DOI: 10.15593/24111678/2018.01.10

УДК 676.08, 661.183.2

М.Г. Шушкова, Е.С. Ширинкина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОТРАБОТАННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СЕТОК БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

На целлюлозно-бумажных предприятиях в качестве одежды сушильной части бумагоделательных машин широко применяются полиэфирные сетки. В процессе эксплуатации сетка забивается волокнами бумаги, загрязняется маслопродуктами, что приводит к потере ее эксплуатационных свойств. Отработанная полиэфирная сетка подлежит замене и утилизации.

Анализ направлений использования ресурсного потенциала отработанной полиэфирной сетки показал целесообразность ее использования в дорожно-транспортном комплексе. На первом этапе выполнен анализ химического состава и прочностных свойств отработанной полиэфирной сетки бумагоделательных машин. На основании полученных результатов установлена возможность использования отработанной полиэфирной сетки с полотнами 7×(46–98) м в качестве альтернативы геосинтетическим материалам для разделения слоев дорожной одежды.

В ходе исследований установлена целесообразность пиролиза отработанных полиэфирных сеток с полотнами размером (1–3)×5 м с получением карбонизата, обладающего сорбционными свойствами. В лабораторных условиях получены образцы карбонизата путем пиролиза образцов полиэфирной сетки при температуре от 400–650 °С при длительности процесса 30–60 мин, установлена оптимальная температура карбонизации отработанной полиэфирной сетки (500 °С) с учетом выхода карбонизата и изменения его нефтеемкости. Доказана возможность использования полученного карбонизата в качестве сорбента для очистки объектов окружающей среды от углеводородного загрязнения при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов в результате аварийных ситуаций на объектах хранения и транспортировки.

Установлено, что наибольшей нефтеемкостью обладает карбонизат, полученный при 500 °С (нефтеемкость образца составляет 0,89 г/г). С целью повышения сорбционной активности карбонизата проведена активация образцов паром и гидроксидом калия. В результате активации достигнуто повышение нефтеемкости образцов до 1,89 г/г и 1,05 г/г соответственно. Полученные результаты по нефтеемкости исследуемых образцов карбонизата сопоставимы с нефтеемкостью товарных активных углей.

Ключевые слова: отработанные полиэфирные сетки, синтетические сетки, геотекстиль, пиролиз, дорожное строительство, сорбенты, нефтепродукты, нефтеемкость.

M.G. Shushkova, E.S. Shirinkina

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

RESOURCE POTENTIAL USE OF WASTE POLYESTER MACHINE WIRE

At the pulp and paper enterprises polyester machine wire are widely used as clothes for the drying part of paper machines. During operation, the machine wire is contaminated with paper fibers and oil products, which leads to loss of its operational properties. The polyester machine wire which was taken out of service should be replaced and treated.

The analysis of the directions of using the resource potential of the polyester machine wire showed the expediency of its use in the road transport complex. At the first stage, the chemical composition and strength properties of the polyester machine wire were analyzed. Based on the results obtained, the possibility of using a polyester machine wire with 7×(46–98) m canvases as an alternative to geosynthetic materials for the separation of pavement layers has been established.

In the course of the research, the expediency of pyrolysis of polyester machine wire with canvases of (1–3)×5 m in size was established to produce a carbonizate having sorption properties. In laboratory conditions, samples of carbonizate were prepared by pyrolysis of canvases samples at a temperature of 400–650 °C at a process time of 30 minutes, the optimum carbonization temperature of the spent polyester mesh (500 °C) was established taking into account the yield of carbonizate and the change in its oil capacity. The possibility of using the obtained carbonizate as a sorbent for cleaning environmental objects from hydrocarbon contamination during oil and oil product outflow as a result of emergency situations at storage and transportation facilities has been proved.

It has been established that carbonizate obtained at 500 °C (the oil capacity of the sample is 0.89 g/g) has the highest oil capacity. In order to increase the sorption activity of carbonizate, the samples were activated by steam and potassium

hydroxide. As a result of activation, an increase in the oil capacity of the samples to 1.89 g/g and 1.05 g/g, respectively. The obtained results on the oil capacity of the carbonizate samples are comparable with the oil capacity of commercial active coals.

Keywords: polyester machine wire, synthetic wire, geotextile, pyrolysis, road construction, sorbents, oil products, oil capacity.

На целлюлозно-бумажных предприятиях выработка бумаги производится в основном на длинносеточных бумагоделательных машинах, при этом технологический процесс производства включает стадии формования, прессования и сушки готового бумажного полотна.

Сушильная часть бумагоделательной машины состоит из вращающихся обогреваемых изнутри паром и расположенных обычно в два ряда сушильных цилиндров в шахматном порядке. Движущееся бумажное полотно прижимается к нагретой поверхности цилиндров при помощи сушильных сеток, сукон, улучшающих теплопередачу и предотвращающих коробление и сморщивание поверхности бумаги при сушке.

В настоящее время в практике целлюлозно-бумажного производства в качестве одежды сушильной части бумагоделательных машин используют синтетические сушильные сетки взамен сукна из натуральной шерсти [1]. Это связано с тем, что синтетические сетки имеют ряд преимуществ по сравнению с сукнами. Синтетический материал заменяет дорогостоящий натуральный материал (шерсть). Более того, сетки имеют больший срок службы (в среднем примерно 360–420 дней эксплуатации), меньшую массу, высокую паропроницаемость. Также синтетические волокна сетки обладают гидрофобными свойствами, что ускоряет процесс сушки и избавляет от необходимости в подсушивании материала, в отличие от использования сукна.

В процессе сушки сетка забивается волокнами бумаги, загрязняется маслом от сушильных цилиндров, в результате чего ухудшаются ее эксплуатационные свойства. Потеря эксплуатационных свойств замедляет процесс сушки, приводит к снижению качества конечного товарного продукта. Поэтому отработанная полиэфирная сетка подлежит замене и последующей утилизации.

В ходе анализа процессов эксплуатации и последующего обращения с отработанной полиэфирной сеткой бумагоделательных машин на одном из целлюлозно-бумажных предприятий Пермского края было установлено, что ежегодное образование отработанной полиэфирной сетки составляет 6–8 т/год, при этом объем отхода гораздо более значителен и примерно составляет 350 м³/год. На сегодняшний день технологические решения, позволяющие эффективно использовать ресурсный потенциал отработанной полиэфирной сетки бумагоделательной машины (БДМ), на предприятии отсутствуют. В связи с существенными объемами образования отхода требуется отведение дополнительных площадей под его складирование, что приводит к опасности загрязнения объектов окружающей среды.

В связи с этим разработка направлений использования ресурсного потенциала отработанной полиэфирной сетки БДМ является актуальной задачей, требующей решения.

С целью определения направлений использования ресурсного потенциала полиэфирных сеток был выполнен анализ их химических и физико-механических свойств. В результате исследований было установлено, что сетка обладает высокой стойкостью к атмосферным воздействиям, устойчива к действию минеральных и органических кислот, щелочей (концентрацией не выше 10 %, pH = 9...11) и органических растворителей (ацетон, бензин, четыреххлористый углерод).

На предприятии образуются отработанные сушильные сетки двух видов: с полотнами 7 м по ширине и 46–98 м по длине и с полотнами 1–3 м по ширине и до 5 м по длине.

С целью разработки способов использования ресурсного потенциала отработанных сеток был выполнен анализ научно-технической информации [1–7] в области обращения с полимерными отходами. В результате анализа было установлено, что сетки размерами 7×(46–98) м имеют физико-механические свойства, аналогичные свойствам геотекстильных материалов [8–10], в связи с чем было сделано предположение о возможности их использования для разделения слоев дорожной одежды.

Для определения возможности использования отработанной сетки в качестве альтернативы геотекстильному материалу была проведена сравнительная оценка их физико-механических свойств и химического состава в сопоставлении с известными марками геотекстиля (табл. 1).

Таблица 1

Основные физико-механические свойства и химический состав
синтетической сетки и геотекстиля

Наименование	Химический состав	Ширина, м	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина, мм	Разрывная нагрузка при разрыве, кН/м	Температурный перепад, °С
Отработанная полиэфирная сетка	полиэфир 100 %	7	1050–1150	1,4–1,6	1300	–40 до +100
Геотекстиль	полиэфир 100 %	до 4	80–600	0,95–3,9	150–1260	–60 до +100

Как видно из представленных данных, полиэфирная сетка обладает достаточной шириной и поверхностной плотностью. При этом поверхностная плотность, толщина и разрывная нагрузка для отработанной полиэфирной сетки выше, чем аналогичные показатели стандартного геотекстильного материала. В связи с этим отработанная сетка БДМ способна обеспечить требуемую прочность дорожной одежды, и ее применение в качестве аналога геотекстиля для разделения слоев дорожных одежд будет эффективным. Отработанная полиэфирная сетка выдерживает широкий диапазон перепада температур, что делает возможным ее использование в качестве геотекстильного материала в различных климатических зонах.

Таким образом, отработанная полиэфирная сетка БДМ с размером полотен 7×(46–98) м может быть использована в дорожном строительстве для возведения временных дорог в болотных местностях, при строительстве лесовозных дорог, в качестве разделителя слоев дорожной одежды.

Сетки с размером полотен (1–3)×5 м, часто загрязненные маслопродуктами, целесообразно подвергать термической деструкции путем пиролиза с получением товарных продуктов (жидкое топливо, углеродные сорбенты) [11–13].

На основании анализа научно-технической информации [14, 15] было установлено, что плавление полиэфиров начинается при температуре от 230 °С, термодеструкция полиэфира с дальнейшей его карбонизацией и образованием пиролизных газов и твердого остатка – карбонизата – наблюдается в диапазоне температур 400–600 °С. Поэтому пиролиз отработанной полиэфирной сетки целесообразно проводить в данном температурном диапазоне.

С целью установления возможности получения карбонизата из отработанной сетки БДМ, проводили пиролиз ее образцов в лабораторной муфельной печи в диапазоне температур 400–650 °С. Время нахождения образцов в печи составляло от 30 до 60 мин. На рисунке представлено изменение выхода карбонизата в зависимости от температуры и длительности термического процесса.

На основании анализа литературных данных [11–15] установлена возможность использования карбонизата в качестве сорбента для сбора нефти и нефтепродуктов при ликвидации нефтеразливов, возникающих в результате аварий при транспортировке и хранении нефти.

Для определения сорбционных свойств карбонизата использовалось отработанное масло (смесь моторного и трансмиссионного масел). В исследованиях использовались образцы, полученные при длительности пиролиза 30 мин, поскольку для них был характерен больший выход. Образцы карбонизата высушивали до постоянной массы в муфельной печи, взвешивали, помещали в мерные колбы, в которых осуществлялось дозирование одинакового объема нефтепродукта. Время нахождения карбонизата в контакте с отработанным маслом составляло 1 сут. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Рис. Выход карбонизата в зависимости от температуры и длительности термического процесса

Таблица 2

Нефтеемкость образцов карбонизата

Температура пиролиза, °C	Масса карбонизата для исследования, г	Масса карбонизата после поглощения нефтепродуктов, г	Нефтеемкость карбонизата, г/г
400	0,96	1,60	0,66
500	1,06	2,01	0,89
600	1,08	1,98	0,83
650	0,42	0,67	0,61

Как видно из представленных данных, наибольшей нефтеемкостью обладают образцы, полученные при температуре 500–600 °C, что подтверждает целесообразность пиролиза отработанной полиэфирной сетки в данном температурном диапазоне.

Для установления возможности повышения нефтеемкости карбонизата образец, полученный при 500 °C и обладающий наибольшей нефтеемкостью, подвергался активации паром и КОН.

В ходе исследований сорбционных свойств активированных образцов установлено, что нефтеемкость карбонизата, активированного паром, составила 1,89 г/г. Активация с использованием КОН позволила увеличить нефтеемкость до 1,05 г/г.

Известно, что нефтеемкость товарного активного угля составляет от 2,0–4,0 г/г (для угля активного древесного дробленого АУ-Э по ТУ 2162-054-05795731-00). Таким образом, пиролиз отработанной полиэфирной сетки с размером полотен (1–3)×5 м обеспечит не только ее эффективное обезвреживание, но и получение карбонизата, который может использоваться при производстве сорбентов для очистки объектов окружающей среды от нефти при разливах в результате аварий на объектах транспортировки и хранения нефтепродуктов.

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Отработанная полиэфирная сетка бумагоделательной машины с полотнами 7 м по ширине и 46–98 м по длине может повторно использоваться в качестве аналога геотекстильного материала в дорожном строительстве для возведения временных дорог в болотных местностях, при строительстве лесовозных дорог, в качестве разделителя слоев дорожной одежды.
2. Отработанная полиэфирная сетка с размерами полотен 1–3 м по ширине и до 5 м по длине может подвергаться термической деструкции без доступа кислорода с получением карбонизата, обладающего сорбционными свойствами.
3. В ходе моделирования процесса пиролиза отработанной полиэфирной сетки в лабораторных условиях в муфельной печи получены образцы карбонизата и установлено, что они обладают сорбционными свойствами по отношению к нефтепродуктам (нефтеемкость образцов карбонизата составила 0,61–0,89 г/г).

4. Активация карбонизата позволила повысить нефтеемкость образцов до 30 % по сравнению с не активированными образцами. Нефтеемкость карбонизата, активированного паром, составила 1,89 г/г. Активация с использованием КОН позволила увеличить нефтеемкость до 1,05 г/г.

5. Использование ресурсного потенциала отработанной полиэфирной сетки обеспечит снижение техногенной нагрузки на объекты окружающей среды за счет уменьшения объема отходов целлюлозно-бумажного предприятия, поступающих на захоронение.

Список литературы

1. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины: учеб. пособие / под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 588 с.
2. Павлов С.А. Глубокая химическая переработка отходов ПЭТФ // Твердые бытовые отходы. – 2007. – № 12. – С. 38–43.
3. Каталитический пиролиз полимерных смесей / В.Г. Систер [и др.] // Журнал физической химии. – 2011. – Т. 85, № 6. – С. 1192–1194.
4. Пиролиз полимерных материалов, используемых для изготовления компонентов топливной системы автомобиля / Г.М. Молчанов [и др.] // Экология и промышленность России. – 2014. – № 11. – С. 48–51.
5. Петров А.В., Дориомедов М.С., Скрипачев С.Ю. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов (обзор) // Труды ВИАМ. – 2015. – № 8. – С. 93–98.
6. Carneiro D.D.S., Marques M.R.D.C. Co-pyrolysis of polyethylene waste with the campos basia heavy oil // Polimeros. – 2011. – Vol. 21(5). – P. 347–352.
7. Оруджова О.Н. Влияние гибких геотекстильных прослоек на прочность дорожных конструкций // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2013. – № 4(334). – С. 54–59.
8. Luca C., Cioară I. Assessment criteria of functionality geotextiles used in road construction// Annals of the university of oradea fascicle of textiles, leatherwork. – 2016. – XVII (1). – P. 83–88.
9. Ахметшина А.Р., Коркишко А.Н. Применение геотекстиля в дорожном строительстве // Наука сегодня: проблемы и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Вологда: Маркер, 2016. – С. 18–19.
10. Белик Е.С., Злобина К.А. Исследование возможности использования отходов производства в качестве биосорбента // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 3(23). – С. 62–76.
11. Использование отходов агропромышленного комплекса для получения нефтяных сорбентов // Ю.А. Булавка [и др.] // XXI век. Техносферная безопасность. – 2017. – Т. 2, № 4(8). – С. 38–47.
12. Сорбенты для ликвидации нефтяных загрязнений, полученные автогидролизом древесных отходов / Е.В. Веприкова [и др.] // Экология и промышленность России. – 2011. – № 6. – С. 16–20.
13. Атанова А.С., Муфтиева М.С., Глушанкова И.С. Способы получения микропористых сорбентов из отходов полиэтилентерефталата и материалов, содержащих фенолформальдегидные смолы // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – № 1. – С. 189–193.
14. Атанова А.С., Муфтиева М.С., Глушанкова И.С. Утилизация отходов полиэтилентерефталата с получением углеродных сорбентов // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2014. – № 1. – С. 27–33.
15. Сорбция нефтепродуктов углеродными сорбентами / М.А. Передерий, Ю.И. Кураков, Н.И. Маликов, С.В. Молчанов // Химия твердого топлива. – 2009. – № 5. – С. 42–46.

References

1. Kurova V.S., Kokushina N.N. Teoriia i konstrukttsiia mashin i oborudovaniia otrasli. Bumago- i kartonodelatel'nye mashiny [Theory and design of machinery and equipment industry. Paper and cardboard making machines], uchebnoe posobie, Saint Petersburg, Politekhnikheskii universitet, 2006, 588 p.
2. Pavlov S.A. Glubokaia khimicheskaiia pererabotka otkhodov PETF [Deep chemical recycling of PET waste]. *Tverdye bytovye otkhody*, 2007, no. 12, pp. 38-43.
3. Sister V.G. et al. Kataliticheskii piroliz polimernykh smesei [Catalytic pyrolysis of polymer mixtures]. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2011, vol. 85, no. 6, pp. 1192-1194.
4. Molchanov G.M. et al. Piroliz polimernykh materialov, ispol'zuemykh dlia izgotovleniia komponentov toplivnoi sistemy avtomobilia [Pyrolysis of polymer materials used to make components of the fuel system of a car.]. *Ecology and Industry of Russia*, 2014, no. 11, pp. 48-51.
5. Petrov A.V., Doriomedov M.S., Skripachev S.Iu. Tekhnologii utilizatsii polimernykh kompozitsionnykh materialov (obzor) [Technologies for utilization of polymer composite materials (review)]. *FSUE All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials*, 2015, no. 8, pp. 93-98. DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-8-9-9
6. Carneiro D.D.S., Marques M.R.D.C. Co-pirolizis of polyethylene waste with the campos bacia heavy oil. *Polimeros*, 2011, vol. 21(5), pp. 347-352.
7. Orudzhova O.N. Vliianie gibkikh geotekstil'nykh prosloek na prochnost' dorozhnykh konstrukttsii. [Influence of flexible geotextile interlayers on the strength of road structures]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, 2013, no. 4 (334), pp. 54-59.
8. LUCA Cristinel, CIOARĂ Ioan. Assessment criteria of functionality geotextiles used in road construction. *Annals of the University of Oradea Fascicle of Textiles, Leatherwork*, 2016, no. XVII (1), pp. 83-88.
9. Akhmetshina A.R., Korkishko A.N. Primenenie geotekstilia v dorozhnom stroitel'stve. [Application of geotextiles in road construction]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikheskoi konferentsii. Nauka segodnia: problemy i perspektivy razvitiia*. Vologda, Marker, 2016, pp. 18-19.
10. Belik E.S., Zlobina K.A. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniia otkhodov proizvodstva v kachestve biosorbenta [Studying the possibility of using production waste as biosorbents]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnikheskogo universiteta. Prikladnaia ekologiia. Urbanistika*, 2016, no. 3 (23), pp. 62-76. DOI: 10.15593/2409;5125/2016.03.05
11. Bulavka Yu.A. et al. Ispol'zovanie otkhodov agropromyshlennogo kompleksa dlia polucheniia nef'tianykh sorbentov [Use of agricultural waste for oil sorbents production]. *XXI vek. Tekhnosfernaia bezopasnost'*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2017, vol. 2, no. 4 (8), pp. 38-47.
12. Veprikova E.V. et al. Sorbenty dlia likvidatsii nef'tianykh zagriaznenii, poluchennye avtogidrolizom drevesnykh otkhodov [Sorbents for Elimination of Oil Pollution Obtained by Auto-Hydrolysis of Wood Waste]. *Ecology and Industry of Russia*, 2011, no. 6, pp. 16-20.
13. Atanova A.S., Muftieva M.S., Glushankova I.S. Sposoby polucheniia mikroporistykh sorbentov iz otkhodov polietilentereftalatai materialov, soderzhashchikh fenolformal'degidnye smoly [Methods of obtaining microporous sorbents from waste from polyethylene terephthalate and material containing phenolformaldehyde resins]. *Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse*, 2015, no. 1, pp. 189-193.
14. Atanova A.S., Muftieva M.S., Glushankova I.S. Utilizatsiia otkhodov polietilentereftalata s polucheniem uglerodnykh sorbentov [Recycling polyethylene terephthalate with the production of carbon sorbents]. *Ekologiia i nauchno-tekhnikheskii progress. Urbanistika*, 2014, no. 1, pp. 27-33.
15. Perederii M.A., Kurakov Yu.I., Malikov N.I., Molchanov S.V. Sorbttsiia nef'teproduktov uglerodnymi sorbentami [Sorption of petroleum products by carbon sorbents]. *Solid Fuel Chemistry*, 2009, no. 5, pp. 42-46.

Получено 16.02.2018

Об авторах

Шушкова Марина Геннадьевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: shushkovam@gmail.com).

Ширинкина Екатерина Сергеевна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: shirinkina.es@mail.ru).

About the authors

Marina G. Shushkova (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: shushkovam@gmail.com).

Ekaterina S. Shirinkina (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: shirinkina.es@mail.ru).