

УДК 685.34.082
DOI 10.47367/0021-3497_2023_6_5

**ПОЛУЧЕНИЕ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ
В ПЕРЕРАБОТКЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**OBTAINING OF RAW MATERIAL RESOURCES
IN TEXTILE MATERIALS PROCESSING**

Т.А. ФЕДОРОВА, А.Е. ГАВРИЛОВА

T.A. FEDOROVA, A.E. GAVRILOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: t.fedorova50@mail.ru

Вопросы, связанные с конкурентоспособностью предприятия, устойчивостью, ограниченностью природных ресурсов, а также экологическими и социальными последствиями, приобретают в последнее время важное значение. В этой связи актуальным является переход к экономике замкнутого цикла, получению сырья из отходов производства и изделий, бывших в употреблении. Рассмотрены вопросы переработки отходов, определены основные сложности и направления развития данного сегмента. Приведены сведения о перспективном ассортименте изделий, изготавливаемых из вторичного сырья. Проанализированы подходы к формированию концепции экономики замкнутого цикла и препятствия, связанные с промышленной переработкой текстиля.

Textile products are present in all aspects of our life and are the driving force of a significant part of the global economy. Increasingly, issues related to enterprise competitiveness, sustainability, limited natural resources, as well as environmental and social consequences are being considered. In this context, the restoration and recycling of textile materials is essential. The purpose of this work is to present a material with possible chemical processing of textile materials and their reuse in the production of technical fabrics. We analyzed considerations on the concepts of the circular economy, correlated with their key factors and obstacles associated with the industrial processing of textiles.

Ключевые слова: текстиль, переработка; повторное использование; экономика замкнутого цикла, устойчивость.

Keywords: textiles, recycling, reuse, circular economy, sustainability.

Мировой рынок текстиля сегодня – это индустрия стоимостью в триллион долларов, растущая вместе с ростом численности населения и повышением уровня жизни. Совокупный годовой темп роста отрасли (CAGR) – 4,4%, что по прогнозам составит 1230 млрд долларов США к 2024 году. Ключевыми конкурентами в этой отрасли являются Северная Америка, Латинская Америка, Европейский союз, Азиатско-Тихоокеанский регион и Китай, а также Ближний Восток и Африка, причем Китай является ведущим гигантом по производству и экспорту текстиля [5].

Текстильное волокно – это сырье, которое может быть преобразовано в пряжу, используемую в текстильных или промышленных изделиях. Годовое потребление текстильных волокон на одного человека имеет стабильный рост (табл. 1) [4].

Т а б л и ц а 1

Год	Потребление текстильных волокон одним человеком в год, кг
2012	13,0
2013	13,2
2016	26
2018	29
2020	35
2021	39

Ежегодно более 5000 млн тонн текстиля собирается на свалках страны, а могли бы пойти в производство в виде вторичного сырья. Использование каждого килограмма переработанных текстильных отходов поможет сократить выбросы углекислого газа на 3,6 кг и сэкономить 6 000 литров воды [4, 5].

В нынешних экономических условиях конкуренция за новые рынки становится все более жесткой, и восприятие потребителями экологически чистых и доступных продуктов быстро растет. Это заставляет производителей инвестировать в качество своей продукции и в ответственное обращение с отходами для обеспечения устойчивости компании.

В этом контексте утилизация и переработка текстиля становятся все более актуальными: сокращение площадей свалок,

объемов потребления воды и энергии приведут не только к снижению давления на природные ресурсы, но и к снижению затрат на производство. Сокращение природных ресурсов побудило многие страны искать способы повышения своей устойчивости к дефициту поставок промышленного сырья. В России в связи с отсутствием собственной сырьевой базы переработка отходов является одним из эффективных решений получения сырья.

Сегодня более 85% текстильных изделий на рынке – это изделия из смешанных волокон, которые сложно поддаются переработке. Цель состоит в том, чтобы утилизировать отходы таким образом, чтобы их можно было использовать вместо первичных волокон. Это технически достижимо для отдельных волокнистых отходов, но многослойный текстиль и отходы смешанных тканей усложняют утилизацию. Отдельные волокна могут быть извлечены с помощью механических процессов, а также плавления, растворения и других методов. Однако переработка смешанных текстильных отходов часто не дает желаемого результата, кроме того, механическое измельчение отходов приводит к образованию множества мелких волокон. Использование химических методов разволокнения не является устойчивым из-за чрезмерного использования невозобновляемых химикатов, высоких температур и нежелательных побочных реакций. Поэтому актуальна разработка новых методов разделения смешанных текстильных отходов [1].

Отходы из разных материалов можно рассматривать как низкоуглеродистое альтернативное сырье для строительного сектора, для производства геотекстиля [4].

Переработка отходов текстильных материалов из синтетических волокон состоит в их измельчении и подаче на специальный экструдер – гранулятор, где они расплавляются и очищаются от вспомогательных веществ, содержащихся в текстильном материале [7]. Благодаря специальной конструкции экструдера в него одновременно с отходами подается первичный полимерный материал, который смешивается с расплав-

ленными и очищенными отходами, что позволяет повысить свойства изготавливаемых гранул.

Другим нетрадиционным способом переработки отходов текстильных материалов из синтетических волокон является экстрагирование селективными растворителями полимерной части отходов, благодаря чему можно получать очищенный от всех примесей полимер. Технологический процесс регенерации синтетического полимера из текстильных отходов состоит из следующих стадий: измельчение отходов; растворение синтетических волокон; фильтрация раствора от нерастворимых примесей; высадка полимера из растворителя; сушка полимера; грануляция полимера.

Перспективными технологиями разволокнения текстильных отходов являются процессы, основанные на использовании ультразвука, водяного пара и сжатого воздуха, которые существенно облегчают и ускоряют отделение волокон друг от друга. При этом разволокнение отходов происходит в щадящих условиях: не разрушается структура волокна и не снижается его прочность.

Вторичные, или восстановленные, волокна – это сырье для текстильной промышленности. Их можно использовать как в «чистом» виде, так и в смеси с первичным волокнистым сырьем. Из восстановленного волокна получают аппаратную пряжу [3]. Кроме того, минуя стадию прядения, из вторичных волокон изготавливают нетканые текстильные материалы различного назначения, используемые, например, в производстве линолеума, геотекстильных материалов, фильтров с большой плотностью, гидро- и электроизоляционных материалов, технических войлоков, тепло- и звукоизоляционных материалов, одеял, упаковочных материалов, подкладочных материалов для мебели и обуви, напольных покрытий с плотностью холста 200-400 г/м². При смешении восстановленного волокна с исходным первичным волокном получают сырье для производства высококачественной пряжи, идущей на производство всех видов текстильных материалов. Из него изготавливают и высококачественные нетканые мате-

риалы. Содержание вторичного волокна в смеси может достигать 80-90% в зависимости от назначения пряжи и материала [1].

Нетканые материалы, полученные из регенерированных волокон, обладают хорошими акустическими и механическими свойствами. Так, около 40 % всего вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) уходит на производство нетканых материалов и волокон. Волокна используются как утеплитель для спортивной и зимней одежды, спальных мешков и как наполнитель для мягких игрушек.

В Китае, признанном центре текстильной индустрии, также активно развиваются технологии переработки вторичного ПЭТ в волокно. Например, китайская компания Jiangyin Changlong Chemical Fiber Co., Ltd, активно продвигает технологии производства полиэфирного волокна из ПЭТ-отходов как на внутреннем, так и российском рынке.

Чрезвычайно интересным может быть применение «умных» изоляционных панелей STOREPET, особенно для зданий в регионах с большим шагом суточных температур [6]. Основой панелей является нетканый материал из вторичного ПЭТ, содержащий легкоплавкие (при 16-36 °С) парафины (от n-гексадеканов до n-эйкозанов) с удельной теплотой фазового перехода около 200 Дж/г. При высокой наружной температуре парафины расплавляются и прекрасно проводят тепло, а при понижении наружной температуры парафины застывают, скатываясь в сферы внутри нетканого материала, и панель становится изолятором, сберегая тепло, полученное ранее зданием [11].

В США и Западной Европе основная масса ПЭТ-бутылок расходуется на получение штапельных волокон и нетканых материалов. Это обусловлено тем, что в процессе вторичной переработки характеристическая вязкость бутылочных марок ПЭТ зачастую существенно снижается (с 0,8 до 0,65-0,72 дл/г), особенно при недостаточной сушке материала [4]. Для производства большинства видов текстильной продукции достаточна характеристическая вязкость расплава ПЭТ на уровне 0,61-0,65 дл/г. ПЭТ-волокно, формируемое из вторичного

ПЭТ, имеет механические свойства, удовлетворяющие условиям производства тканей для одежды, ковровых покрытий для жилых и офисных помещений, обивки для автомобилей и т. д. Волокнистые нетканые материалы, полученные из вторичного ПЭТ, можно использовать в качестве сорбента на очистных сооружениях, утеплителей или наполнителей, фильтрующих материалов и т. д. [14].

Геотекстильные материалы, изготовленные из регенерированных волокон, имеют плотность холста 250–850 г/м² и предназначены для фильтрации и стабилизации насыпаемого на них грунта [12]. Такие материалы используют при строительстве железных и автомобильных дорог, в борьбе с эрозией почвы, для укрепления берегов каналов, водохранилищ, пляжей, дамб, насыпей, при строительстве спортивных площадок, взлетно-посадочных полос аэродромов и для других целей. Срок службы материалов, изготовленных из синтетических волокон, – не менее 20 лет, поскольку такие волокна не подвержены гниению. Наиболее целесообразно применять полиэфирные и полипропиленовые волокна, полученные из отходов [13]. Использование вторичных текстильных волокон позволит уменьшить потребность в импорте первичного волокнистого сырья, удешевить производство и снизить цены на продукцию (матрацы, ватные одеяла, подушки и др.) на 30–50%, уменьшить загрязнение окружающей среды.

Современная промышленность располагает различными технологиями и оборудованием для переработки текстильных отходов. Окончательное решение о выборе того или иного способа переработки может быть принято после проведения технико-экономического анализа, позволяющего учесть все расходы, в том числе транспортные (на доставку отходов) и энергетические (на проведение процесса), а также наличие устойчивого спроса на продукцию из перерабатываемых отходов [9, 15].

Таким образом, разработка и реализация стратегии, предусматривающей переход от линейной экономики к экономике замкну-

того цикла, основанной на модели устойчивого развития, имеет ряд преимуществ [2] – от снижения воздействия на окружающую среду за счет сокращения использования сырья до создания рабочих мест, получения дополнительных сырьевых ресурсов и развития новых производств и технологий. При этом следует учесть, что по-прежнему существуют серьезные проблемы, связанные с химической и биологической безопасностью утилизации текстильных отходов. Эта отрасль только начинает развиваться, и нужны определенные усилия по ее развитию [3, 5].

Нужно предполагать, что ресурсы будут становиться все более дорогими и труднодоступными из-за увеличения числа правил, касающихся их происхождения, и экологических проблем, вызванных изменением климата. Повторно используя существующие материалы, компании могут уменьшить затраты на приобретение сырья. В текстильной промышленности экономика замкнутого цикла затрагивает всю производственную цепочку, т. е. один и тот же продукт и/или его составляющие могут многократно возвращаться в производственную цепочку, увеличивая получение дохода [2]. Создание безотходных производств требует решения целого ряда организационных, технических, технологических, экономических, психологических и других задач. Для этого при разработке и внедрении проектов новых предприятий должны быть учтены следующие взаимосвязанные принципы [10]:

1. Исключение образования любых видов отходов при разработке и внедрении новых технологических процессов.

2. Системность. Каждый отдельный процесс рассматривается как элемент динамичной системы – всего промышленного производства в регионе. Принцип системности должен учитывать взаимосвязь и взаимозависимость производственных, социальных и природных процессов.

3. Создание территориально-промышленных комплексов, в которых реализована замкнутая система материальных потоков сырья и отходов.

4. Комплексное и рациональное использование сырья, а также разработка и выпуск новых видов продукции с учетом возможности повторного ее использования.

5. Ограничение воздействия производства на окружающую природную и социальную среду, охрана атмосферного воздуха, воды, почвы, рекреационных ресурсов, здоровья населения. Реализация этого принципа осуществима лишь в сочетании с эффективным мониторингом, развитым экологическим нормированием и качественным многозвенным управлением природопользованием.

6. Широкое применение отходов в качестве вторичных материальных и энергетических ресурсов.

7. Рациональность организации производства, т.е. его оптимизация по энерготехнологическим, экономическим и экологическим параметрам, для чего необходима разработка новых и усовершенствование существующих технологических процессов.

Для решения этих задач необходимо создание координирующего органа по технической политике в области обращения с отходами, обладающего следующими полномочиями:

– определять виды отходов, имеющих особое значение как сырьевые ресурсы, а также вызывающих наибольшее загрязнение окружающей среды;

– создавать материально-техническую базу научных и производственных организаций и предприятий, деятельность которых связана с обращением с отходами;

– определять источники финансирования научных исследований (федеральный и региональный бюджеты, экологические фонды, отечественные коммерческие структуры, зарубежные инвестиции и др.); при этом следует иметь в виду, что финансироваться должны не только проекты по переработке отходов, но и программы, предотвращающие их образование;

– разрабатывать системы финансовых и налоговых льгот для предприятий и организаций, осуществляющих научные исследования и разработки в области обращения с отходами;

– решать вопросы предотвращения образования отходов, совершенствования экономического, правового, нормативно-методического механизмов управления отходами, информационного обеспечения всех видов деятельности в области обращения с отходами [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Свищева Е.Г., Генералова А.В., Седяров О.И. Экономика замкнутого цикла в текстильной и легкой промышленности // Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика: материалы докладов международной науч.-практ. конф. Витебск, 2016. С. 89...93.

2. Гизеллини П., Сиалани С. & Ульгиати С. Обзор экономики замкнутого цикла: ожидаемый переход к сбалансированному взаимодействию экологических и экономических систем // Журнал чистого производства. 2016. 114. С. 11...32.

3. Гейсдёрфер М., Савагет П., Вокен Н.М., Халтинк Э.Я. Циркулярная экономика – новая парадигма устойчивости? // Журнал чистого производства. 2017. 143. С. 757...768.

4. www.ecotece.org.br

5. Allwood J.M. Квадратная экономика замкнутого цикла: справочник по переработке. 2014. С. 445...477. – DOI: 10.1016/b978-0-12-396459-5.00030-1.

6. Лебедева Н.Ш., Недайводин Е.Г., Акулова М.В. Применение органических волокнистых наполнителей в производстве строительных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 1. № 1 (385). С. 129...134.

7. Хосровян И.Г., Тувин М.А., Хосровян Г.А., Тувин А.А., Роньжин В.И. Результаты математического моделирования процесса столкновения волокнистого комплекса с колком разрыхлителя-очистителя // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 6 (366). С. 136...139.

8. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Виноградова Н.В., Федосеев В.Н. Экологические и энергосберегающие технологии в текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 6 (366). С. 263...265.

9. Баишкова А.П., Баишкова Г.В., Байджанова С.Б. Прогнозирование вибро- и звукопоглощающей способности текстильных полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. № 3 (339). С. 125...129.

10. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. М.: Известия, 2011. С. 298.

11. Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015. С. 220.

12. *Рассолов И.Д., Сергиенков А.П.* Нетканый материал с повышенными функциональными свойствами // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2016)*. Иваново: ИВГПУ, 2016. С. 138...139.

13. *Трещалин Ю.М.* Критерии и критериальные уравнения для анализа свойств и прогнозирования характеристик нетканых материалов // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018)* // Иваново: ИВГПУ, 2018. С. 21...22.

14. *Гречевский Г.Е.* Зеленые технологии, зеленая химия, зеленые нанотехнологии, зеленый текстиль – основы устойчивого развития // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018)* // Иваново: ИВГПУ, 2018. С. 45...46.

15. *Коломейцева Э.А., Мoryганов А.П.* Инновационные термостойкие огнебиозащищенные технические ткани и нетканые материалы // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018)* // Иваново: ИВГПУ, 2019. С. 20...27.

16. *Федорова Т.А., Шинкевич А.И., Кудрявцева С.С.* Текущее состояние и перспективы развития легкой промышленности в Республике Татарстан: монография. Казань, 2017. С. 41...46.

REFERENCES

1. *Svishcheva E.G., Generalova A.V., Sedlyarov O.I.* Circular economy in the textile and manufacturing industry // *Processing of raw materials of the textile and manufacturing industry: theory and practice: materials of the reports of the international scientific and practical conference*. Vitebsk, 2016. P. 89...93.

2. *Ghisellini P., Cialani C. and Ulgiati S.* A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems // *J. Clean. Prod.* 2016, 114, 11–32. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007.

3. *Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M., Hultink E. J.* The circular economy—a new sustainability paradigm? // *J. Clean. Prod.* 2017, 143, p. 757...768. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048

4. www.ecotece.org.br

5. *Allwood J.M.* Square Circular Economy. *Recycling Handbook*, 2014, pp. 445...477.

6. *Lebedeva S.H., Nedayvodin E.G., Akulova M.V.* Application of organic fibrous fillers in the production of building materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020. № 1 (385). P. 129...134.

7. *Hosrovyan I.G., Tuvin M.A., Hosrovyan G.A., Tuvin A.A., Ronzhin V.I.* The results of mathematical modeling of the collision process of a fibrous complex with a baking powder-cleaner spike // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2016, No. 6 (366). P. 136...139.

8. *Aloyan R.M., Petrukhin A.B., Vlinogradova N.V., Fedoseev V.N.* Ecological and energy-saving technologies in textile and light industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2016. No. 6 (366). P. 263...265.

9. *Bashkov A.P., Bashkova G.V., Bayazhakova S.B.* Forecasting of vibration and sound-absorbing ability of textile fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2012. No. 3 (339). P. 125...129.

10. *Krichevsky G.E.* Chemical technology of textile materials. Moscow: Izvestia Publishing House, 2011. P. 298.

11. *Treshchalina Y.M.* Composite materials based on nonwoven fabrics. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2015. P. 220.

12. *Rassolov I.D., Sergienkov A.P.* Nonwoven fabric with enhanced functional properties // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX-2016)*. Иваново: ИВГПУ, 2016. P. 138...139.

13. *Treshchalina Yu.M.* Criteria and criteria equations for analyzing the properties and predicting the characteristics of nonwovens // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX-2018)*. Иваново: ИВГПУ, 2018. P. 21...22.

14. *Grechevsky G.E.* Green technologies, green chemistry, green nanotechnology, green textiles – fundamentals of sustainable development // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX-2018)*. Иваново: ИВГПУ, 2018. P. 45...46.

15. *Kolomeitseva E.A., Moryganov A.P.* Innovative heat-resistant fire-proof technical fabrics and non-woven materials // *Physics of fiber materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX-2019)*. Иваново: ИВГПУ, 2019. P. 20...27.

16. *Fedorova T.A., Shinkevich A.I., Kudryavtseva S.S.* Current state and prospects of development of light industry in the Republic of Tatarstan: monograph. Kazan, 2017. P. 41...46.

Рекомендована кафедрой медицинской инженерии Казанского национального исследовательского технологического университета. Поступила 06.04.23.