

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 685.34.036:685.34.082

**РАДЮК  
АНАСТАСИЯ НИКОЛАЕВНА**

**СОСТАВ, СВОЙСТВА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ НА  
ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА ДЛЯ ПОДОШВ ОБУВИ**

Автореферат на соискание учёной степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.19.01 «Материаловедение производств текстильной и легкой  
промышленности (технические науки)»

Витебск, 2021

Научная работа выполнена в УО «Витебский государственный технологический университет»

Научный руководитель **Буркин Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технического регулирования и товароведения учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты **Шустов Юрий Степанович**, доктор технических наук, профессор, действительный член Российской и Международной инженерной академии, заведующий кафедрой материаловедения и товарной экспертизы Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»

**Борисова Татьяна Михайловна**, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана по учебной работе факультета производственных технологий учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «Центр научных исследований лёгкой промышленности», г. Минск, Республика Беларусь

Защита состоится 9 февраля 2021 г. в 10.00 на заседании совета по защите диссертаций К 02.11.01 в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» по адресу:

210038, г. Витебск, Московский проспект, 72.

E-mail: [vstu@vitebsk.by](mailto:vstu@vitebsk.by)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Автореферат разослан 29 декабря 2020 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций, кандидат технических наук, доцент

\_\_\_\_\_ Г.В. Казарновская

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время быстрыми темпами развивается полимерная промышленность. Этому способствует создание не только новых полимеров, но и различных изделий на их основе. Одновременно с этим возникает проблема вторичной переработки полимерных отходов, образующихся как на стадии производства этих изделий, так и после их использования. Решение данной проблемы может быть достигнуто путем использования отходов производства в качестве вторичных материальных ресурсов.

Проблема рациональной утилизации и переработки отходов стоит в числе приоритетных во всех странах мира и рассматривается на государственном уровне. С 28 июля 2017 года вступило в силу Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 567 «Об утверждении Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года». Основной целью программы является рациональное использование ресурсов путем предотвращения накопления отходов и максимального вовлечения их в оборот в качестве вторичного сырья.

Данная проблема актуальна и для обувных предприятий Республики Беларусь, где наибольший объем образующихся отходов приходится на полимерные материалы различного назначения, в том числе применяемые для низа обуви. При этом значительный удельный вес имеют отходы пенополиуретанов (ППУ), которые запрещено вывозить на полигон твердых бытовых отходов (ТБО) ввиду их токсичности. Решение этой проблемы предполагает разработку принципиально нового научно обоснованного подхода к созданию полимерных материалов, предусматривающего разработку состава композиции на основе вторичного ППУ с минимальным количеством ингредиентов, разработку полимерных материалов на полимерной основе из вторичного ППУ различных структур, изготовление и внедрение в производство подошв обуви с заданными физико-механическими и прогнозируемыми эксплуатационными свойствами.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами (проектами), темами.** Тема исследования соответствует Приоритетным направлениям научно-технической деятельности на 2016–2020 гг. по пунктам 3 «Промышленные и строительные технологии и производство» и 8 «Рациональное природопользование и глубокая переработка природных ресурсов» (Указ Президента Республики Беларусь от 22 апреля 2015 г. № 166), а также Приоритетным направлениям научных исследований в Республике Беларусь по пунктам 8 «Многофункциональные материалы и технологии» и 10 «Экология и природопользование» (Постановление Совета Министров Республики Беларусь №190 от 12 марта 2015 г.). В дополнение к этому, в соответствии со Стратегией «Наука и технологии 2018-2040», одобренной II Съездом ученых Республики Беларусь, в качестве перспективных направлений утверждены расширение производства полимерных материалов с заданными

функциональными свойствами и создание полимерных материалов с принципиально новыми техническими характеристиками на основе сочетания в одном материале компонентов разной природы, формы, размеров и регулирования их содержания.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с темами научно-исследовательской работы кафедры «Техническое регулирование и товароведение» учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» (УО «ВГТУ») ВПД 006 «Инновационные технологии применения современных материалов при изготовлении изделий легкой промышленности и методы оценки их эксплуатационных свойств» (№ ГР 20172055, 2016–2020 гг.), в рамках задания ГБ НИР № 841 «Разработать и внедрить технологию производства новых полимерных материалов с заданными свойствами и деталей низа обуви на их основе» отраслевой научно-технической программы «Новые материалы в легкой промышленности» (№ ГР 20164061, 2016–2017 гг.), аспирантского гранта Министерства образования Республики Беларусь № 354 «Композиционные материалы из вторичного полиуретана с волокнистыми наполнителями» (№ ГР 20191063, 14.02.2019 г. – 31.12.2019 г.), аспирантского гранта Министерства образования Республики Беларусь № 356 «Гранулят для производства материалов и деталей низа обуви с прогнозируемыми эксплуатационными свойствами» (№ ГР 20200672, 17.02.2020 г. – 31.12.2020 г.).

Работа выполнена с использованием поверенного оборудования и средств измерений кафедры «Техническое регулирование и товароведение» УО «ВГТУ», обувных предприятий, лаборатории Центра испытаний и сертификации УО «ВГТУ».

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является разработка составов композиции для изготовления подошв монолитной, пористой и волокнисто-наполненной структур на основе вторичного пенополиуретана; оценка их качества и прогнозирование эксплуатационных свойств. В соответствии с указанной целью в работе решались следующие задачи:

- разработать состав композиции, в котором полимерная основа совмещена с минимальным количеством ингредиентов;
- разработать материалы на полимерной основе из вторичного пенополиуретана с различным количественным содержанием основных ингредиентов для получения изделий с заданным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств;
- провести исследование структуры, физико-механических и эксплуатационных свойств материалов на полимерной основе из вторичного пенополиуретана;
- получить подошвы обуви монолитной, пористой и волокнисто-наполненной структур на основе вторичного пенополиуретана;
- разработать методику и провести комплексную оценку качества подошв различных структур;
- провести прогнозирование эксплуатационных свойств подошв;
- разработать схемы технологических процессов и отработать режимы производства подошв обуви на основе монолитной и волокнисто-наполненной структур.

**Научная новизна работы** заключается в разработке принципиально нового научно обоснованного подхода к созданию полимерных материалов на основе трехуровневой системы, включающей:

– обоснование и разработку состава композиции на основе вторичного ППУ с минимальным количеством ингредиентов для получения изделий с заданными свойствами, не уступающих по своим свойствам монолитным резинам для подошв обуви;

– разработку полимерных материалов на полимерной основе из вторичного ППУ различных структур (монолитной, пористой и волокнисто-наполненной), включающей пластификатор, стабилизатор и другие ингредиенты различного процентного соотношения в композиции, необходимые для получения изделий с заданным комплексом свойств;

– изготовление и внедрение в производство подошв обуви монолитной и волокнисто-наполненной структур со значениями показателей прочностных и эксплуатационных свойств, превышающих нормируемые значения для аналогичных изделий, используемых в настоящее время в производстве обуви.

**Положения, выносимые на защиту:**

– новый научно обоснованный, экспериментально подтвержденный и практически апробированный подход к созданию полимерных материалов на основе трехуровневой системы их получения, а также состав композиции на основе вторичного ППУ (100 мас.ч.), включающий пластификатор – масло индустриальное (1–5 мас.ч.) и стабилизатор – стеарат кальция (0,5–1,0 мас.ч.), представляющий собой полимерную основу, не уступающую по своим физико-механическим и эксплуатационным свойствам монолитным резинам, для получения подошв обуви с различной структурой;

– материалы на полимерной основе из вторичного ППУ различных структур (монолитной, пористой и волокнисто-наполненной), включающие кроме пластификатора и стабилизатора ингредиенты, необходимые для получения изделий с заданным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств: пигменты, порообразователи и волокна, количество которых можно варьировать для получения подошв с прогнозируемым ресурсом;

– материалы для подошв обуви монолитной и волокнисто-наполненной структур, включающие пластификатор – масло индустриальное (5 мас.ч.), стабилизатор – стеарат кальция (0,5 мас.ч.), наполнитель – хлоп. стригальный полипропиленовый (1 мас.ч.), рекомендуемые для производства подошв обуви с показателями, превышающими нормируемые значения по прочностным характеристикам в 1,2–1,8 раза и по эксплуатационным в 1,2–2,5 раза, а также методика комплексной оценки их качества;

– подошвы монолитной и волокнисто-наполненной структур, внедренные в производство для мужской и женской повседневной обуви и выпускаемые на современном литьевом оборудовании, потребительские свойства которых не уступают аналогам из первичных материалов, используемым в настоящее время на обувных предприятиях, что позволяет уменьшить импортную составляющую в их себестоимости на 0,2 усл. ед. по сравнению с аналогичными изделиями,

расширить ассортимент материалов за счет использования отходов производства и частично решить проблему экологической безопасности, связанную с токсичными отходами, не подлежащими захоронению на полигоне ТБО.

**Личный вклад** соискателя учёной степени состоит в выборе направления и методов исследования, постановке и решении задач диссертационной работы, получении, научном анализе и интерпретации результатов эксперимента.

**Соискателем лично:**

- проведен анализ ассортимента и свойств полимерных материалов для подошв обуви [16];
- выполнен анализ методов переработки полиуретанов обувного назначения и проанализирован ассортимент и свойства получаемых при этом изделий [2-4, 8, 9, 18, 21];
- разработан состав композиции для получения полимерной основы [3];
- разработаны материалы на основе вторичного ППУ (полимерной основы) различных структур [4, 7-10, 12, 18, 19, 22, 23];
- выполнен анализ методов оценки качества полимерных материалов [14, 17];
- получены данные исследования материалов и подошв обуви по обоснованному комплексу показателей физико-механических и эксплуатационных свойств [1, 2, 4, 7-10, 12, 13, 18, 19, 22, 23];
- получены данные о структуре разработанных материалов, выявлена взаимосвязь структуры и свойств материалов [2];
- изготовлены и внедрены в производство подошвы обуви монолитной и волокнисто-наполненной структур [2, 4, 7, 8, 13, 23, 24];
- разработана методика комплексной оценки качества подошв обуви и получены результаты оценки уровня их качества [2, 5];
- проведено прогнозирование эксплуатационных свойств подошв обуви и показателей их свойств при хранении в естественных климатических условиях [1].

В соавторстве с А.Н. Буркиным, В.М. Шаповаловым, С.В. Зотовым, К.В. Овчинниковым, В.А. Гольдаде, В.Д. Борозной, Н.М. Соколовой, Н.С. Ковальковым разработан состав композиции для получения пористых подошв «Гранулированная композиция для литья облегченных обувных подошв» и подана заявка на его патентование [26]. Совместно с А.Н. Буркиным, В.М. Шаповаловым, С.В. Зотовым, К.В. Овчинниковым, А.А. Тимофеенко, Н.С. Ковальковым разработан состав композиции с полипропиленовым волокном для получения подошв «Композиция для низа обуви с волокнистым наполнителем» и подана заявка на его патентование [27].

Вклад соавторов совместных публикаций по теме диссертации состоял в обсуждении полученных результатов. Соискатель принимала непосредственное участие в интерпретации экспериментальных данных, подготовке публикаций, патентовании и разработке составов и схем технологического процесса для изготовления изделий из разработанных композиций на предприятиях обувной промышленности.

**Апробация результатов диссертации и информация об использовании её результатов.** Основные результаты диссертационной работы доложены и

опубликованы в материалах и тезисах докладов международных и республиканских научно-технических и научно-практических конференций и форумов: «Моделирование в технике и экономике» (Витебск, 2016); «Союз науки и практики: актуальные проблемы и перспективы развития товароведения», (Гомель, 2016); «Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика» (Витебск, 2016); «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности» (Витебск, 2017, 2019); «Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг» (Шахты, 2017, 2018, 2019); «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования» (Гомель, 2018); «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Могилев, 2018, 2019); «Инновационные материалы и технологии» (Минск, 2019); «Education and science in the XXI century» (Витебск, 2019); «Нові підходи до державного контролю якості за європейськими принципами» (Херсон, 2019); «Физикохимия полимеров и процессов их переработки» (Иваново, 2019); международный научно-практический форум «Smartex» (Иваново, 2018, 2019); на заседаниях кафедры «Техническое регулирование и товароведение» УО «ВГТУ» и МНТК преподавателей и студентов УО «ВГТУ» (Витебск, 2015–2019).

Основные результаты исследования, изложенные и обобщенные в публикациях, внедрены и используются в производстве обуви на предприятиях СООО «Белвест» (Витебск) и ЧПУП «Обувное ремесло» (Витебск), а также в учебном процессе УО «ВГТУ» при изучении дисциплин «Материаловедение», «Материаловедение и технология непродовольственных товаров» и выполнении курсовых и дипломных работ студентами, изучающими данные дисциплины.

**Опубликование результатов диссертации.** По материалам диссертации опубликовано 27 работ, в том числе 5 статей в научных рецензируемых журналах в соответствии с перечнем ВАК РБ (из них 5 статей по заявленной специальности), 8 статей в сборниках научных трудов, 8 – в материалах конференций, 4 – в сборниках тезисов докладов конференций. Поданы 2 заявки на получение патентов Республики Беларусь на изобретение. Общий объем опубликованных материалов составляет 8,0 авторских листов; в том числе объем публикаций, соответствующих п. 18 Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий в Республике Беларусь, составляет 3,83 авторских листа.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация содержит введение, общую характеристику работы, четыре главы, заключение, библиографический список и приложения. Работа изложена на 313 страницах, включает 66 рисунков, 58 таблиц, 42 формулы и 21 приложение (155 страниц). В работе использовано 216 библиографических источников, изложенных на 18 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Изложены основные положения, выносимые на защиту. Дана оценка современному состоянию

проблемы рациональной переработки отходов. Отмечена перспективность разработки материалов, получаемых на базе имеющихся на обувных предприятиях технологий и оборудования с незначительными капитальными вложениями.

**Первая глава** диссертационной работы содержит анализ научно-технических, патентных и коммерческих источников, отражающих предысторию и современный уровень исследований в области материаловедения, технологии получения полимерных материалов и методов их переработки. Проанализированы виды и свойства полимерных материалов и особенности их применения. Детально изучен рынок используемых в настоящее время полиуретановых материалов для обувной промышленности и состояние вопроса их последующей переработки. Сделан обзор современных представлений о методах переработки полимерных отходов обувной промышленности, в том числе вариантов их использования для производства низа обуви.

Анализ научно-технической литературы свидетельствует об актуальности исследований, направленных на поиск и совершенствование способов переработки полимерных материалов, получение новых полимерных материалов с улучшенными и/или заданными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, а также на разработку полимерных материалов на основе вторичных полиуретанов. Наиболее значимые результаты научных исследований в этой области достигнуты В.М. Шаповаловым, А.Н. Буркиным, В.В. Пятовым, Н.Р. Прокопчуком, В.Т. Липиком, К.С. Матвеевым и др. Эффективная практическая реализация осуществляется на предприятиях СООО «Белвест», Белорусский производитель обуви холдинг «Марко», ОАО «Труд». Проведенные ранее работы касались переработки отходов полиуретанов в изделия и полуфабрикаты с невысокой стоимостью, например, вкладыши в пяточную часть подошвы или материалы для ремонта низа обуви, но не позволяли получить подошвы обуви как готовые изделия.

На основе анализа литературных данных по рассматриваемому вопросу сформулированы цель, задачи и основные направления теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы.

**Вторая глава** диссертационной работы посвящена рецептурно-технологическим аспектам получения материалов на полимерной основе из вторичного полиуретана.

Разработан новый научно обоснованный, экспериментально подтвержденный и практически апробированный подход к созданию полимерных материалов на основе трехуровневой системы их получения, представленной на рисунке 1. На I уровне получают полимерную основу с минимальным количеством ингредиентов, далее (II уровень) на ее основе получают полимерные материалы различной структуры (пластины) с варьируемым содержанием функциональных ингредиентов. На III уровне на основе анализа свойств материалов составляются рекомендации по рецептурным составам композиций для производства подошв обуви.

В качестве компонентов для получения литьевой композиции, применяемой при производстве низа обуви, кроме полимерной основы, использовали целевые функциональные добавки – стабилизаторы, пластификаторы, наполнители, порообразователи. Обоснован выбор ингредиентов, эффективных с точки зрения реализации ими конкретной функции, и их количественное содержание в композиции. Характеристика ингредиентов и рекомендуемый состав для полимерных материалов из вторичного полиуретана приведены в таблице 1.



Рисунок 1 – Трехуровневая система получения полимерных материалов и подошв обуви

Таблица 1 – Характеристика ингредиентов и рекомендуемый состав

Компонент	Содержание	Назначение
Отходы ППУ	100 мас.ч.	Обеспечивают формирование эластичной полимерной основы
Масло индустриальное – масло трансмиссионное TAD-17 (ТУ 0253-003-71148628-2005)	1–10 мас.ч.	Обеспечивает функцию пластификации полимерной основы и смазывание компонентов композита
Стеарат кальция (ТУ 2232-002-57149839-07)	0,5–1,0мас.ч.	Обеспечивает функцию твердой смазки полимеров и повышение устойчивости вторичных полимеров к термоокислению
Концентраты вспенивающих добавок БАСКО™ (ТУ 2243-011-23124265-2005)	2–10 мас.ч.	Обеспечивают образование мелких пор, равномерно распределенных по объему формируемого изделия
Отходы коврового производства – кноп стригальный (ТУ ВУ 300082076.003-2013)	0,5–1,5 мас.ч.	Выполняет роль наполнителя, упрочняющего агента и гидрофобизатора

Технология получения полимерных материалов и подошв из отходов ППУ базируется на технологическом процессе рециклинга отходов. Независимо от способа переработки он состоит из следующих этапов (операций): сортировки отходов и подготовки исходных материалов (полимерной основы, наполнителя и других ингредиентов); измельчения вторичного сырья; смешивания компонентов композиции, гранулирования (переработка методом экструзии и последующее повторное измельчение), литья материалов и подошв. Для каждого этапа (кроме сортировки) характерны определенные вид оборудования и параметры (режимы), обеспечивающие стабильность процесса переработки и получение качественных изделий. Схема технологического процесса получения материалов и подошв обуви представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Схема технологического процесса получения полимерных материалов и подошв обуви**

Главным фактором, влияющим на дальнейшие свойства материала, является процесс смешивания и приготовления композиции. Проводится предварительная подготовка компонентов. Отходы ППУ путем дробления доводят до равномерной размерности частиц – 5-7 мм.

Монолитные и пористые материалы получают путем механического смешивания основного компонента и функциональных добавок в смесителе. Волокнисто-наполненные материалы получают иначе: для увеличения адгезии между полимерной основой и волокном, облегчения введения волокна, улучшения и достижения равномерного распределения волокнистого наполнителя в объеме полимерной композиции предварительно получают гель путем механического смешивания масла промышленного и кнопа стригального полипропиленового, далее гель смешивают с другими компонентами (стеарат кальция и отходы ППУ).

Для улучшения гомогенности композиции и стабильности физико-механических и эксплуатационных свойств компоненты независимо от структуры пропускают через экструдер.

**В третьей главе** проведены исследования структуры, физико-механических и эксплуатационных свойств полимерных материалов по стандартным методам.

Из предварительного анализа было выявлено, что к наиболее важным показателям, по которым оценивают физико-механические и эксплуатационные свойства материалов для низа обуви, относятся: плотность (ГОСТ 267-73), твердость (ГОСТ 263-75), условная прочность, относительное удлинение при разрыве и остаточное удлинение после разрыва (ГОСТ 270-75), сопротивление истиранию при скольжении (ГОСТ 426-77), сопротивление многократному изгибу (ГОСТ ISO 17707-2015). Для исследования этих показателей были использованы: электронные весы Radwag AS 220/C/2; твердомер 2033 ТИР, разрывная машина РТ-250М; прибор типа МИ-2 для определения сопротивления истиранию при скольжении, установка для определения сопротивления многократному изгибу подошв.

По схеме технологического процесса (рисунок 2) согласно разработанным рецептурным составам композиций и отработанным режимам литья получены материалы (пластины), а также проведены их испытания по показателям физико-механических и эксплуатационных свойств. Для образцов полимерных материалов проведен анализ влияния количества ингредиентов на их свойства с целью выбора их оптимального состава. Установлено следующее:

- для производства подошв монолитной структуры рекомендуется использовать состав композиции с содержанием пластификатора (индустриальное масло) 5 мас.ч.;

- для производства подошв пористой структуры рекомендуется использовать состав композиции, содержащий 3 мас.ч. порообразователя (концентраты вспенивающих добавок БАСКО™ типа П0027);

- для производства подошв волокнисто-наполненной структуры рекомендуется использовать состав композиции, содержащий 1,0 мас.ч. наполнителя (кноп стригальный полипропиленовый).

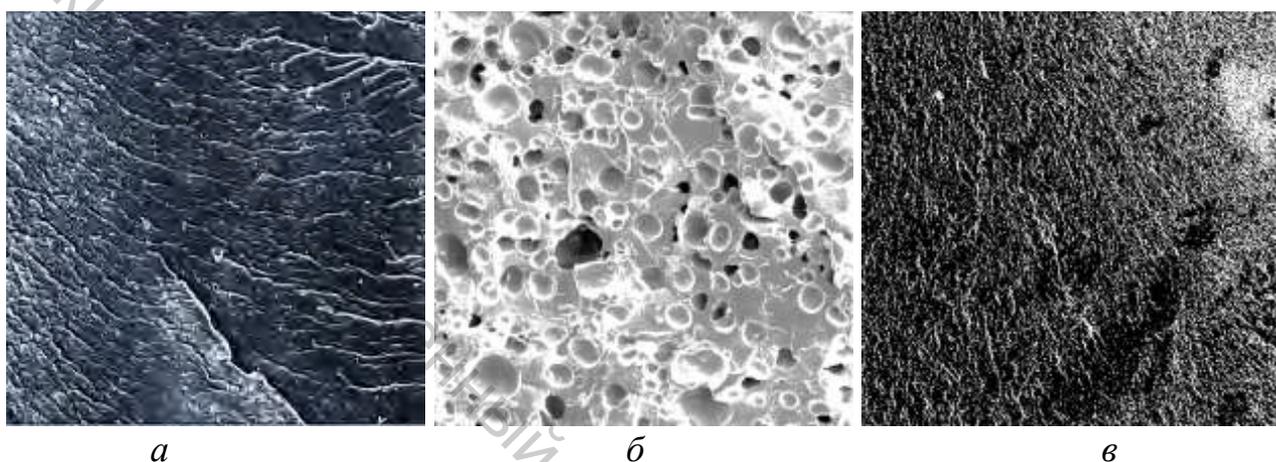
Показатели физико-механических и эксплуатационных свойств материалов с рекомендуемым процентным составом представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Показатели физико-механических и эксплуатационных свойств материалов**

Материал	Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Твердость по Шору А, Н, усл. ед.	Условная прочность, $f_p$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве, $\varepsilon_p$ , %	Остаточное удлинение после разрыва, $\theta$ , %	Сопротивление истиранию, $\beta$ , Дж/мм <sup>2</sup>	Сопротивление многократному изгибу, $N$ , тыс. циклов
Монолитный	1,20	78	6,0	280	20	7,5	50
Пористый	0,90	65	3,5	180	15	3,1	30
Волокнисто- наполненный	1,02	83	4,8	200	18	6,2	30

Разработаны технические условия на полученные материалы различных структур на основе вторичного ППУ.

Исследование структуры материалов с рекомендуемым процентным составом проводили методом сканирующей электронной микроскопии с помощью микроскопа VEGA II LSH (Tescan, Чехия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 250 ADD (рисунок 3). Внутренних дефектов в виде расслоений, трещин, разломов у всех материалов не выявлено. Выявлена взаимосвязь структуры и свойств, выразившаяся в определенных диапазонах величин основных параметров для монолитной, пористой и волокнисто-наполненной структур.



**Рисунок 3 – Микрофотография структуры полимерных материалов:**  
**а – монолитная структура материала; б – пористая; в – волокнисто-наполненная**

Монолитный материал – плотный, равномерный. В материале присутствуют редкие оставшиеся от ППУ поры, которые хорошо сформированы, имеют малые диаметры ( $\approx 2$  мкм) и правильную шарообразную форму.

Пористый образец характеризуется рыхлой, равномерной, макропористой структурой, поры закрытые, изолированные, размеры пор колеблются в пределах от 2 до 15 мкм, поры средних диаметров близки к шарообразной форме.

Волокнисто-наполненный материал состоит из непрерывной полимерной матрицы, в которой распределена волокнистая фаза в виде коротких волокон, располагающихся в матрице хаотически. Диаметр волокон составляет 20 мкм, расстояние между ними – от 0,5 до 3 мкм вдоль волокон и от 3 до 10 мкм поперек волокон.

Исследование показало, что материалы обладают достаточным уровнем свойств для того, чтобы рекомендовать их для производственной апробации при изготовлении деталей низа обуви (подошв).

**В четвертой главе** представлены результаты исследования физико-механических и эксплуатационных свойств подошв обуви, разработана методика оценки их качества, проведено прогнозирование их эксплуатационных свойств, а

также прогнозирование сохранения уровня показателей свойств подошв обуви при хранении в естественных климатических условиях.

На основании схемы (рисунок 2) и оптимальных составов композиций были получены различные по структуре детали низа обуви: монолитные подошвы фасона «3361», пористые подошвы фасона «TAMARA» и волокнисто-наполненные подошвы фасона «SIGMA». Показатели физико-механических и эксплуатационных свойств подошв представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Показатели физико-механических и эксплуатационных свойств подошв**

Подошвы	Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Твердость по Шору А, Н, усл. ед.	Условная прочность, $f_p$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве, $\varepsilon_p$ , %	Остаточное удлинение после разрыва, $\theta$ , %	Сопротивление истиранию, $\beta$ , Дж/мм <sup>3</sup>	Сопротивление многократному изгибу, N, тыс. циклов
Монолитные	1,10–1,20	75–80	5,6–6,0	270–280	18–20	6,8–7,5	50
Пористые	0,85–0,90	65–67	2,5–2,9	140–145	15–17	3,2–3,5	50
Волокнисто-наполненные	1,00–1,03	81–83	5,2–5,7	200–205	18–19	6,3–6,8	30

Результаты испытаний подошв иллюстрируют близкое соответствие свойствам материалам аналогичного назначения. Это означает, что разработанные рецептурные составы не претерпевают значительных структурных изменений при переработке в изделия. Пористые образцы подошв незначительно уступают нормируемым значениям по показателю «относительное удлинение». Основываясь на требованиях к материалам для низа обуви, регламентированных соответствующими стандартами, можно сделать вывод, что полученные образцы подошв монолитной и волокнисто-наполненной структур по физико-механическим и эксплуатационным свойствам по большинству показателей превышают нормируемые значения для материалов подобного рода. На полученные образцы подошв на основе вторичного ППУ разработаны технические условия.

В процессе проведения работы была выявлена взаимосвязь между показателями условной прочности и сопротивления истиранию, позволяющая прогнозировать износостойкость подошв в процессе эксплуатации обуви и выражающаяся в виде уравнения (1):

$$f_{p_n} - \beta_n = f(N), \quad (1)$$

где  $f_{p_n}$ ,  $\beta_n$  – нормируемая величина показателя.

Эта зависимость дает возможность выбирать материалы с заданным уровнем эксплуатационных свойств при постановке продукции на производство.

Используя элементы теории подобия установлено, что полученные образцы подошв по показателям физико-механических и эксплуатационных свойств близки к монолитным резинам марки «В», пористым резинам марки «В» и кожеподобным резинам марки «Кожволон». По результатам экспериментальных данных показателя сопротивления истиранию предложено определить ресурс подошвы исходя из закона нормального распределения отказов обуви, связанных с износом материалов низа (подошвы). В расчетах использована формула (2):

$$R(T) = 1 - \Phi \left( \frac{\frac{H}{v_c} - T}{V \cdot T} \right), \quad (2)$$

где  $R(T)$  – вероятность безотказной работы подошв обуви;  $\Phi$  – функция плотности стандартного нормального распределения;  $H$  – предельно допустимый износ (для монолитных подошв составляет 3,9 мм, для пористых – 3,7 мм, для волокнисто-наполненных – 4,1 мм);  $v_c$  – средняя скорость изнашивания (для монолитных подошв составляет 0,012 мм/день, для пористых – 0,028 мм/день, для волокнисто-наполненных – 0,011 мм/день);  $H / v_c$  – средний ресурс  $T_{ср}$  подошв, дни;  $T$  – минимальное или максимальное значение ресурса, дни;  $V$  – коэффициент вариации скорости изнашивания.

Результаты расчета показали, что с вероятностью 95 % ресурс подошв находится в диапазоне:  $T^m = 289$ – $391$  дней,  $T^n = 114$ – $175$  дней,  $T^{в-н} = 346$ – $432$  дня. Оценка свойств подошв с близкими по свойствам материалами составила 1,25 для монолитных подошв, 1,01 – для пористых и 1,15 – для волокнисто-наполненных, что коррелирует с ресурсом.

Для определения уровня качества полученных образцов подошв в сравнении с используемыми в настоящее время была разработана методика оценки качества, установлены основные этапы для определения уровня качества полученных образцов подошв, а также разработана программа на языке Java в среде разработки Eclipse в интерфейсе Java FX Scene Builder 2.0 для расчета комплексной оценки качества. Результаты оценки показали, что место у полученных образцов подошв, как правило, остается в целом неизменным при различных видах оценок, а комплексная оценка составляет: для монолитных подошв – 2,3; для пористых подошв – 1,8 и для волокнисто-наполненных подошв – 2,5.

Прогнозирование сохранения уровня свойств подошв при хранении в естественных климатических условиях основано на методике, представленной в ГОСТ 9.066-76. Период хранения составил 1,5 года, так как ресурс подошвы обычно составляет 2 года, а период эксплуатации в зависимости от сезона составляет от 3 до 6 месяцев.

Исследование сохранения уровня свойств подошв при хранении в естественных климатических условиях показало изменения показателей физико-

механических и эксплуатационных свойств в меньшую или большую стороны. Как известно, процессы старения полимерных материалов и изделий уменьшают продолжительность их эксплуатации. Однако, если даже после старения уровень их свойств близок или соответствует уровню технических требований на подобные материалы, то полимерные материалы и изделия могут и дальше использоваться по назначению, несмотря на снижение или увеличение отдельных показателей свойств.

Для оценки качества подошв после хранения в естественных климатических условиях в течение 1,5 года было проведено сравнение их свойств и свойств «эталона». В качестве «эталона» использовали материалы, традиционно применяемые для материалов низа обуви: монолитная резина, пористая резина, кожволон. Рассчитывали процентное отношение каждого показателя исследуемых материалов к значениям соответствующего «эталона», причем эталон принимался за 100 %.

На рисунке 5 приведена лепестковая диаграмма относительных показателей для подошв и «эталонов».



**Рисунок 5 – Диаграмма относительных показателей для подошв и «эталонов»**

Полученные значения показателя качества для подошв обуви варьируют от 124,2 % до 192,7 %. Следует отметить, что нормируемых значений для материалов низа обуви в процессе естественного климатического хранения нет ни в одном ТНПА. Поэтому если по большинству показателей значения свойств подошв обуви в процессе старения превосходят или находятся в рамках нормируемых значений эталонных материалов – монолитной резины, кожволон и пористой резины, то они могут использоваться для производства низа обуви как альтернативная замена традиционно применяемым материалам и при этом не уступать им по свойствам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработан новый научно обоснованный, экспериментально подтвержденный и практически апробированный подход к созданию полимерных материалов на основе трехуровневой системы их получения и теоретически обоснованный состав композиции на основе вторичного ППУ, включающий пластификатор – масло индустриальное (1–5 мас.ч.), стабилизатор – стеарат кальция (0,5–1,0 мас.ч.), позволивший получить полимерную основу с минимальным количеством ингредиентов и не уступающую по физико-механическим, эксплуатационным свойствам монолитным резинам для подошв обуви [3,4].

2. Разработаны материалы различных структур: монолитные, пористые и волокнисто-наполненные, включающие, во-первых, полимерную основу из вторичного ППУ, содержащую такие ингредиенты, как пластификатор и стабилизатор, и, во-вторых, в качестве модифицирующих ингредиентов – пигменты (по необходимости), порообразователи, волокна с заданным комплексом физико-механических, эксплуатационных свойств и различным процентным содержанием компонентов, которое можно варьировать для получения подошв с прогнозируемым ресурсом [1–4].

3. Разработаны подошвы обуви монолитной и волокнисто-наполненной структур на основе анализа свойств композиций в зависимости от содержания ингредиентов, позволившие рекомендовать для их производства составы, включающие пластификатор – масло индустриальное (5 мас.ч.), стабилизатор – стеарат кальция (1 мас.ч.), наполнитель – knob стригальный полипропиленовый (1 мас.ч.). На основании проведенных исследований, а также разработанной методики комплексной оценки, подтвердившей качество подошв в сравнении с используемыми в настоящее время зарубежными материалами, установлено, что значения свойств превышают нормируемые показатели по прочностным характеристикам в 1,2–1,8 раза и по эксплуатационным – в 1,2–2,5 раза [1,4,5].

4. Внедрены материалы монолитной и волокнисто-наполненной структур в производство для мужской и женской повседневной обуви в качестве подошв, производимых на современном литьевом оборудовании фирмы MainGroup, которое используется в мировой практике для производства обуви. Полученные изделия обладают высокой добавленной стоимостью, их потребительские свойства не уступают аналогам, взятым для сравнения из первичных материалов, которые используются в настоящее время на обувных предприятиях, что позволяет уменьшить импортную составляющую в себестоимости изделий на 0,2 усл.ед. по сравнению с аналогичными изделиями, расширить ассортимент материалов за счет использования отходов производства и частично решить проблему экологической безопасности, связанную с переработкой токсичных отходов, не подлежащих захоронению на полигоне ТБО [3, 4].

### Рекомендации по практическому использованию результатов

Экономический эффект от использования разработок формируется за счет использования вместо первичного сырья отходов производства, что влечет за собой

снижение себестоимости произведенной продукции. Также экономический эффект формируется за счет повышения качества обуви и ее долговечности. Использование результатов работы позволяет обоснованно осуществлять выбор ингредиентов для производства обувных подошв с повышенными прочностными и эксплуатационными свойствами на стадии входного контроля качества сырья, прогнозировать свойства обуви при хранении в естественных климатических условиях, оценивать ее ресурс и вероятность возврата потребителями. Социальная характеристика эффективности для потребителя связана с повышением степени удовлетворенности потребителей относительно недорогой обувью при достаточно высоком уровне эксплуатационных характеристик подошвенных материалов и подошв. Экологическая эффективность проявляется в снижении платежей за размещение отходов и предотвращению экологического ущерба природной среде и земельным ресурсам, а также сохранению дорогостоящих первичных ресурсов для повторного использования (рециклинга).

Результаты диссертационной работы внедрены на предприятиях СООО «Белвест» и ЧПУП «Обувное ремесло» и в учебный процесс УО «ВГТУ» в курсы «Материаловедение» для специальности 1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация (лёгкая промышленность)», «Материаловедение и технология производства непродовольственных товаров» для специальности 1-25 01 09 «Товароведение и экспертиза товаров», а также в курсовом и дипломном проектировании.

Фактический экономический эффект от замены подошв из ПУ на подошвы из отходов ППУ, полученных методом литья на машине MainGroup SP 345-3, на 100 пар составляет 205,0 руб.

Относительный уровень конкурентоспособности подошв из отходов ППУ составил 1,2, что свидетельствует о превосходстве полученного материала по конкурентоспособности по сравнению с ПУ.

По разработанной технологии получения полимерных материалов организован выпуск подошв женской обуви фасонов «SIGMA-T», «ULYANA», «ULYANA-BOOTS», «MILLI», изготовленных с использованием отходов ППУ, в натуральном выражении составивших 35000 пар, в денежном – 30,7 тыс. \$ США.

На базе полученных композиций для ЧПУП «Обувное ремесло» разработаны технические условия «Пластины из отходов пенополиуретанов» и «Подошвы из отходов пенополиуретанов».

Разработанные новые материалы и технологии их производства позволят расширить ассортимент материалов для низа обуви и заменить импортные материалы при производстве товаров народного потребления.

В перспективе планируется более глубокое исследование структурно-морфологических изменений в материалах при добавлении тех или иных ингредиентов, что позволит проводить оценочные суждения и составлять рекомендации относительно возможности использования этих материалов в целях повышения уровня качества и конкурентоспособности отечественной обуви.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Статьи в научных рецензируемых журналах по специальности диссертационной работы*

1. Радюк, А.Н. Старение изделий из вторичного полиуретана в естественных климатических условиях / **А.Н. Радюк**, А.Н. Буркин // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2019. – № 1(36). – С. 91–102.
2. Радюк, А.Н. Пористые полимерные материалы на основе отходов обувных пенополиуретанов / **А.Н. Радюк**, В.Д. Борозна, А.Н. Буркин, В.М. Шаповалов, С.В. Зотов, К.В. Овчинников // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2019. – № 2(37). – С. 62–75.
3. Радюк, А.Н. Использование отходов пенополиуретанов в производстве деталей низа обуви / **А.Н. Радюк**, А.Н. Буркин // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – Минск: БГТУ. 2020. – № 1 (229). – С. 11–16.
4. Радюк, А.Н. Материалы и технологии получения изделий на основе отходов полиуретанов / **А.Н. Радюк**, Ю.В. Дойлин, М.А. Козлова, И.А. Буланчиков, А.Н. Буркин // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2020. – № 1(38). – С. 100–112.
5. Радюк, А.Н. Оценка свойств композиционных материалов для подошв обуви на полимерной матрице из вторичного полиуретана / **А.Н. Радюк**, М.А. Козлова, А.Н. Буркин // Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 2. – С. 99–109.

### *Статьи в сборниках научных трудов*

6. Радюк, А.Н. Расширение ассортимента композиционных полимерных материалов для низа обуви за счет модификации их свойств отходами производства / **А.Н. Радюк**, А.Н. Буркин // Союз науки и практики: актуальные проблемы и перспективы развития товароведения: сб. ст. / Белорус. торг.-экон. ун-т потреб. кооперации; редкол.: С. Н. Лебедева [и др.]. – Гомель, 2016. – С. 7–10.
7. Радюк, А.Н. Модификация порообразователями отходов пенополиуретанов / **А.Н. Радюк**, А.Н. Буркин, В.М. Шаповалов, С.В. Зотов, К.В. Овчинников // Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг : междунар. сб. науч. трудов / редкол. : В.Т. Прохоров [и др.] ; Ин-т сферы обслуж. и предпринимательства (филиал) федер. гос. бюдж. образоват. учрежд. высш. проф. образования «Донской гос. техн. ун-т» в г. Шахты Рост.обл. (ИСОиП(филиал) ДГТУ). – Шахты : ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2017. – С. 272–279.
8. Радюк, А.Н. Получение подошв из отходов пенополиуретанов с волокнистым наполнителем / **А.Н. Радюк**, А.Н. Буркин // Международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности» : сборник научных статей, г. Витебск, 21-22 ноября 2018 г. – УО «ВГТУ» Витебск, 2018. – С. 266–269.
9. Радюк, А.Н. Разработка технологии получения материалов на полимерной матрице из вторичного пенополиуретана / **А.Н. Радюк**, А.Н. Буркин, Н.В. Цобанова // Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг : сб. науч. тр. / редкол.: В.Т. Прохоров [и др.] ; Ин-т

сферы обслуж. и предпринимательства (филиал) федер. гос. бюджет. образоват. учреждения высш. образования «Донской гос. техн. ун-т» в г. Шахты Рост. обл. – Новочеркасск: Лик, 2019. – С. 282–286.

10. Радюк, А.Н., Буркин, А.Н. Ресурсосберегающие технологии производства деталей низа обуви, основанные на использовании отходов производства / **А.Н. Радюк**, А.Н. Буркин // Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование: сб. научн. трудов междунар. научно-технич. симпозиума «Вторые междунар. Косыгинские чтения, приуроч. к 100-летию РГУ имени А.Н. Косыгина»: Т. 1 / М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2019. – С. 36–39.

11. Радюк, А.Н., Буркин А.Н. Отходы обувных пенополиуретанов и их переработка в изделия / **А.Н. Радюк**, А.Н. Буркин // Сборник научных трудов, посвящ. 75-летию кафедры материаловедения и товарной экспертизы. – М.: РГУ им. А.Н.Косыгина, 2019. – С. 66–70.

12. Радюк, А.Н. Материалы для деталей низа обуви с использованием в качестве основного компонента отходов полиуретана / **А.Н. Радюк**, Н.В. Цобанова // Материалы и технологии. – 2019. – № 1 (3). – С. 41–48.

13. Радюк, А.Н. Композиционные материалы для обуви с использованием не утилизируемых отходов текстильной промышленности / **А.Н. Радюк**, А.Н. Буркин // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы: сб. материалов XXII Междунар. науч.-практ. форума «SMARTEX-2019», 25–27 сентября 2019 г. – Иваново: ИВГПУ, 2019. – С. 35–39.

#### **Материалы конференции**

14. Радюк, А.Н. Обоснование показателей свойств материалов для оптимизации технологического процесса переработки отходов полиуретана / **А.Н. Радюк** // Моделирование в технике и экономике: материалы докладов междунар. науч.-практ. конф., Витебск, 23–24 марта 2016 г. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: Е. В. Ванкевич (гл. ред.). – Витебск, 2016. – С. 148–150.

15. Радюк, А.Н. Отходы обувных предприятий в общей схеме (концепции) эколого-экономической системы / **А.Н. Радюк**, Т.Б. Савицкая // Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика: материалы докладов междунар. науч.-практ. конф., Витебск, 30 ноября 2016 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2016. – С. 85–89.

16. Радюк, А.Н. Анализ ассортимента полимерных материалов, применяемых для низа обуви на обувных предприятиях г. Витебска / **А.Н. Радюк** // материалы докладов 50 междунар. научно-технич. конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2017. – Т. 2. – С. 254–257.

17. Радюк, А.Н. Анализ показателей качества материалов для низа обуви / **А.Н. Радюк**, Н.В. Цобанова // междунар. научно-технич. конф. «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности», посвященной году науки, г. Витебск, 21-22 ноября 2017 г. – УО «ВГТУ» Витебск, 2017. – С. 281–283.

18. Радюк, А.Н. Технология переработки отходов пенополиуретанов в материалы для низа обуви / **А.Н. Радюк**, Н.В. Цобанова // Инновационные материалы и технологии: материалы докладов междунар. научно-технич. конф. молод. ученых. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 88–92.

19. Радюк А.Н. Сравнительный анализ свойств материалов из отходов пенополиуретанов с непористыми резинами / **А.Н. Радюк**, А.Н. Буркин // Нові підходи до державного контролю якості за європейськими принципами: матеріали міжнар. науково-практич. конф., м. Херсон, 11-13 вересня 2019 р. – Херсон: вид-во ФОР Вишемирський В.С., 2019. – С. 158–163.

20. Радюк, А.Н. Разработка программы для расчета комплексной оценки качества материалов для изделий легкой промышленности / **А.Н. Радюк**, Е.М. Лобацкая, П.Г. Деркаченко // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы междунар. научно-технич. конф., Витебск, 13-14 ноября 2019 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2019. – С. 302–304.

21. Radyuk, A. Environmental approach to recycling of shoe polyurethanes / **A. Radyuk** // Education and science in the XXI century: Articles of the International Scientific and Practical Conference, Vitebsk, 14 November 2019 / EI “VSTU”; rev. A. Vankevich, D. Ryklin, O. Sovetnikova. – Vitebsk, 2019. – P. 41–44.

#### **Тезисы докладов**

22. Радюк, А.Н. Технология получения полиуретановых композиций для низа обуви с волокнистым наполнителем / **А.Н. Радюк** // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. – С. 82.

23. Радюк, А.Н. Получение и свойства композиционных полимерных материалов с волокнистым наполнителем / **А.Н. Радюк** // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования : материалы V Республик. научно-технич. конф. молод. ученых, Гомель, 12–14 ноября 2018 г. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2018. – С. 27–28.

24. Радюк, А.Н. Переработка отходов пенополиуретанов в подошвы для обуви / **А.Н. Радюк** // Физикохимия полимеров и процессов их переработки: сб. трудов VII Всероссийской научн. конф. (с междунар. участием) и IV Всероссийской школы молодых ученых: г. Иваново, Россия, 2019. – С. 167–168.

25. Радюк, А.Н. Технология получения композиций для низа обуви с использованием отходов пенополиуретанов / **А.Н. Радюк** // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М.Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 87.

#### **Патенты на изобретение и полезные модели**

26. Гранулированная композиция для литья облегченных обувных подошв / А.Н. Буркин, В.М. Шаповалов, С.В. Зотов, К.В. Овчинников, В.А. Гольдаде, А.Н. Радюк, Н.М. Соколова, В.Д. Борозна, Н.С. Ковальков. – Оpub. 30.08.2019.

27. Композиция для низа обуви с волокнистым наполнителем / А.Н. Радюк, А.Н. Буркин, В.М. Шаповалов, С.В. Зотов, Н.С. Ковальков. – Заявка № а 20190172 от 03 июня 2019 года.

## РЭЗІЮМЭ

Радзюк Анастасія Мікалаеўна

### Склад, уласцівасці і ацэнка якасці матэрыялаў на аснове другаснага пенаполіўрэтану для падэшваў абутку

**Ключавыя словы:** адходы пенаполіўрэтану, інгрэдыенты кампазіцыі, рэцыклінг, тэхналогія, матэрыялы, падэшвы абутку, уласцівасці, структура, ацэнка, прагназаванне, эфектыўнасць.

**Мэта работы:** распрацоўка складаў кампазіцыі для вырабу падэшваў маналітнай, кіпрай і валакніста-напоўненай структур на аснове другаснага пенаполіўрэтану; ацэнка іх якасці і прагназаванне эксплуатацыйных уласцівасцяў.

**Метады даследавання і выкарыстаная апаратура:** для даследавання фізіка-механічных і эксплуатацыйных уласцівасцяў былі выкарыстаны: электронныя шалі Radwag AS 220/C/2; цвердамер 2033 ЦПР, разрыўная машына РТ-250М; прыбор тыпу МІ-2 для вызначэння супраціву ізаляцыі пры слізгаценні, устаноўка для вызначэння ўстойлівасці да шматразовага выгібу; структура матэрыялаў даследавана на сканавальным электронным мікраскопе VEGA II LSH. Выкарыстаныя метады аналізу і класіфікацыі, матэматычнай статыстыкі, комплекснай ацэнкі ўзроўню якасці, а таксама метадыкі старэння і прагназавання ўласцівасцяў матэрыялаў.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** прапанаваны прынцыпова новы навукова абгрунтаваны падыход да стварэння палімерных матэрыялаў на аснове трохузроўневай сістэмы іх атрымання. Ён уключае: распрацоўку і абгрунтаванне складу кампазіцыі на аснове другаснага пенаполіўрэтану, які дазваляе атрымаць палімерную аснову з мінімальнай колькасцю інгрэдыентаў, распрацоўку матэрыялаў на палімернай аснове з другаснага пенаполіўрэтану розных структур, выраб і ўкараненне ў вытворчасць падэшваў абутку маналітнай і валакніста-напоўненых структур, атрыманых на аснове аналізу ўласцівасцяў і рэцэптурных складаў кампазіцый. Атрыманыя падэшвы абутку перавышаюць нарміруемыя значэнні для аналагічных матэрыялаў і маюць комплексную ацэнку якасці, супастаўную з матэрыяламі для падэшваў абутку, якія выкарыстоўваюцца ў цяперашні час.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні:** атрыманыя ўзоры матэрыялаў і падэшваў могуць быць выкарыстаны абутковымі прадпрыемствамі пры вытворчасці матэрыялаў і дэталей нізу паўсядзённага абутку, рэкамендацыі могуць быць ужыты ў распрацоўцы рэцэптур палімерных матэрыялаў для нізу абутку.

**Сфера ўжывання:** атрыманыя вынікі могуць быць рэалізаваны ў абутковай прамысловасці.

## РЕЗЮМЕ

**Радюк Анастасия Николаевна**

### **Состав, свойства и оценка качества материалов на основе вторичного пенополиуретана для подошв обуви**

**Ключевые слова:** отходы пенополиуретана, ингредиенты композиции, рециклинг, технология, материалы, подошвы обуви, свойства, структура, оценка, прогнозирование, эффективность.

**Цель работы:** разработка составов композиции для изготовления подошв монолитной, пористой и волокнисто-наполненной структур на основе вторичного пенополиуретана; оценка их качества и прогнозирование эксплуатационных свойств.

**Методы исследования и использованная аппаратура:** для исследования физико-механических и эксплуатационных свойств были использованы: электронные весы RadwagAS 220/C/2; твердомер 2033 ТИР, разрывная машина РТ-250М; прибор типа МИ-2 для определения сопротивления истиранию при скольжении, установка для определения устойчивости к многократному изгибу; структура материалов исследована на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LSH. Используются методы анализа и классификации, математической статистики, комплексной оценки уровня качества, а также методики старения и прогнозирования свойств материалов.

**Полученные результаты и их новизна:** предложен принципиально новый научно обоснованный подход к созданию полимерных материалов на основе трехуровневой системы их получения. Он включает: разработку и обоснование состава композиции на основе вторичного пенополиуретана, позволяющего получить полимерную основу с минимальным количеством ингредиентов, разработку материалов на полимерной основе из вторичного пенополиуретана различных структур, изготовление и внедрение в производство подошв обуви монолитной и волокнисто-наполненных структур, полученных на основе анализа свойств и рецептурных составов композиций. Полученные подошвы обуви превышают нормируемые значения для аналогичных материалов и имеют комплексную оценку качества, сопоставимую с используемыми в настоящее время материалами для подошв обуви.

**Рекомендации по использованию:** полученные образцы материалов и подошв могут быть использованы обувными предприятиями при производстве материалов и деталей низа повседневной обуви, рекомендации могут быть применены в разработке рецептур полимерных материалов для низа обуви.

**Область применения:** полученные результаты могут быть реализованы в обувной промышленности.

## SUMMARY

Anastasiya Radyuk

### **Composition, properties and quality assessment of materials based on secondary polyurethane foam for shoe soles**

**Keywords:** polyurethane foam waste, composition ingredients, recycling, technology, materials, shoe soles, properties, structure, evaluation, forecasting, efficiency

**Purpose of research:** development of compositions for the manufacture of soles of monolithic, porous and fiber-filled structures based on secondary polyurethane foam; evaluation of their quality and prediction of operational properties.

**Research methods and equipment used:** to study the physical, mechanical and operational properties, we used: electronic scales Radwag AS 220/C / 2; hardness tester 2033 TIR, breaking machine RT-250M; device type MI-2 for determining the resistance to abrasion during sliding, installation for determining the resistance to repeated bending; the structure of materials was studied by scanning electron microscopy on an electron microscope VEGA II LSH. Methods of analysis and classification, mathematical statistics, complex assessment of the quality level, as well as methods of aging and forecasting the properties of materials were used.

**The obtained results and their novelty:** a fundamentally new science-based approach to the creation of polymer materials based on a three-level system for their production is proposed. It includes: the development and justification of composition based on recycled polyurethane foam, which allows to obtain polymer base with a minimum amount of ingredients, the development of materials based on polymers from recycled polyurethane foam of various structures, manufacturing and introduction in manufacture of shoe soles of monolithic and fiber-filled structures obtained on the basis of the analysis of the properties and formulated compositions. The resulting shoe soles exceed the normalized values for similar materials and have a comprehensive quality assessment comparable to the currently used materials for shoe soles.

**Recommendations for use:** the obtained samples of materials and soles can be used by shoe companies in the production of materials and details of the bottom of everyday shoes, recommendations can be applied in the development of polymer materials for the bottom of shoes.

**Fields of application:** the results obtained can be implemented in the footwear industry.

**РАДЮК  
АНАСТАСИЯ НИКОЛАЕВНА**

**СОСТАВ, СВОЙСТВА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ НА  
ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА ДЛЯ ПОДОШВ ОБУВИ**

Автореферат диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Витебский государственный технологический университет