

**ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ:  
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ\***

**TEXTILE WASTE PROCESSING TECHNOLOGIES:  
PROBLEMS AND PROSPECTS**

*А.А. АЗАНОВА, Л.Г. ХИСАМИЕВА*

A.A. AZANOVA, L.G. KHISAMIYEVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: AzanovaAA@corp.knrtu.ru

*В статье представлен краткий обзор направлений в технологиях переработки текстильных отходов. Ежегодно в мире и России образуется значительное количество текстильных отходов, при этом перерабатывается не более 13%. Переработка бывшей в употреблении одежды представляет большие сложности из-за необходимости тщательной сортировки, разборки, стирки и дезинфекции. Приведен анализ методов рециклинга с точки зрения экономики замкнутого цикла, текстильные отходы могут быть переработаны на разных уровнях: одежда, полотно, волокно, полимер или мономер. Кратко описаны направления технологий рециклинга, основанные на механических, физических и химических методах воздействия на материал. Указаны ведущие российские предприятия, перерабатывающие текстильные отходы и отходы полиэтилентерефталата в текстильные волокна. Представлены перспективные технологии переработки смешанных текстильных материалов. На основе анализа зарубежного и российского опыта авторами сформулированы перспективные направления развития технологий переработки текстильных отходов: производство продукции с заранее запланированной возможностью переработки, технологии получения химически регенерированной целлюлозы с более высокими прочностными показателями, переработка натуральных волокон, удешевление технологий химического рециклинга полимеров, развитие биологических экологически чистых технологий рециклинга.*

*The article presents a brief overview of textile waste processing technologies. It is shown that a significant amount of textile waste is generated annually in the world and Russia. Of this, no more than 13% is transferred. Recycling of used clothes presents great difficulties due to the need for careful sorting and disassembly, washing, disinfection. The analysis of the methods of recycling from the point of view of the circular economy is given. Textile waste can be recycled at different levels: fabric, fiber, polymer or monomer. The classification of processing methods depending on the level of processing is considered. The directions of recycling technologies based on mechanical, physical and chemical methods of material exposure are briefly described. The leading Russian enterprises processing textile*

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Благотворительного фонда Владимира Потанина № ГСГК-0143/21 Новый магистерский курс «Технологии рециклинга отходов индустрии моды»

*waste and polyethylene terephthalate waste into textile fibers are indicated. Promising technologies for processing mixed textile materials are presented. Based on the analysis of foreign and Russian experience, the authors formulated promising directions for the development of textile waste processing technologies: the development of production technologies with a pre-planned possibility of processing, technologies for obtaining chemically regenerated cellulose with higher strength indicators, the development of technologies for processing natural fibers, cheaper technologies for chemical recycling of polymers, the development of biological environmentally friendly recycling technologies.*

**Ключевые слова:** текстильные отходы, переработка, экономика замкнутого цикла, регенерированное волокно, вторичное сырье.

**Keywords:** textile waste, recycling, closed-cycle economy, regenerated fiber, secondary raw materials.

В последние годы во всем мире растет озабоченность по поводу утилизации текстильных отходов. Так, их ежегодный мировой объем, включая нераспроданную одежду, по данным экспертов достигает 92 млн тонн, а к 2030 году ожидается 134 млн тонн. Наиболее эффективным способом обработки отходов является их переработка. Существующие на сегодняшний день в мире технологии теоретически позволяют переработать и использовать вторично до 95% текстильных отходов, однако фактически доля составляет не более 13%, а в производстве одежды используется не более 1% вторичных материалов. В настоящее время большая часть вторичной переработки заключается в передаче обработанных отходов в другие отрасли промышленности и использовании при изготовлении менее дорогостоящей продукции, которая далее, как правило, переработке не подлежит.

В России текстильные отходы от общего объема твердых коммунальных отходов составляют около 1,5%, а текстильной продукции выпускается около 962 тысячи тонн в год. Для переработки отходов такого типа в чистое вторсырье в стране имеются мощности лишь на 25 тысяч тонн в год [1].

В 2022 г. в России утвержден паспорт Федерального проекта "Экономика замкнутого цикла" (ЭЗЦ) [2]. В первую очередь инициатива направлена на возврат в хозяйственный оборот полезных компо-

нентов, которые можно извлечь из отходов производства и потребления. При такой экономической модели максимальное количество отходов должно превращаться во вторсырье – перерабатываться и использоваться повторно. Главная задача ЭЗЦ – сохранить ценность вещей, материалов и ресурсов в экономике как можно дольше.

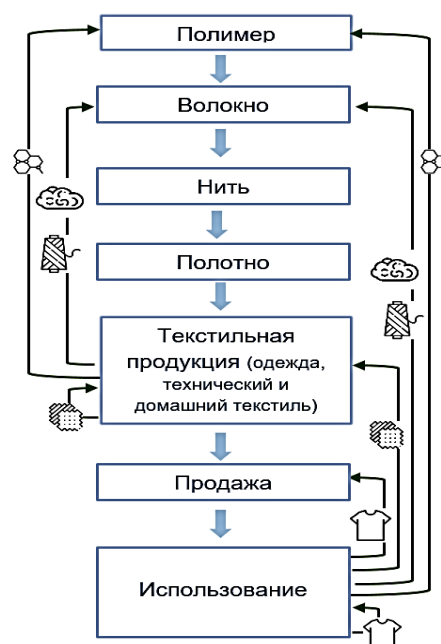


Рис. 1

Добиться этого предлагается тремя способами:

- полностью замкнуть производственные циклы, максимально перерабатывая материалы и восстанавливая товары;

– сократить долю используемых материалов при производстве за счет улучшения дизайна конструкции;

– замедлить потребление, популяризируя аренду, совместное использование и ремонт [2].

В экономике замкнутого цикла ценность сохраняется либо в биологических, либо в технических циклах. Благодаря вторичной переработке материальная ценность текстиля может быть сохранена на разных уровнях (рис. 1); по мере того как материалы перемещаются дальше по цепочке создания стоимости, сохраняемая ценность уменьшается.

Текстильные отходы могут быть переработаны на разных уровнях: одежда, полотно, волокно, полимер или мономер. Каждый тип переработки требует использования нескольких методов в зависимости от характеристики отходов. Начало любого процесса заключается в сортировке и предварительной подготовке сырья, а затем применении механических, физических или химических методов [3] (рис. 2).

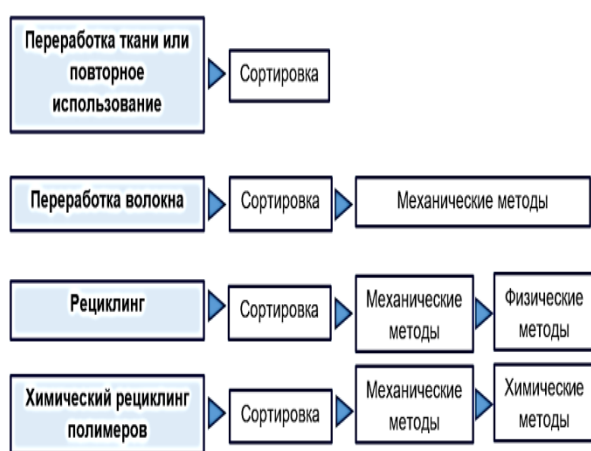


Рис. 2

Следует отметить, что существует большая разница в использовании производственных отходов (текстильного и швейного производства) и потребительских. Бывшие в употреблении текстильные изделия обычно более загрязнены, длина и прочность волокна существенно уменьшается из-за носки и стирки, к тому же они требуют удаления фурнитуры, сортировки

по видам материалов, стирки и дезинфекции, что является очень трудоемким. В результате их перерабатывать гораздо сложнее, чем производственные отходы.

На уровне нераспроданной или бывшей в употреблении одежды одним из направлений переработки является производство новых швейных изделий. В настоящее время в России начали появляться апсайкл-бренды, производящие одежду, сумки, аксессуары из таких отходов ("Rig Raiser", "Vina", "Rishi", "Jeans Revision" и многие другие). Производство новых швейных изделий возможно также при повторном использовании текстильного полотна в виде отходов швейного производства: межлекальных выпадов и концевых остатков, которые составляют от 10 до 30% от используемого материала. Однако несмотря на повышение интереса к данному направлению в настоящий момент такие производства не могут обеспечить широкие масштабы решения проблемы утилизации текстильных отходов.

#### *Механические методы*

Механические методы подразумевают использование механических процессов (резка, разволокнение и т.д.) для разделения волокон. При этом состав и структура волокон сохраняются. Таким способом перерабатывают в основном хлопчатобумажные и шерстяные текстильные отходы. Смесовые отходы также могут быть переработаны, но это затрудняет получение стабильных показателей качества вторичной пряжи. При отсутствии строгой сортировки сырья по цвету и смесовому составу получается волокнистая масса, которая пригодна для использования в качестве наполнителей (например, для мебели, матрасов), утепляющих и прокладочных полотен различного назначения, звуко- и теплоизоляционных материалов в строительстве, систем фильтрации, геотекстиля и т.п. При качественно проведенных операциях сортировки и использовании отходов, однородных по составу, возможно получение вторичной пряжи: хлопчатобумажной, шерстяной или из синтетических волокон [4]. Поскольку текстиль окрашивается во время первого производства, волокно мо-

жет подвергаться дополнительной жидкофазной обработке: отбеливанию или повторному крашению. Вторичное волокно, разумеется, будет отличаться от первичного, что ограничивает его область применения. Оно будет короче по длине и менее прочным вследствие операций измельчения. При этом выход регенерированного волокна зависит от характеристик исходного сырья и составляет обычно не более 40-50%. Для регенерированных волокон в связи с разнородностью длин и разрывных нагрузок требуется дополнительная операция – рассортировка их по длинам, которая дает управляемые стабильные характеристики и возможность наиболее экономично вкладывать прядомое волокно в более дорогие и качественные изделия [5]. Один из способов улучшения качества вторичной хлопчатобумажной пряжи – смешивание с первичными волокнами или с более дешевыми полиэфирными. Количество переработанного хлопка в пряже может варьироваться от 20% до 90%.

Отходы на основе регенерированной целлюлозы (вискоза, лиоцелл) и ацетата целлюлозы также могут подвергаться физической переработке. Однако, поскольку их прочность намного ниже прочности хлопка, повторное использование возможно только для технических целей, а не для производства тканей.

В России регенерированные волокна и изделия из них производят крупные компании: "Втор-Ком" (г. Челябинск), "Ивтехно" (г. Иваново), "КузбассЭко" (г. Кемерово), "Омская фабрика нетканых материалов" (г. Омск) и другие. Основной ассортимент продукции данных предприятий – вата и разнообразные нетканые полотна.

Применение регенерированной шерстяной пряжи позволяет удешевить продукцию на 30-40%. Зарубежные фирмы, предлагающие регенерированную шерстяную пряжу и продукцию: "Recycler Wolkat", "Geetanjali", "3CFilati", "Kremke Soul Wool" [6].

Получение вторичных волокон и текстильных полотен на их основе является более глубоким уровнем переработки, чем получение волокнистой массы как напол-

нителя или сырья для нетканых материалов. Однако для реализации принципов экономики замкнутого цикла одного этапа возврата в цепочку создания ценности недостаточно, для реализации этого подхода больше перспектив имеют физические методы.

#### *Физические методы*

Физические методы основаны на физических процессах плавления или растворения волокна, при этом химический состав полимера сохраняется. Формование вторичного волокна происходит из расплава или из раствора. Примером растворения может служить переработка хлопка или волокон на основе целлюлозы (вискоза, лиоцелл) для создания регенерированного целлюлозного волокна путем растворения целлюлозы и последующего формования из раствора.

Другим примером является расплавление измельченного термопластичного полимера и получение вторичных волокон методом экструзии: полиэфирных, полипропиленовых, реже полиамидных [7]. Способ ограничивается применением только для однородных материалов, поскольку условия плавления и формования у разных полимеров отличаются. Вторичные полиэфирные волокна в России в настоящее время почти полностью производятся из собираемых отходов бутылочного полиэтилентерефталата (ПЭТ). Применение ПЭТ отходов позволяет удешевить волокно, сохраняя при этом необходимое качество [8]. Кроме того, метод дает возможность производить окрашивание волокон в массе, что обеспечивает высокую устойчивость окраски и снижение промышленных выбросов, связанных с отделкой текстиля.

В России более 50 % вторичного ПЭТ используется для изготовления волокон разного назначения. Из них изготавливаются утепляющие материалы для одежды, геотекстильные полотна, автокомпоненты (ковры, обивка), ковровые покрытия для жилых и офисных помещений, звукопоглощающие материалы, фильтрующие и абсорбирующие элементы и другая продукция. Волокна большого диаметра ис-

пользуются для производства утеплителей спортивной одежды и спальных мешков, в качестве наполнителя мягких игрушек. В последние годы вторичный ПЭТ все активнее используется для изготовления щетины, находящей применение при производстве щеток различного назначения [9]. Из волокон меньшего диаметра получают одежные флисы. Среди отечественных производителей выпуск регенерированного волокна из бутылочных флексов производят компании "Технониколь" ("РБ-групп") (г. Гусь-Хрустальный), "Втор-Ком" и "Си Аэрлайд" (г. Челябинск), "Комитекс" (г. Сыктывкар), "Селена" (Карачаево-Черкесская Республика) и другие. Ведущий российский производитель нетканых полотен "Термопол" (торговая марка "Холлофайбер") с 2021 года предлагает одежные нетканые материалы на основе вторичных ПЭТ волокон марки "Эко-софт".

#### *Химические методы*

Химические методы связаны с изменением химического состава волокнообразующего полимера – модификации или деполимеризации, иногда вплоть до исходных мономеров. Это можно сделать химическими или биологическими методами (например, ферментативным). После химической переработки мономеры используются для повторного синтеза полимера или в других целях. Примером химической переработки является деструкция ПЭТ или нейлона до низкомолекулярных фракций с последующей полимеризацией и получением вторичных текстильных волокон, данные технологии демонстрируют зарубежные компании. В таких процессах ПЭТ подвергается деполимеризации при взаимодействии с химическими веществами, такими, как метанол (метанолиз с получением мономера – диметилтерефталата); этиленгликоль (гликолиз с получением бисгидроэтилтерефталата); кислоты (гидролиз с получением терефталевой кислоты) или щелочи (омыление). Эти методы достаточно энергоемки, требуют высокотехнологичного оборудования, однако дают возможность использовать сырье (отходы ПЭТ) более низкого качества, по-

скольку такие химические процессы позволяют производить дополнительную очистку. Данное направление предполагает, например, проведение процесса деполимеризации отходов ПЭТ нейтральным гидролизом до терефталевой кислоты и этиленгликоля, повторно идущих на синтез ПЭТ. Чаще всего при этом используются непрерывные процессы. Это относительно экономичные (при больших объемах) и безопасные для окружающей среды способы переработки отходов ПЭТ [10].

Находящимся сегодня на стадии опытно-промышленных разработок методом является экстрагирование селективными растворителями полимерной части отходов, благодаря которому можно получать очищенный от всех примесей полимер. Так, в 2022 году планировался запуск опытно-промышленной комплексной линии по переработке хлопкополиэфирных текстильных отходов при участии компании "Sulzer". На первом этапе растворяется полиэфирная составляющая и удаляются красители, катализаторы и другие добавки. Нерастворимые добавки выделяются в виде тонких порошков и извлекаются в процессе фильтрации. В результате получается два продукта: крошка из ПЭТ, с одной стороны, и целлюлозная масса, которая может быть повторно использована для прядения нитей, – с другой [11].

Технологическими препятствиями для широкого распространения переработки текстильных отходов являются проблемы, связанные с сортировкой отходов и их подготовкой. Поскольку текстильные изделия являются неоднородными по волокнистому составу, при этом одежда помимо текстиля может содержать фурнитуру и другие материалы, переработка таких отходов является трудоемкой, энергозатратной и в целом дорогостоящей. Так, суммарные расходы на трансформацию ветхого текстиля составляют около 60 руб./кг, и в зависимости от вида материала продажа сырья позволяет возратить лишь от 3 до 25 руб./кг [12]. Поэтому предприятиям этой сферы требуется поддержка [13], [14], создание специальных государственных программ, стимулирующих переработку.

## ВЫВОДЫ

Наиболее рациональным подходом к вопросу снижения количества отходов является их предотвращение. Перспективным является развитие технологий производства продукции с заранее запланированной возможностью переработки (например, создание одежды из однородных волокон или смешанных волокон, которые могут быть переработаны в смешанном виде). Актуальным является создание альтернативы полиуретановым текстильным волокнам, которые на данный момент не перерабатываются, создание технологий получения химически регенерированной целлюлозы с более высокими прочностными показателями, развитие технологий переработки натуральных волокон – альтернативы хлопку, наносящих минимальный вред окружающей среде (льняного, конопляного и других), удешевление технологий химического рециклинга полимеров, развитие биологических экологически чистых технологий рециклинга.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В России увеличат объемы переработки одежды [https://rg.ru/2022/05/27/v-rossii-uvlichat-obemu-pererabotki-odezhdy.html]
2. Единая платформа экономики замкнутого цикла России [https://reo.ru/ezc].
3. *Bos H. L., Harmsen P.* Textiles for Circular Fashion. Part 1: Fibre Resources and Recycling. Wageningen: Options Wageningen Food & Biobased Research, 2020.
4. *Герасимович Е.М.* Проблемы и перспективы вторичной переработки отходов текстильной промышленности // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. №5-1. С. 79...82.
5. *Фролова И.В., Ишанова Н.С.* Усовершенствование технологии регенерации текстильных волокон из отходов в виде лоскута // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. №4(364). С. 82...86.
6. A new textiles economy: redesigning fashion's future [https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy]
7. *Клинков А.С., Беляев П.С., Соколов М.В.* Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2005.
8. *Калямина Е.Ю., Аниськова В.А., Лошкарев Р.В., Степанов В.А.* Использование вторичных полиэфирных волокон в производстве нетканых

материалов технического назначения // Сб. науч. труд. междунар. науч. конф., посв. 110-летию со дня рожд. проф. А.Г. Севостьянова. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. Ч. 1. С. 297...302.

9. *Петов Н.А.* Применение вторичного полиэтилентерефталата // Полимерные материалы. 2010. №4-5. С. 74...78.
10. *Керницкий В.И., Жур Н.А.* Переработка отходов полиэтилентерефталата // Твердые бытовые отходы. 2015. № 5(107). С. 17...23.
11. Innovative textile processing technology [https://www.sulzer.com/en/shared/stories/groundbreaking-textile-recycling-technology]
12. Системы управления бытовыми отходами разных стран: Рецепты для Института экономики роста им. Столыпина П.А. [https://stolypin.institute/wpcontent/uploads/2019/10/sistemy-utilizatsii-othodovraznyh-stran-25-09-2019.pdf]
13. *Голов Р.С., Костыгова Л.А., Смирнов В.Г.* Использование текстильных отходов: анализ состояния и перспективы развития // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5. С. 241...250.
14. *Лю С.* Барьеры перехода к замкнутым цепям поставок для обеспечения устойчивости текстильной промышленности // Вестник РГЭУРИНХ. 2021. №2 (74). С.51...58.

## REFERENCES

1. Russia will increase the volume of clothing recycling [https://rg.ru/2022/05/27/v-rossii-uvlichat-obemu-pererabotki-odezhdy.html]
2. The unified platform of the closed-cycle economy of Russia [https://reo.ru/ezc]
3. *Bos H.L., Harmsen R.* Textiles for Circular Fashion. Part 1: Fibre Resources and Recycling. Wageningen: Options Wageningen Food & Biobased Research, 2020.
4. *Gerasimovich E.M.* Problems and prospects of secondary processing of textile industry waste // Actual problems of humanities and natural sciences. 2016. No. 5-1. pp. 79...82.
5. *Frolova I.V., Ishanova N.S.* Improvement of technology of regeneration of textile fibers from waste in the form of a flap // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. № 4(364). Pp. 82...86.
6. A new textiles economy: redesigning fashion's future [https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy]
7. *Klinkov A.S., Belyaev P.S., Sokolov M.V.* Standardization and recycling of polymer materials: textbook. stipend. Tambov: Publishing house of TSTU, 2005.
8. *E.Y. Kalyamina, V.A. Aniskova, R.V. Loshkarev, V.A. Stepanov.* The use of secondary polyester fibers in the production of nonwovens for technical purposes // International scientific conference, dedicated to the 110th anniversary of the birth. prof. A.G.

Sevostyanova. Moscow: A.N. Kosygin Russian State University, 2020. Part 1. Pp. 297...302.

9. *Petov N.A.* Application of secondary polyethylene terephthalate // *Polymer materials*, 2010. No.4-5. Pp. 74...78.

10. *Kernitsky V.I., Zhir N.A.* Processing of polyethylene terephthalate waste // *Solid household waste*. 2015. No. 5(107). P. 17...23.

11. Innovative textile processing technology [<https://www.sulzer.com/en/shared/stories/groundbreaking-textile-recycling-technology>]

12. Household waste management systems of different countries: Recipes for the Stolypin P.A. Institute of Growth Economics [<https://stolypin.institute/wpcontent/uploads/2019/10/sistemny-utilizatsii-otvodovraznyh-stran-25-09-2019.pdf>]

13. *Golov R.S., Kostygova L.A., Smirnov V.G.* The use of textile waste: analysis of the state and prospects of development // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2021. № 5 (395). Pp. 241...250.

14. *Liu S.* Barriers to the transition to closed supply chains to ensure the sustainability of the tech industry // *Bulletin of the RSEURINH*. 2021. No. 2 (74). Pp.51...58.

Рекомендована организационным комитетом IV Международного научно-практического симпозиума "Технический текстиль России: нетканые материалы, сырье, реинжиниринг". Поступила 07.03.23.