

7. John, G. Grafting of bio-monomers. 1. Cat-ionic graft copolymerisation of cardanol using borontri-fluoridediethyletherate onto cellulose / G.John, C. K. S.Pillai // Polym. Bull. - 1989. - V. 22. - No 1. - P. 89-94.

8. Manjula, S. Kinetics and Mechanism of Oligomerization of Cardanol Using Acid Catalysts / S.Manjula, V. G.Kumar, C. K. S.Pillai // J. Appl. Polym. Sci.- 1992. - V. 45. - No. 2. - P. 309-315.

9. Glukhikh, V. Aushärtungsverhalten von Phenol-Cardanol-Formaldehyd-Harzen / V. Glukhikh, O. Shishlov, J. Talbiersry // Holztechnologie. - 2010. - V. 51. - Bd. 1. - S. 22-26.

10. Шишлов, О.Ф. Влияние отвердителей на кинетику отверждения резольных фенол-карданол-формальдегидных смол/ Шишлов О.Ф., Баулина Н.С., Глухих В.В. // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т.15. - № 6. - С. 38-41.

---

УДК 661.666.4:676:678.83

## УТИЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ ОТРАБОТАННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СЕТОК БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Шушкова Марина Геннадьевна,  
магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [shushkovam@gmail.com](mailto:shushkovam@gmail.com)

Ширинкина Екатерина Сергеевна,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [e-pashukova@mail.ru](mailto:e-pashukova@mail.ru)

**Ключевые слова:** *отработанная полиэфирная сетка, геотекстильный материал, карбонизат, лигносульфонаты, активные угли, пористая структура, сорбционная активность.*

**Аннотация.** *Представлены результаты исследований по утилизации отходов отработанных полиэфирных сеток бумагоделательных машин целлюлозно-бумажных предприятий, проанализированы их физико-химические свойства для дальнейшего использования в качестве геотекстильных материалов. Выполнены исследования по получению карбонизата из образцов отработанной полиэфирной сетки. Выполнены исследования пористой структуры и сорбционной активности полученных образцов. Установлено, что полученные образцы карбонизата могут быть использованы в качестве сырья для производства сорбентов.*

## PROCESSING OF POLYMERIC WASTE PULP AND PAPER INDUSTRY ON THE EXAMPLE OF SPENT POLYESTER MESHES OF PAPER MACHINES

Shushkova Marina Gennadievna,  
second year master student, Perm national research polytechnic university,  
Perm, E-mail: [shushkovam@gmail.com](mailto:shushkovam@gmail.com)

Shirinkina Ekaterina Sergeevna,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Perm national research polytechnic university, Perm, E-mail: [e-pashukova@mail.ru](mailto:e-pashukova@mail.ru)

**Key words:** *spent polyester mesh, geotextile material, carbonizate, lignosulfonates, active carbons, porous structure, sorption activity.*

**Abstract.** *The results of research on the utilization of wastes of waste polyester meshes of paper-making machines of pulp and paper enterprises are presented, their physico-chemical proper-*

*ties for further use as geotextile metharyls are analyzed. Studies were made to obtain carbonizate from samples of spent polyester mesh. The porous structure and sorption activity of the obtained samples were studied. It was found that the obtained samples of carbonizate can be used as raw material for the production of sorbents.*

В целлюлозно-бумажной промышленности ежегодно образуется огромное количество отходов производства и потребления.

На одном из предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) основным потоком являются древесные отходы, которые в настоящее время успешно перерабатываются. Вспомогательным потоком являются полимерные отходы, которые размещаются (в части захоронения) в окружающей среде и негативно воздействуют на неё на протяжении многих лет. Виды полимерных отходов ЦБП: отходы пленки полиэтилена, полипропилена и изделий из них незагрязненные, отходы полипропиленовой тары незагрязненные, а также отходы отработанной полиэфирной сетки бумагоделательных машин.

Согласно распоряжению Правительства РФ от 25 июля 2017 г. № 1589-р вводится запрет на захоронение отходов ЦБП, а именно: промышленного картона, бумаги, картонной и бумажной упаковки, гофротары, гофрокартона и т.д. Помимо отходов ЦБП, в списке присутствуют автомобильные шины и покрышки, полиэтилен и полиэтиленовая упаковка, стекло и стеклотара и т.д. [1].

Цель данного распоряжения - стимулировать переработку отходов, что помимо существенного улучшения экологической обстановки в стране позволит получить дополнительную прибыль. Решение проблемы утилизации полимерных отходов предприятия ЦБП является актуальной задачей. В связи с образованием значительных объемов отходов отработанной полиэфирной сетки бумагоделательных машин большой интерес представляет возможность их утилизации.

В настоящее время не разработаны методы переработки полиэфирной сетки БДМ с использованием ее ресурсного потенциала. В результате анализа литературных данных было установлено, что сетка имеет высокую стойкость к атмосферным воздействиям, устойчивость к действиям минеральных и органических кислот, щелочей и органических растворителей [2].

Отходы отработанной полиэфирной сетки, образующиеся на предприятии ЦБП имеют следующие размеры: 46...98 м по длине и 7 м по ширине. Также имеются куски более меньших размеров – 5 м по длине и 1...3 м по ширине). При анализе методов утилизации отработанной сетки, также учитывался ее размер. Одним из направлений применения ресурсного потенциала полиэфирной сетки с большим размером является ее использование в дорожном строительстве в качестве геотекстильных материалов для разделения слоев дорожной одежды [3,4]. Для этого, был проведен сравнительный анализ физико-химических свойств полиэфирной сетки и геотекстильного материала, который представлен в табл.1.

Таблица 1

Сравнительный анализ физико-химических свойств полиэфирной сетки и геотекстильного материала

Наименование	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Разрывная нагрузка при разрыве, кН/м	Температурный перепад, °С
Сетка тканая сушильная синтетическая	1050...1150	1,4...1,6	1300	-40 до +100 (при +230 – размягчается полиэфир)
Геотекстиль	80...600	0,95...3,9	150...1260	-60 до +100

Как видно из представленных данных, полиэфирная сетка выдерживает широкий диапазон перепадов температур и может быть использована в различных климатических поясах. Кроме того, отработанная полиэфирная сетка не уступает геотекстилю по прочностным свойствам.

Использование ресурсного потенциала обрывов отработанной полиэфирной сетки меньшего размера может быть реализовано путем термической деструкции методом низкотемпературного пиролиза (400...600 °С). В данном температурном интервале происходит разложение полиэфиров до образования пиролизных газов, которые могут быть сконденсированы с получением жидкой фазы, свойства которой близки к свойствам котельного топлива и твердой фазы – карбонизата, который может рассматриваться в качестве сырья для производства сорбентов.

В лабораторных условиях были выполнены исследования по получению карбонизата из полиэфирной сетки на пиролизной установке фирмы RONDE. Пиролиз выполняли в температурном диапазоне: 400, 500, 600, 650 °С; продолжительность процесса варьировалась от 15 до 60 минут. Полученные образцы карбонизата оценивались с точки зрения их сорбционных свойств. Результаты исследования сорбционных свойств карбонизата представлены в табл. 2.

Таблица 2

Определение сорбционных свойств карбонизата (неактивированного),  
полученного при разных температурных режимах

Номер образца	Температура получения карбонизата, °С	Суммарный объем пор по влагоемкости, см <sup>3</sup> /г	Нефтепродукты, кг/г
1	400	1,15	0,68
2	500	1,20	0,90
3	600	1,17	0,83
4	650	1,15	0,61

Из представленных результатов видно, что наибольшей сорбционной активностью к нефтепродуктам обладает образец 2, полученный при 500 °С, что согласуется с результатами оценки влагоемкости образцов. С целью исследования возможности повышения сорбционных свойств карбонизата выполняли исследования по активации полученных образцов. Активация полученных образцов карбонизата производилась в лабораторных условиях с использованием пара, КОН в соотношении 1:1 к карбонизату, добавлением КОН в соотношении 2:1 к исходной полиэфирной сетке с последующим ее пиролизом при температуре 800 °С и времени выдержки в печи 30 минут (табл. 3).

Таблица 3

Исследования сорбционных свойств полученного активированного карбонизата  
из сетки БДМ

Номер образца	Сорбционная активность по йоду, %	Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г	Известные марки активированных углей		
			БАУ	ДАК	ОУ-А,Б
			Сорбционная активность по йоду, %		Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г
1	34,2	108	60	30	225, 210
2	52,6	80			
3	44,5	85			

Образец № 1 – карбонизат, активированный паром; образец № 2 – карбонизат активированный гидроксидом калия в соотношении (1:1); образец № 3 – карбонизат, полученный при пиролизе сетки в присутствии КОН (1:2).

В результате лабораторных исследований сорбционных свойств активированного карбонизата установлено, что образцы карбонизата № 2 (активированный КОН в соотношении 1:1) и № 3 (активированный КОН в соотношении 2:1) имеют хорошую сорбционную активность по йоду, отвечающую требованиям предъявляемым к активным углям марок ДАК (не менее 30), что свидетельствует о наличии микропор в их структуре [5].

На основании научно-технической информации [6] в процессе пиролиза-активации лигносульфонатов формируется развитая щелевидная пористая структура угля, включающая микропоры полушириной 0,50...0,64 нм. Поэтому для формирования более пористой структуры активных углей был проведен эксперимент по карбонизации полиэфирной сетки в присутствии лигносульфонатов технических порошкообразных при совместной активации КОН (40-% раствор) в соотношении 10:1. Результаты исследований представлены в табл. 4.

Таблица 4

Основные параметры пористой структуры образцов карбонизата, полученных из отходов полиэфирной сетки и лигносульфонатов ЦБП

Показатели	Образцы карбонизата		Марка активированного угля
	№ 1	№ 2	КАУ
1	2	3	4
Суммарный объем пор, $V_{\Sigma}$ , см <sup>3</sup> /г	0,04	0,12	0,8...0,9
Объем микропор, $V_{ми}$ , см <sup>3</sup> /г	0,09	0,26	0,35...0,41
Объем мезопор, $V_{ме}$ , см <sup>3</sup> /г	0,04	0,12	0,10...0,12
Объем макропор, $V_{ма}$ , см <sup>3</sup> /г	0,06	0,13	0,35...0,40
Предельный объем сорбционного пространства, $W_0$ , см <sup>3</sup> /г	0,15	0,38	0,45...0,56
Характеристическая энергия адсорбции, $E_0$ , кДж/моль	15	19	24...26
Размер полуширины щели микропор, $X$ , нм	0,85	0,68	0,45...0,55
Площадь поверхности микропор, $S$ , м <sup>2</sup> /г	257	724	730...770
Площадь поверхности, $S_{БЭТ}$ , м <sup>2</sup> /г	225,20	630,8	-
Объем сорбционного пространства, $W_s$ , см <sup>3</sup> /г	0,14	0,35	0,45...0,5

Образец № 1 – смесь отходов полиэфирной сетки и лигносульфонатов с гидроксидом калия (в соотношении 10:1); Образец № 2 – смесь отходов полиэфирной сетки с гидроксидом калия (в соотношении 10:1).

Из приведенных данных в табл.4, можно сделать вывод о том, что образец 2 обладает лучшими качествами, сопоставимыми с параметрами активированного угля марки КАУ. Косточковый активированный уголь КАУ обладает микропористой структурой, применяется в процессе очистки воды для дехлорирования и удаления озона [7].

Таким образом, обработанная полиэфирная сетка может успешно использоваться в народном хозяйстве в качестве аналога геотекстильных материалов при разделении слоев родной одежды и в качестве сырья для получения сорбционных материалов. Поскольку тех-

нология пиролиза позволяет утилизировать полимерные отходы разнородного состава, она может быть рекомендована в качестве основного направления при решении вопроса обращения с многокомпонентными полимерными отходами целлюлозно-бумажных предприятий.

## Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 25 июля 2017 г. № 1589-р.
2. Полимеры. Геоткани: назначение и классификация.//Академия Конъюнктуры Промышленных Рынков. Аналитический портал химической промышленности. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.newchemistry.ru> (дата обращения 01.03.2018).
3. ООО «Нево-кросс». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nevo-cloth.ru> (дата обращения 02.03.2018).
4. Оруджова О.Н. Влияние гибких геотекстильных прослоек на прочность дорожных конструкций // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. №4 (334).- С.54-59.
5. Шушкова М.Г., Ширинкина Е.С. Оценка возможности использования ресурсного потенциала отработанных формующих полиэфирных сеток бумагоделательных машин//Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. Материалы конференции. Изд-во: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2017. Т.1. – С.163-166.
6. Белецкая М.Г. Синтез углеродных адсорбентов методом термохимической активации гидролизного лигнина с использованием гидроксида натрия: диссертация кандидата технических наук. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова, Архангельск, 2014.
7. Компания ЭКОФИЛЬТР - Очистка питьевой воды. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecofilter.com.ua> (дата обращения 05.03.2018).
8. Гиндулин И.К. Технический анализ нанопористых материалов. Методические указания для выполнения лабораторных работ: Уральский государственный лесотехнический университет, 2011. – 16 с.
9. Sanghamitra Sen, Shradha Patil , Dimitris S. Argyropoulos. Thermal properties of lignin in copolymers, blends, and composites: a review. Journal of Green Chemistry 2015.Vol.17. pp.1-29.

---

УДК 661.728.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

**Носкова Ольга Алексеевна,**  
канд. техн. наук, доцент,

**ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)**

**Мизев Александр Николаевич,**  
магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

**Сунцев Павел Романович,**  
магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [tcbp@pstu.ru](mailto:tcbp@pstu.ru)

*Ключевые слова:* древесные опилки, хвойная древесина, варка целлюлозы, гидролиз, азотная кислота, порошковая целлюлоза, степень полимеризации.