

Научная статья

УДК 677.017

EDN MZXRUZ

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-2-68-15-22>

Азиза Шохратовна Иргашева¹

Любовь Леонидовна Чагина²

^{1,2} Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия

¹ zyuzik_93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5319-8896>

² lyu-chagina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0351-8177>

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТЫ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА РЕАЛИЗАЦИЮ ПРИНЦИПОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. Статья посвящена анализу современного оборудования, используемого для переработки текстильных отходов – одной из ключевых задач в контексте устойчивого развития и сокращения экологического следа индустрии моды. Особое внимание уделено функциональным особенностям оборудования, его эффективности, энергоемкости и возможности интеграции в производственные циклы. Статья подчеркивает важность внедрения таких технологий для снижения объемов захоронения отходов, сокращения потребления первичного сырья и перехода к циркулярной экономике. Также рассматриваются направления развития переработки текстиля, новые тенденции, которые могут изменить подход к утилизации отхода. В работе подчеркивается необходимость совместного сотрудничества между модными брендами, научными институтами, производителями оборудования для внедрения ответственного производства в текстильной и легкой промышленности.

Ключевые слова: отходы, переработка, технологии замкнутого цикла, оборудование, текстильная и легкая промышленность, устойчивое развитие, утилизация

Для цитирования. Иргашева А. Ш., Чагина Л. Л. Современные технологии и инструменты, направленные на реализацию принципов устойчивого развития в текстильной и легкой промышленности // Технологии и качество. 2025. № 2(68). С. 15–22. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-2-68-15-22>.

Original article

Aziza Sh. Irgasheva¹

Lyubov' L. Chagina²

^{1,2} Kostroma State University, Kostroma, Russia

MODERN TECHNOLOGIES AND TOOLS AIMED AT IMPLEMENTING THE PRINCIPLES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE TEXTILE AND LIGHT INDUSTRY

Abstract. The article is devoted to the analysis of modern equipment used for processing textile waste, which is one of the key tasks in the context of sustainable development and of reducing the environmental footprint of the fashion industry. Special attention is paid to the functional features of the equipment, its efficiency, energy intensity and the possibility of integration into production cycles. The article highlights the importance of introducing such technologies to reduce waste disposal and consumption of primary raw materials, and transition to circular economy. The directions of textile recycling development and new trends that may change the approach to waste disposal are also considered. The paper highlights the importance of joint cooperation between fashion brands, scientific institutes, and equipment manufacturers for the introduction of responsible manufacturing in the textile industry.

Keywords: waste, recycling, closed-loop technologies, equipment, textile and light industry, sustainable development, utilisation

For citation: Irgasheva A. Sh., Chagina L. L. Modern technologies and tools aimed at implementing the principles of sustainable development in the textile and light industry. Technologies & Quality. 2025. No 2(68). P. 15–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-2-68-15-22>.

В 2015 году около двухсот государств – членов ООН приняли глобальные цели устойчивого развития (ЦУР), включающие семнадцать целей, выстроенных вокруг трех компонентов: социального, экологического и экономического. Двенадцатой целью ООН в области устойчивого развития является обеспечение рациональных моделей потребления и производства (ответственное потребление и производство) [1]. Для реализации данной концепции производители должны минимизировать нагрузку на окружающую среду, а потребители – бережнее относиться к ресурсам, практиковать повторное использование и делать выбор в пользу более экологичных продуктов.

Переработка вторичного сырья является одним из актуальных направлений при переходе к рациональным моделям потребления и производства. Из-за развития так называемой быстрой моды образуется большое количество низкокачественной одежды в сочетании с более быстрой и высокой степенью утилизации. Эта тенденция привела к тому, что на сегодняшний день постпромышленные и постпотребительские текстильные отходы вывозятся на свалки или сжигаются.

Процесс переработки потребительских текстильных отходов трудоемкий и состоит из последовательных этапов: сбор, сортировка, транспортировка, переработка. Переработка текстильных отходов позволяет индустрии моды двигаться в направлении экономики замкнутого цикла. Актуальность рассматриваемой проблемы подтверждают проводимые научные исследования [2–10]. Учеными предложены некоторые альтернативы для уменьшения объема текстильных отходов в промышленности и при сборе коммунальных отходов [2]. Разработана схема движения текстильных отходов и система мероприятий по стимулированию их переработки [3]. Реализован способ переработки межлекальных отходов прорезиненных тканей, образующихся при производстве средств индивидуальной защиты кожи изолирующего типа, а также самих костюмов с истекшим сроком хранения в композиционные материалы путем дробления и скрепления с полимерным связующим [4]. Осуществлены исследования по выявлению сильных и слабых сторон, возможностей и угроз реализации концепции ответственного потребления в модной индустрии [6]. Разработан способ получения композиционных материалов для изготовления одежды из текстильных отходов [6]. Исследовательский проект RESYNTEX ориентирован на поиск новой циркулярной бизнес-

модели для химической и текстильной отраслей и изучение возможностей получения вторичного сырья из непригодных для носки отходов текстильной промышленности. В ряде работ рассматривается возможность применения принципов бережливого производства на текстильных и швейных предприятиях [7, 8].

При переходе к устойчивым моделям производства важно учитывать необходимость в усовершенствовании стадий обработки, включая инновационные технологии, что могло бы сократить потребление воды, энергии, химических веществ. На сегодняшний день замена «мокрых» процессов, таких как крашение, отбеливание, мерсеризация, печать и аппретирование, на сухие методы, такие как лазерная обработка, ультразвуковое крашение, является ключевым направлением. Рассматриваемые технологии практически не требуют смывки. Такой переход может привести к сокращению выбросов CO_2 до 89 % и снизить потребление воды [11].

Существуют компании в области машиностроения, которые работают в направлении совершенствования технологических процессов. Создана технология ионизированной формы газа для нанесения на поверхность ткани, при которой удаляются загрязнения. Преимуществом данной технологии является отсутствие выбросов и низкое энергопотребление [12].

Компания MTIX (Великобритания) разработала мультиплексную лазерную систему улучшения поверхности MLSE® для экологически безопасной обработки текстильных изделий. С помощью лазерной плазмы можно непрерывно в больших объемах обрабатывать поверхность тканей всех типов, создавать долговечные технические характеристики и отделку [12].

Итальянская компания GRINP производит оборудование, используя собственную технологию «атмосферной плазмы». Промышленные машины данного производителя способны заменить традиционные методы предварительной обработки, например операции отбеливания. Компактное, модульное оборудование PLAtex самоочищается и функционирует без воды. Для точного количества нанесения красителя и средств отделки ткани создано оборудование цифрового окрашивания. Процесс контролируется цифровым способом, при этом требуется незначительное количество воды, меньше красителей и химических средств, чем в традиционных способах окрашивания ткани. Данный процесс отличается от цифровой печати за счет создания рисунков на поверхности ткани методом распыления. Для цифровой печати часто требуются дорогие

специальные чернила, тогда как для окраски распылением можно использовать традиционные красители.

Индийский производитель “Alchemie technology” реализует цифровую технологию струйной обработки с использованием красильной машины Endeavour и отделочной Novara. Применяемая технология обеспечивает глубокое проникновение красителей и отделочных элементов в волокно. В дополнение в результате применения инфракрасного излучения реализован запатентованный процесс фиксации красителя на поверхности ткани [13].

Шведская компания “Imogo” разработала цифровую технологию крашения с использованием сверхкритического CO₂. Суть методики состоит в том, что углекислый газ в сверхкритическом состоянии заменяет воду в качестве растворителя. Это означает, что на этапе окрашивания не требуется использование воды, что делает его альтернативой традиционным «мокрым» процессам. Процесс крашения с использованием сверхкритического CO₂ начинается с подготовки углекислого газа: элемент сжимают и нагревают в специальном реакторе до достижения сверхкритического состояния. Данное состояние возникает при температуре около 31°C и давлении 73 атм. После этого в сверхкритический CO₂ добавляют сухой краситель, чаще всего предназначенный для синтетических волокон. Материал (ткань или волокно) помещают в автоклав, сверхкритический CO₂ проникает в структуру материала, распределяя краситель на молекулярном уровне. После завершения процесса давление в системе снижают, это приводит к переходу CO₂ обратно в газообразное состояние. Преимущество этой технологии заключается в том, что этап промывки полностью исключается, краситель не накапливается в материале, а улетучивается вместе с CO₂. Это не только сокращает расход воды, но и предотвращает образование токсичных сточных вод, делая процесс экологически безопасным.

Производитель “Sonovia” (Израиль) предложил ультразвуковую технологию для пропитки тканей различными составами: антимикробными, гидрофобными, огнезащитными или УФ-барьерными покрытиями. Идея состоит в том, что ультразвуковые волны создают микроскопические пузырьки в жидкости, которые генерируют высокоэнергетические струи. Эти струи интегрируют вещество в волокна ткани, что обеспечивает долговечность покрытия. Оборудование для пропитки представляет собой модульную установку, которая включается в тек-

стильные линии. Ткань пропускается через ванну с раствором, например, оксидом цинка для антимикробного эффекта. После обработки ткань высушивают, при этом этап промывки не требуется, так как избыток реагентов в процессе не образуется. Данный метод сокращает расход воды на 90 %. Во время пандемии технология использовалась для массового производства масок с антивирусным покрытием.

Китайская компания “Indidye” использует акустические технологии (звуковые волны) для инновационного нанесения натуральных красителей на текстиль. Как и в технологиях производителя “Sonovia”, звуковые волны (частота 20...100 кГц) создают микроскопические пузырьки в жидком растворе красителя. “Indidye” использует растительные красители (индиго, хну, куркуму, экстракты листьев и корней), которые, как правило, менее стойкие, чем синтетические, но их сочетание с акустической обработкой улучшает фиксацию. Бренды, ориентированные на устойчивость, могут использовать такие технологии для сертификации GOTS или Fair Trade.

Использование озона в текстильной и легкой промышленности набирает популярность в качестве экологичной альтернативы традиционным методам. Среди компаний, активно применяющих озон для сокращения ресурсопотребления, следует отметить швейцарскую компанию “Ozonía” и индийскую “Ecotex”, использующие озон для удаления загрязнения на поверхности ткани, что упрощает последующую стирку. Бренды H&M и Zara тестируют озонное отбеливание джинсовых тканей в рамках программ устойчивого развития [14].

При производстве джинсовой ткани в качестве альтернативы ручному выскабливанию могут быть использованы лазерные технологии. С помощью лазера можно создавать винтажные эффекты, узоры, намеренные дыры и разрывы на одежде. Процесс начинается с создания дизайна в цифровом формате. Далее лучом лазера выжигается верхний слой полотна или изделия, создавая нужный эффект. Для смягчения ткани может применяться технология “eFlow”, разработанная компанией “Jeanologia” (Испания) и предназначенная для экологической отделки джинсовой ткани.

“Tonello” и “Jeanologia” (Испания) – компании, которые производят и продают различные технологии промышленного окрашивания и отделки. Они используют озоновые и лазерные технологии и уделяют особое внимание экологичности джинсовых тканей (рис. 1).



Рис. 1. Лазерная обработка джинсовых брюк от компании “Jeanologia” [15]

Одним из важнейших приоритетов индустрии моды является поиск высокоэффективных водо- и маслоотталкивающих средств, не содержащих перфторуглерод (ПФУ). Вместо ПФУ могут быть использованы другие синтетические химические вещества, например, силикон или химические вещества на биологической основе, такие как воск, древесина, растворы на биологической основе. Из-за высокой токсичности от использования ПФУ необходимо постепенно отказываться и переходить к безопасным альтернативным вариантам.

Американская компания “OSM Shield ZERO” разработала технологию придания тканям высоких водо- и маслоотталкивающих свойств без применения соединений перфторалкила и связанных с ними токсинов. Эта химическая технология включает нанесение эмульсии традиционными методами на все типы волокон, но основное внимание уделяется хлопчатобумажным и полиэфирным тканям.

Поиск метода вторичной переработки для разделения и переработки смесовых волокон уже давно является одной из главных целей «модных гигантов». В 2016 году фонд H&M запустил программу Recycling Revolution совместно с Гонконгским научно-исследовательским институтом текстиля и одежды (HKRITA) с целью создания метода для разделения смесовых волокон тканей с применением «зеленых машин». Оборудование не загрязняет атмосферу, так как работает по принципу замкнутого цикла, в котором все элементы используются повторно. На выходе образуются полиэфирные волокна и целлюлозный порошок. Отделенные полиэфирные волокна могут быть переработаны и использованы для создания новых материалов [16].

Первостепенное значение для переработки имеет сортировка, однако данный процесс является трудоемким и сложным. Качественная

сортировка увеличивает количество извлеченных полезных материалов и минимизирует отправляемые на свалку отходы. Одежда сортируется по волокнистому составу, цвету, качеству. После сортировки вручную удаляются этикетки, молнии, пуговицы, нашивки, металлические детали и другая фурнитура. На сегодняшний день на рынке представлено крайне незначительное количество оборудования для переработки текстильных отходов, в том числе для сортировки и разделения текстильных отходов.

Сортировочная машина Mistral+connect французской компании “Pellenc ST” – это универсальное оборудование для сортировки бытовых и промышленных отходов. Для сортировки материалов используются технологии ближнего инфракрасного излучения и среднего инфракрасного излучения. Машина способна обрабатывать 4 тонны отходов в час [17].

Корейский научно-исследовательский институт химической технологии (KRICT) разработал технологию замкнутого цикла переработки текстильных отходов. Исследовательская группа использовала биоразлагаемое соединение для химического выделения полиэстера из смеси отходов тканей (рис. 2).

Химическая переработка превращает полимерные отходы в исходные материалы, потенциально может обеспечить цикличность в переработке полиэфирных отходов, в то время как механическая переработка может быть использована для получения материала только более низкого качества. При обычном способе химической переработки для полного разложения полиэстера требуется высокая температура реакции, превышающая 200 °С.



Рис. 2. Химическая сортировка для выборочного сбора полиэстера из отходов пластмасс и текстиля [18]

Исследователи KRICT разработали систему реакции низкотемпературного гликолиза для превращения химически отсортированных от-

ходов полиэфира в чистый бис-(2-гидроксиэтил) терептат, который является важным строительным блоком для получения новых полимеров. Мономерные соединения, полученные в результате химической переработки, обладают качеством, эквивалентным качеству, получаемому из нефти, поскольку при химической сортировке используется то же самое соединение. Реакционная система может быть легко и экономично интегрирована с технологией химической сортировки для применений, связанных с переработкой пластика или текстиля, где существуют требования к высокому качеству продукции [19].

Многопрофильные научно-исследовательские группы в настоящее время работают над созданием крупномасштабных установок для химической переработки отходов одежды. На сегодняшний день технология химической переработки лицензирована компанией “Renew System Co., Ltd” (Южная Корея).

При механической переработке текстильный материал превращается в новый материал без изменения его структуры. Отходы сортируются, проходят чистку от фурнитур и измельчаются. В процессе измельчения длина волокон значительно сокращается. Для измельчения отходов применяются шредеры. На сегодняшний день на рынке представлены различные шредеры отечественного и зарубежного производства [20].

Подольский завод с 2016 года выпускает промышленное оборудование для переработки, утилизации, сортировки полимеров и вторсырья, в частности одновальные и двухвальные шредеры. Из зарубежных компаний существуют такие производители, как “Shred-tech” (Канада) и “Franklin Miller” (США). Shred-Tech® предлагает модели одних из самых высококачественных промышленных шредеров в мире. Компания существует с 1978 года. Отдел исследований и разработок Shred-Tech® разработал и внедрил множество усовершенствований, которые снизили расход топлива и выбросов вредных веществ.

Французская компания “Laroche”, основанная в 1926 году, является одним из мировых лидеров в области производства оборудования для переработки волокон и создания технологий вторичной переработки материалов. Компания выпускает автоматизированное оборудование для переработки текстильных отходов с разным волокнистым составом. Полученные материалы применяются в различных областях: для производства матрасов, мебели, изоляционных материалов, подложки для ковров в автомобилях и прочего [21].

Процессы переработки отходов в компании “Laroche” включают:

- переработку текстильных отходов (промышленных и бытовых);
- переработку готовых текстильных изделий с автоматическим удалением фурнитуры (пуговиц, молний и прочих нетекстильных включений);
- разволокнение кромок в online или offline режиме на производстве нетканых материалов;
- переработку отходов производства подгузников и гигиенической продукции для получения вторичной целлюлозы.

В 1980 году английский инженер Кен Милль создал компанию “Ken Mills Engineering Ltd”, которая занимается проектированием и производством систем для переработки отходов. За четыре десятилетия компания сделала значительные успехи в этой области. Оборудование для переработки отходов включает измельчитель тюков с функцией металлодетектора. Отходы текстиля сбрасываются на подвижной пол, из которого подаются на шипованную ленту. Шипованный ремень разрывает упакованный в тюки материал и измельчает его. Далее измельченные отходы равномерно подаются на конвейер и проходят через металлодетектор. Отходы, содержащие металлическую фурнитуру, такие как молнии, булавки, пуговицы, заклепки и т. д., автоматически отбраковываются и помещаются в специальный контейнер. Чистый материал собирается в отдельный контейнер для дальнейшей переработки.

ВЫВОДЫ:

1. В результате выполненного исследования выявлены и проанализированы технологические инновации в области отделки текстиля на стадиях крашения, отбеливания, мерсеризации, печати, аппретирования, которые способны сократить потребление воды, энергии, химических веществ, что в конечном итоге направлено на переход к ответственным моделям производства.

2. Показано, что переработка вторичного сырья является одной из актуальных проблем в области устойчивого развития, что подтверждает необходимость осуществления научных исследований и разработок в направлении создания технологий переработки постпромышленных и постпотребительских текстильных отходов.

3. Проведен аналитический обзор мировых лидеров в области производства оборудования для переработки волокон и создания тех-

нологий вторичной переработки материалов, который показал, что в настоящее время как в России, так и за рубежом существует потреб-

ность в совершенствовании исследуемых процессов за счет перехода к технологиям замкнутого цикла.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Цели в области устойчивого развития // ООН : офиц. сайт. URL: <https://www.un.org/sustainable-development/ru/sustainable-development-goals> (дата обращения: 22.04.2025).
2. Баранова А. Ф., Мамедов С. Н., Погодина И. В. Минимизация объема отходов, генерируемых текстильной промышленностью // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 5(383). С. 283–287.
3. Голов Р. С., Костыгова Л. А., Смирнов В. Г. Использование текстильных отходов: анализ состояния и перспективы развития // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5(395). С. 241–250.
4. Полимерно-волоконные композиты на основе отходов прорезиненных тканей / Е. Ю. Гаврилюк, А. А. Азанова, Р. Р. Мустафина, А. А. Сухова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 6(414). С. 295–299.
5. Каюмова Р. Ф., Невольни Ю. М. Пути использования текстильных отходов на примере межлекальных выпадов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1. С. 108–113.
6. Кащеев О. В., Усик С. П., Вингерт А. И. Ответственное потребление как новая парадигма культуры современного общества // Вестник славянских культур. 2021. № 61. С. 127–135.
7. Принципы внедрения бережливого производства на швейных предприятиях / М. А. Нуржасарова, Л. Т. Сарттарова, Д. Б. Дикенова [и др.] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 5(383). С. 187–191.
8. Применение инструментов бережливого производства на примере организации работы склада отделочного производства текстильного предприятия / Д. Н. Шушунин, А. В. Круглов, В. А. Зяблов, Н. А. Грузинцева // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 5(413). С. 20–24.
9. Герасимович Е. М. Проблемы и перспективы вторичной переработки отходов текстильной промышленности // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-vtorichnoy-pererabotki-othodov-tekstilnoy-promyshlennosti> (дата обращения: 24.04.2025).
10. Бекмуродова О. А. к., Илюшина С. В., Минязова А. Н. Проблемы переработки отходов текстильной и легкой промышленности // Архивариус. 2016. № 10(2). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemyporerabotki-othodov-tekstilnoy-i-legkoypromyshlennosti> (дата обращения: 24.04.2025).
11. Gardetti M. A. Introduction and the concept of circular economy // Circular Economy in Textiles and Apparel / ed. S. S. Muthu. Cambridge : Woodhead Publishing, 2019. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102630-4.00001-7>.
12. De Jesus A., Mendonça S. Lost in Transition Drivers and Barriers in the Ecoinnovation Road to the Circular Economy // Ecological Economics. 2018. Vol. 145. P. 75–89.
13. Иргашева А. Ш., Чагина Л. Л., Трынова А. В. Перспективы внедрения систем замкнутого цикла в индустрии моды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3(405). С. 5–14.
14. Innovative and sustainable business models in the fashion industry: Entrepreneurial drivers, opportunities, and challenges / B. V. Todeschini, M. N. Cortimiglia, D. Callegarode-Menezes, A. Ghezzi // Business Horizons. 2017. P. 759–770.
15. SGS, Jeanologia Partner to make laser finishing more efficient // Sourcing Journal. URL: <https://sourcingjournal.com/denim/denim-sustainability/sgs-jeanologia-laser-finishing-bluescan-advanced-light-sensitive-fabric-test-345283> (дата обращения: 10.04.2025).
16. Sandvik I. M., Stubbs W. Circular fashion supply chain through textile-to-textile recycling // Journal of Fashion Marketing and Management. 2019. Vol. 23, No 3. P. 366–381.
17. Fung Yi. N., Choi Ts. M., Liu R. Sustainable planning strategies in supply chain systems: Proposal and applications with a real case study in fashion // Production Planning & Control. 2020. Vol. 31, No 2. P. 883–902.
18. Химическая сортировка может быть использована для выделения полиэстера из текстильных отходов // Отходы.ру : офиц. сайт. URL: <https://www.waste.ru/modules/news/article.php?storyid=5921> (дата обращения: 8.04.2025).

19. Иргашева А. Ш., Чагина Л. Л., Кузнецов А. А. Переработка отходов изделий джинсового ассортимента в контексте перехода к рациональным моделям производства и потребления // Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2023) : материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 9–10 ноября 2023 г. Витебск : Витебский государственный технологический университет, 2024. С. 40–44.
20. Traceability management systems and capacity building as new approaches for improving sustainability in the fashion multitier supply chain / A. M. Sacaluga, R. Bellas, Ju. E. Pardo, E. Paz // *International Journal of Production Economics*. 2019. Vol. 217, No 5. P. 143–158.
21. Koszewska M. Circular Economy-Challenges for the Textile and Clothing Industry // *Autex Research Journal*. 2018. Vol. 18, No 4. P. 337–347.

REFERENCES

1. Sustainable development goals. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals> (accessed 22.04.2025).
2. Baranova A. F., Mamedov S. N., Pogodina I. V. Minimizing the amount of waste generated by the textile industry. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2019;5(383):283–287. (In Russ.)
3. Golov R. S., Kostygova L. A., Smirnov V. G. The use of textile waste: an analysis of the state and prospects of development. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2021;5(395):241–250. (In Russ.)
4. Gavriluk Ye. Yu., Azanova A. A., Mustafina R. R., Suhova A. A. Polymer-fiber composites based on waste rubberized fabrics. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2024;6(414):295–299. (In Russ.)
5. Kayumova R. F., Nevolyani Yu. M. Ways to use textile waste using the example of interstitial attacks. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2023;1:108–113. (In Russ.)
6. Kasheyev O. V., Usik S. P., Vingert A. I. Responsible consumption as a new cultural paradigm of modern society. *Vestnik Slavyanskikh kultur* [Bulletin of Slavic Cultures]. 2021;61:127–135. (In Russ.)
7. Nurjasarova M. A., Sarttarova L. T., Dikenova D. B. Principles of implementing lean manufacturing in garment enterprises. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2019;5(383):187–191. (In Russ.)
8. Shushunin D. N., Kruglov A. V., Zyablov V. A., Gruzinseva N. A. The use of lean production tools on the example of the organization of the warehouse of the finishing production of a textile enterprise. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2024;5(413):20–24. (In Russ.)
9. Gerasimovich E. M. Problems and prospects of recycling textile industry waste. *Aktualnye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk* [Current problems of the humanities and natural sciences]. 2016. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-iperspektivy-vtorichnoy-pererabotki-othodovtekstilnoy-promyshlennosti> (accessed 24.04.2025). (In Russ.)
10. Bekmurodova O. A. K., Ilyushina S. V., Minyazova A. N. Problems of waste processing in the textile and light industry. *Arhivarius*. [Archivist] 2016;10(2). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-pererabotki-othodov-tekstilnoy-i-legkoypromyshlennosti> (accessed: 24.04.2025). (In Russ.)
11. Gardetti M. A. Introduction and the concept of circular economy. In: Muthu S. S. ed. *Circular Economy in Textiles and Apparel*. Cambridge, Woodhead Publishing, 2018. P. 1–11.
12. De Jesus A., Mendonça S. Lost in Transition Drivers and Barriers in the Ecoinnovation Road to the Circular Economy. *Ecological Economics*. 2018;145:75–89.
13. Irgasheva A. Sh., Chagina L. L., Trynova A. V. Prospects for the introduction of closed-loop systems in the fashion industry. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2023;3(405):5–14. (In Russ.)

14. Todeschini B. V., Cortimiglia M. N., Callegarode-Menezes D., Ghezzi A. Innovative and sustainable business models in the fashion industry: Entrepreneurial drivers, opportunities, and challenges. *Business Horizons*. 2017;759–770.
15. SGS, Jeanologia Partner to make laser finishing more efficient. *Sourcing Journal*. URL: [https:// sourcing-journal.com/denim/denim-sustainability/sgs-jeanologia-laser-finishing-bluescan-advanced-light-sensitive-fabric-test-345283](https://sourcing-journal.com/denim/denim-sustainability/sgs-jeanologia-laser-finishing-bluescan-advanced-light-sensitive-fabric-test-345283) (accessed 10.04.2025).
16. Sandvik I. M., Stubbs W. Circular fashion supply chain through textile-to-textile recycling. *Journal of Fashion Marketing and Management*. 2019;23(3):366–381.
17. Fung Yi. N., Choi Ts. M., Liu R. Sustainable planning strategies in supply chain systems: Proposal and applications with a real case study in fashion. *Production Planning & Control*. 2020;31(2):883–902.
18. Chemical sorting can be used to isolate polyester from textile waste. URL: <https://www.waste.ru/modules/news/article.php?storyid=5921> (accessed 8.04.2025). (In Russ.)
19. Irgasheva A. Sh., Chagina L. L., Kuznetsov A. A. Recycling of denim product waste in the context of the transition to rational production and consumption models. *Innovations in textiles, clothing, and footwear (ICTAI-2023)* [Innovations in Textiles, Clothing, and footwear (ICTAI-2023)]. Materials of the reports of the international scientific and technical conference, Vitebsk, 09–10 ноября 2023 года. Vitebsk, Vitebsk St. Technol. Univ. Publ., 2024. P. 40–44. (In Russ.)
20. Sacaluga A. M., Bellas R., Pardo Ju. E., Paz E. Traceability management systems and capacity building as new approaches for improving sustainability in the fashion multitier supply chain. *International Journal of Production Economics*. 2019;217(5):143–158.
21. Koszewska M. Circular Economy-Challenges for the Textile and Clothing Industry. *Autex Research Journal*. 2018;18(4):337–347.

Статья поступила в редакцию 28.04.2025

Принята к публикации 20.05.2025