бытовых сточных вод [3, 4]. В связи с этим, решение экологической проблемы очистки водоемов является актуальной проблемой.

Различают два вида эвтрофикации: естественная (процесс природного старения водоемов) и антропогенная (процесс, который ускоряет естественную эвтрофикацию в десятки раз из-за деятельности человека). Графическое сравнение скоростей распространения разных видов эвтрофикации представлено на рисунке 1.