

Влияние увлажнения на изменение свойств обувных картонов на основе целлюлозы

К.О. Бужинская, *Витебский государственный технологический университет,*
Т.М. Борисова, *Республика Беларусь*
А.Н. Буркин

Аннотация. В последнее время увеличилось количество возврата ношенной обуви от потребителей по причине возникновения дефектов основной стельки, таких как её растрескивание, проседание, разломы в области расположения решеток формованных подошв. В качестве материала для основных стелек в обувной промышленности применяется преимущественно картон, который представляет собой искусственный материал, состоящий из склеенных коротких целлюлозных волокон.

Цель работы – оценить влияние увлажнения на изменение свойств обувных картонов, проверить соответствие испытаний, предусмотренных стандартами для оценки качества стелечных картонов, реальным условиям эксплуатации обуви. В соответствии со стандартными методиками исследованы физические, механические свойства картонов в сухом состоянии и после выдержки в воде в течение 2 часов и 24 часов, определены показатели влагоотдачи и гигроскопичности, намокаемости, изменение линейных размеров при увлажнении и высушивании. Проведен анализ структуры исследуемых картонов с использованием электронного микроскопа.

Проведенное исследование позволяет предположить, что испытания, предусмотренные стандартами для оценки качества стелечных картонов, не в полной мере отражают реальные воздействия на обувь при эксплуатации, так как, несмотря на соответствие показателей свойств картонов нормативам (за исключением намокаемости), потребителями отмечается расслоение и деформация основных стелек. Необходима разработка новых методик для оценки качества обувных картонов, в большей степени приближенных к условиям эксплуатации обуви.

Установлено, что в процессе увлажнения картонов адгезионные связи между волокном и пропиткой ослабевают (Cellsan) или частично разрушаются (Flexan, Flexan 10, Texon, Kopitex), что приводит к снижению их прочностных характеристик. Большая величина намокаемости, вместе с небольшой влагоотдачей, приводит к разрушению картонов, так как повседневная обувь носится длительное время и в течении дня происходит значительное увлажнение картона, из которого изготовлены основные стельки. Решением данной проблемы может стать разработка материала для основных стелек, более устойчивого к воздействию влаги, который при намокании будет сохранять свою прочность. В дальнейшем необходимо провести исследования по оценке прочности обувных картонов после многократных увлажнений и высушиваний.

Область применения результатов – обувная промышленность.

Ключевые слова: обувной картон, основная стелька, физико-механические свойства картонов, структура картонов.

Информация о статье: поступила 05 марта 2024 года.

The effect of moisture on changing the properties of cellulose-based shoe cardboard

Karina O. Buzhinskaya *Vitebsk State Technological University,*
Tatyana M. Borisova *Republic of Belarus*
Alexander N. Burkin

Abstract. Recently, there has been an increase in the return of used shoes by consumers due to defects in the main insole. These defects include cracking, sagging, and breaks in the area where the molded sole grids are located. The shoe industry predominantly uses cardboard, an artificial material composed of glued short cellulose fibers, for the main insoles. The purpose of the work is to evaluate the effect of humidification on the properties of shoe cardboards and to verify the

compliance of the quality assessment tests stipulated by the standards for insole cardboards with the actual operating conditions of shoes.

Standard methods were employed to study the physical and mechanical properties of cardboard in a dry state and after exposure to water for 2 hours and 24 hours. Parameters such as moisture transfer and hygroscopicity, wetness, and changes in linear dimensions during moistening and drying were determined. An electron microscope was used to analyze the structure of the cardboards under study.

The study indicates that the tests prescribed by the standards for assessing the quality of insole boards do not fully account for the real impacts on shoes during operation. Despite cardboard properties meeting the standards (with the exception of wetness), consumers report delamination and deformation of the main insole. Therefore, it is necessary to develop new methods for assessing the quality of shoe cardboards that more closely resemble the operating conditions of shoes.

It has been determined that during the moistening of cardboards, the adhesive bonds between the fiber and the impregnation weaken (Cellsan) or are partially destroyed (Flexan, Flexan 10, Texon, Konitex), which leads to a decrease in their strength characteristics. A high degree of wetness, coupled with a minimal moisture release, results in the destruction of cardboard. This is because everyday shoes are worn for extended periods throughout a day, and significant moisture accumulates in the cardboard from which the main insoles are made. A solution to this problem could be the development of a material for the main insoles that is more resistant to moisture and retains its strength when wet. Future research should assess the strength of shoeboards after repeated wetting and drying cycles.

The results of this study are applicable to the shoe industry.

Keywords: shoe cardboard, main insole, physical and mechanical properties of cardboard, the structure of cardboard.

Article info: received March 05, 2024.

Введение

Важнейшая задача отечественной обувной промышленности в условиях постоянно растущей конкуренции – сохранение высокого качества выпускаемых изделий, которое во многом определяется качеством материалов и комплектующих, из которых изготовлена обувь.

Одной из наиболее важных и ответственных деталей обуви является основная стелька, которая выступает связующим звеном между затянутой заготовкой верха обуви и подошвой. От качества и состояния основной стельки во многом зависит срок службы всей обуви. Выход из строя стельки может привести к отрыву подошвы, потере жесткости геленочной части обуви, нарушению опорной функции низа обуви, возникающие дефекты могут привести и к болевым ощущениям и даже патологии стопы (Андреева и Кожевников, 2011; Муслимов и др., 2023).

В последнее время увеличилось количество возврата ношенной обуви от потребителя по причине возникновения дефектов основной стельки, таких как её растрескивание, проседание, разломы в области расположения решеток формованных подошв (Шрайнер и др., 2020; Кулик, 2017). В этом случае стелька теряет когезионную прочность, крошится, расслаивается и проваливается в решетку подошвы (рисунок 1), лишая

стопу полноценной опоры, что приводит к дискомфорту при ходьбе, болевым ощущениям, возникновению мозолей, натоптышей в стопе, а также потере гигиенических свойств низа обуви. Сама конструкция обуви, потеряв связующее звено, начинает деформироваться и со временем обувь становится непригодной к носке. Таким образом, поиск решения данной проблемы очень важен для производителей обуви.

Потребители часто задают вопрос о целесообразности таких конструкций подошв и ставят под сомнение качество обуви с подошвами, имеющими решетки, или облегчительные полости. Однако, решётка в подошве – не признак некачественной обуви (Будина, Татарова и Яковлева, 2015; Никитина, Махоткина и Хисамиева, 2010; Кукушкина и др., 2019). В конструкции формованных подошв, то есть подошв, отлитых из полимеров на литьевых агрегатах (рисунок 2), облегчительные полости и решетки (ребра жесткости) предусмотрены для уменьшения веса при сохранении прочности (особенно актуально для модных в настоящее время громоздких подошв большой толщины); для снижения теплопроводности (воздушные полости являются хорошей теплоизоляционной прослойкой); снижения напряжений в подошве в местах изгиба (иначе по внутреннему радиусу материал подошвы испытывает сильное сжатие, а

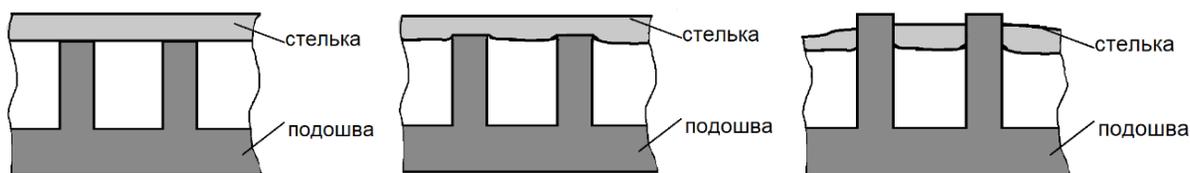


Рисунок 1 – Этапы разрушения основных стелек
Figure 1 – Stages of destruction of the main insoles



Рисунок 2 – Формованные подошвы
Figure 2 – Molded soles

следовательно, происходит излом подошвы); улучшения амортизационных свойств низа; и конечно, немаловажный фактор – для снижения себестоимости обуви.

Предварительный анализ показал, что возможными причинами возникающих проблем могут служить неправильно сконструированные решетки облегчительных полостей, а также сами материалы для основных стелек. В качестве материала для основных стелек в обувной промышленности применяется преимущественно картоны, которые представляют собой искусственные

материалы, состоящие из склеенных целлюлозных волокон.

Обувные предприятия Республики Беларусь используют картоны зарубежных производителей (освоение выпуска обувных картонов на территории страны – актуальная задача импортозамещения).

В Республике Беларусь производителем импортозамещающих деталей низа обуви, а именно стелечных узлов для отечественных и ряда крупных обувных предприятий России является фирма ООО «Новый век» (г. Витебск), которая использует картоны марок Konitex, Hikinoro, Merkens, Lederett и других (Буркин и др., 2021).

Качество обувных картонов оценивается в соответствии с ГОСТ 9542–89 «Картон обувной и детали обуви из него. Технические условия», в котором представлена номенклатура показателей и технические требования к картонам различных марок. В работах (Томашева и др., 2012; Фурашова и Борисова, 2021) были проведены исследования стандартных показателей физико-механических свойств стелечных картонов, которые установили, что по большинству показателей физико-механических свойств импортные картоны соответствуют нормативным значениям, предъявляемым ГОСТ 9542–89 к обувным картонам стран СНГ, и являются технологически пригодными для использования в качестве материала основной стельки. Однако, несмотря на это, производители и потребители отмечают разрушение основных стелек в обуви в области, соответствующей плюсне-фаланговому сочленению стопы. Возможно, это связано с частым увлажнением этой зоны, так как целлюлозное волокно в составе картонов является достаточно гидрофильным.

Таким образом, цель работы – оценить влияние увлажнения на изменение свойств обувных картонов, проверить соответствие испытаний, предусмотренных

стандартами для оценки качества стелечных картонов, реальным условиям эксплуатации обуви. Задачи работы – исследовать стандартные показатели свойств до и после увлажнения, исследовать структуру картонов в сухом и увлажненном состоянии, оценить характер разрушения картонов после физических и механических воздействий.

Объект и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны следующие картоны на основе целлюлозы, используемые для изготовления основных стелек марок: Cellsan, Flexan 10, Texon, Flexan, Konitex. Контрольным образцом для сравнения выбран российский картон СЦМ-Р.

Исследования структуры образцов проводили на металлографическом микроскопе «Altami MET 5», позволяющем получать изображения объектов с увеличением 10X/0,25 BD. Анализ и обработка изображений в режиме реального времени осуществлялась с помощью сертифицированного программного обеспечения Altami Studio.

В процессе исследования картонов определялись стандартные показатели физических свойств материалов, такие как толщина и плотность, механических свойств картонов при растяжении в соответствии с методикой ГОСТ 9186-76 «Картон обувной и детали из него. Правила приемки и методы испытаний». Образцы вырезались в направлении раскроя, рекомендуемом производителями исследуемых картонов. Исследование свойств картонов проводилось в сухом и увлажненном состояниях. Определялись показатели влагоотдачи и гигроскопичности по методике ГОСТ 8971-78 «Кожа искусственная, пленочные материалы и обувной картон. Методы определения гигроскопичности и влагоотдачи», намокаемость, изменение линейных размеров при увлажнении и высушивании в соответствии с методикой ГОСТ 8972-78 «Кожа искусственная. Методы определения намокаемости и усадки».

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1. Анализ полученных данных показал (рисунок 3), что при нахождении в условиях цеха (относительная влажность воздуха 40–50 %, температура 18–22 °С), предел прочности изменяется незначительно. Так, для картонов Flexan и Texon возрастает на 1,3 и 8,8 %, у остальных незначительно уменьшается (на 3,9–8,6 %). После замачивания на 2 часа предел прочности значи-

тельно уменьшается – на величину 50–73 % для картонов Flexan, Konitex, Flexan 10, у картона Cellsan (50 %) наблюдается наименьшее падение прочности, наибольшее (73 %) – у картона Konitex.

После замачивания на 24 часа, предел прочности продолжает снижаться: у картона Cellsan на 58,7 %, у Konitex и Flexan 10 на 74,9 %.

Относительное удлинение при разрыве после нахождения в условиях цеха уменьшилось только у картонов Cellsan (на 14,3 %) и Flexan (на 3,0 %), у остальных незначительно увеличилось на 1,5–5 % (рисунок 4).

После замачивания на 2 ч значительно выросло относительное удлинение картона Cellsan (на 61,9 %), у остальных в меньшей степени, на величину от 5 до 16,2 %. 24-х часовое замачивание также привело к увеличению относительного удлинения только для картона Cellsan – на 42,9 %, у остальных наблюдается снижение на 4,4–16,7 %.

Намокаемость картонов, благодаря наличию в составе целлюлозы, достигает значений: от 70 до 104 % за 2 часа, и только у картона Flexan 10 составила 47 % и оказалась в пределах норм ГОСТ 9542. За 24 часа величина намокаемости достигла величины 78–126 %.

Для показателя гигроскопичности разброс результатов невелик и находится в пределах 6,4–9 %.

Влагоотдача картонов Texon, Flexan, Konitex оказалась меньше рекомендуемой ГОСТом и находится в диапазоне 0,4–0,7 %. Картоны Cellsan и Flexan 10 имеют влагоотдачу 1 %.

Таким образом, после замачивания такой показатель как относительное удлинение для исследуемых образцов изменяется не значительно, а предел прочности резко снижается, причем величина падения прочности возрастает при увеличении времени воздействия влаги. Большая величина намокаемости и малая влагоотдача может приводить к разрушению картонов после носки в течении дня при отсутствии сушки обуви.

Изменение линейных размеров при увлажнении за два часа у всех картонов находится в пределах требований ГОСТ 9542. 24-часовое увлажнение образцов приводит к увеличению изменений линейных размеров до 1,5–1,8 % в продольном направлении (картоны Texon, Cellsan) и до 1,4 % в поперечном (Flexan). При высушивании усадка незначительная и находится в пределах 0,8 % после 2-ух часового увлажнения и 0,7 % после 24-х часового увлажнения.

Таблица 1 – Показатели физико-механических свойств стелечных материалов

Table 1 – Indicators of physical and mechanical properties of insole materials

Показатели Материалы	Нормативы по ГОСТ 9542	СЦМ-Р	Cellsan	Flexan 10	Texon	Flexan	Konitex
Толщина, мм	–	1,8	1,7	1,7	2,0	1,7	1,8
Плотность, г/см ³	0,95, не более	0,65	0,56	0,47	0,51	0,52	0,53
Намокаемость, %: за 2 ч	50, не более	45	71	47	70	89	104
за 24 ч	–	–	89	78	115	122	126
Гигроскопичность, %	2,5, не менее	6,0	9,0	8,4	7,0	6,4	6,9
Влагоотдача, %	1, не менее	5,0	1,0	1,0	0,6	0,7	0,4
Изменение линейных размеров при увлажнении и высушивании, %: за 2 ч							
– при увлажнении в направлении: продольном	1,5 не более	1,0	0,3	0,1	0,1	0,7	1,3
поперечном	2, не более	1,5	1,0	0,2	0,8	1,7	0,5
– при высушивании в направлении: продольном	–	-1,0	-0,7	-0,5	0	-0,2	0
поперечном	–	-1,5	-0,8	-0,2	0	-0,3	0
за 24 ч							
– при увлажнении в направлении: продольном	–	–	1,8	0,2	1,5	0,2	1,0
поперечном	–	–	0,2	0,3	0,8	1,4	0,7
– при высушивании в направлении: продольном	–	–	-0,3	-0,1	-0,3	-0,2	-0,3
поперечном	–	–	-0,3	0	-0,2	-0,2	-0,7

В результате сравнения импортных картонов с российским картоном СЦМ-Р установлено, что они близки по большинству показателей, однако намокаемость и влагоотдача у СЦМ гораздо лучше. По показателю намокаемости ни один импортный картон не соответствует требованию ГОСТ 9542.

Для исследования структуры картонов в сухом и увлажненном состоянии и оценке характера разрушения картонов после физических и механических воздействий была проведена микроскопия, широко применяемая при оценке связеобразования волокон в картоне (Кирсанкин и др., 2018; Беляев, Казаков и Михайлова,

2014; Мидуков и Киров, 2021). Сложность восприятия получаемых снимков волокнистых материалов не позволяет разработать единый стандарт анализа микроскопических исследований, но использование снимков (рисунок 5) поперечного среза позволяет оценить межволоконные связи, установить границу слоев и отличить волокна различной природы.

Строение обувных картонов определяется строением волокон, составляющих волокнистую массу материала, и условиями формования (отлива) листов. Строение волокон зависит от вида исходного волокнистого сырья и характера его размола в процессах подготовки волокни-

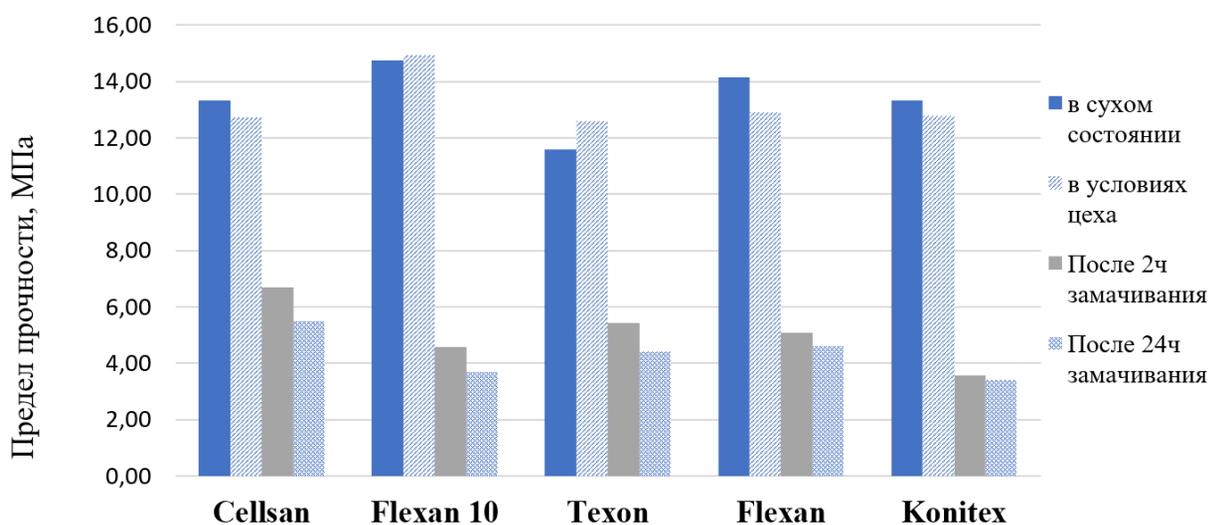


Рисунок 3 – Результаты исследования изменения предела прочности при растяжении картонов после увлажнения

Figure 3 – Results of a study of changes in tensile strength of cardboards after moistening

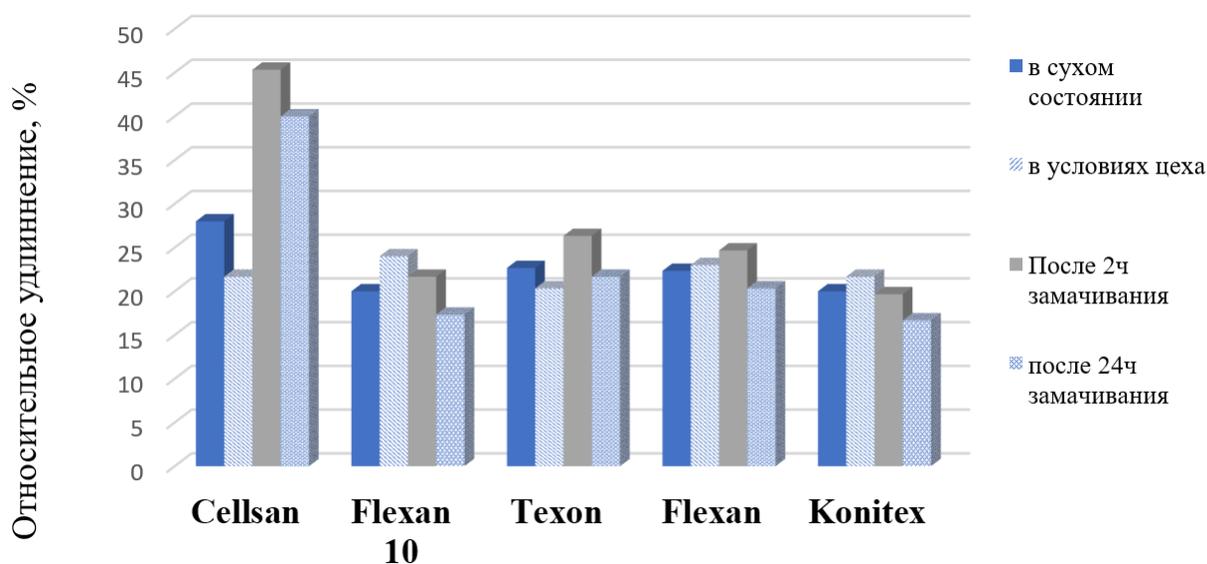
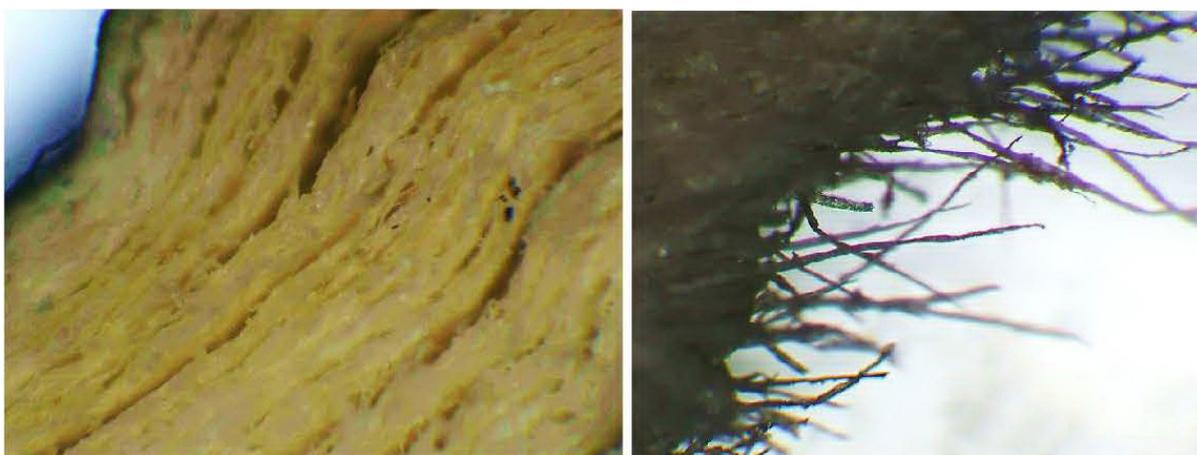
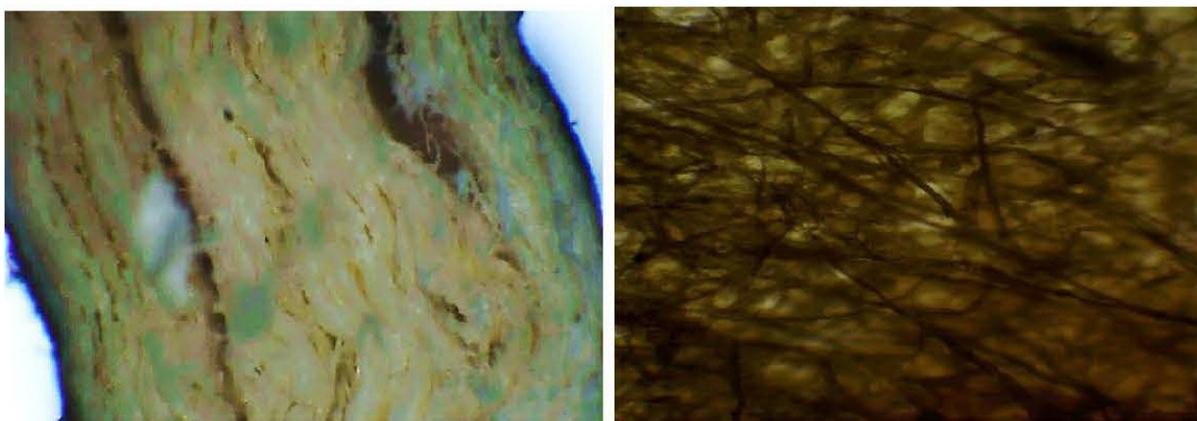


Рисунок 4 – Результаты исследования изменения относительного удлинения при растяжении картонов после увлажнения

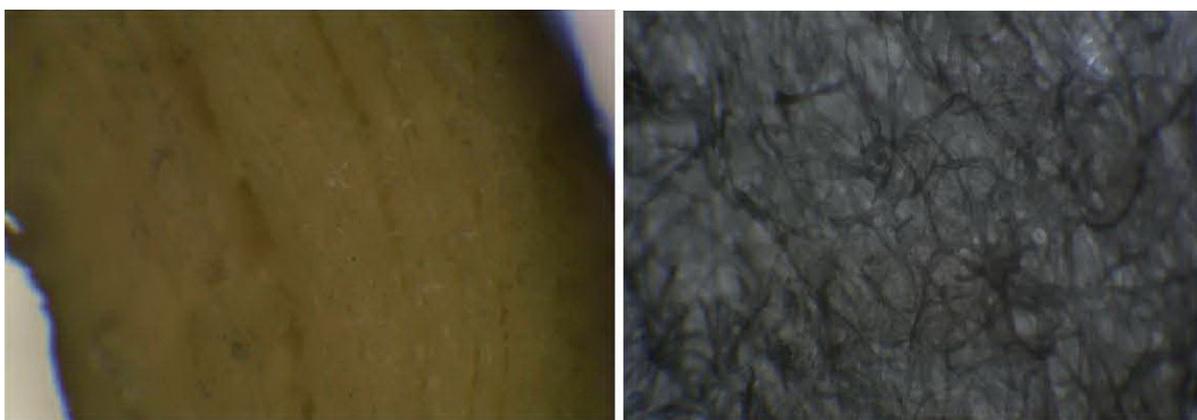
Figure 4 – Results of a study of changes in relative elongation during stretching of cardboards after moistening



Konitex



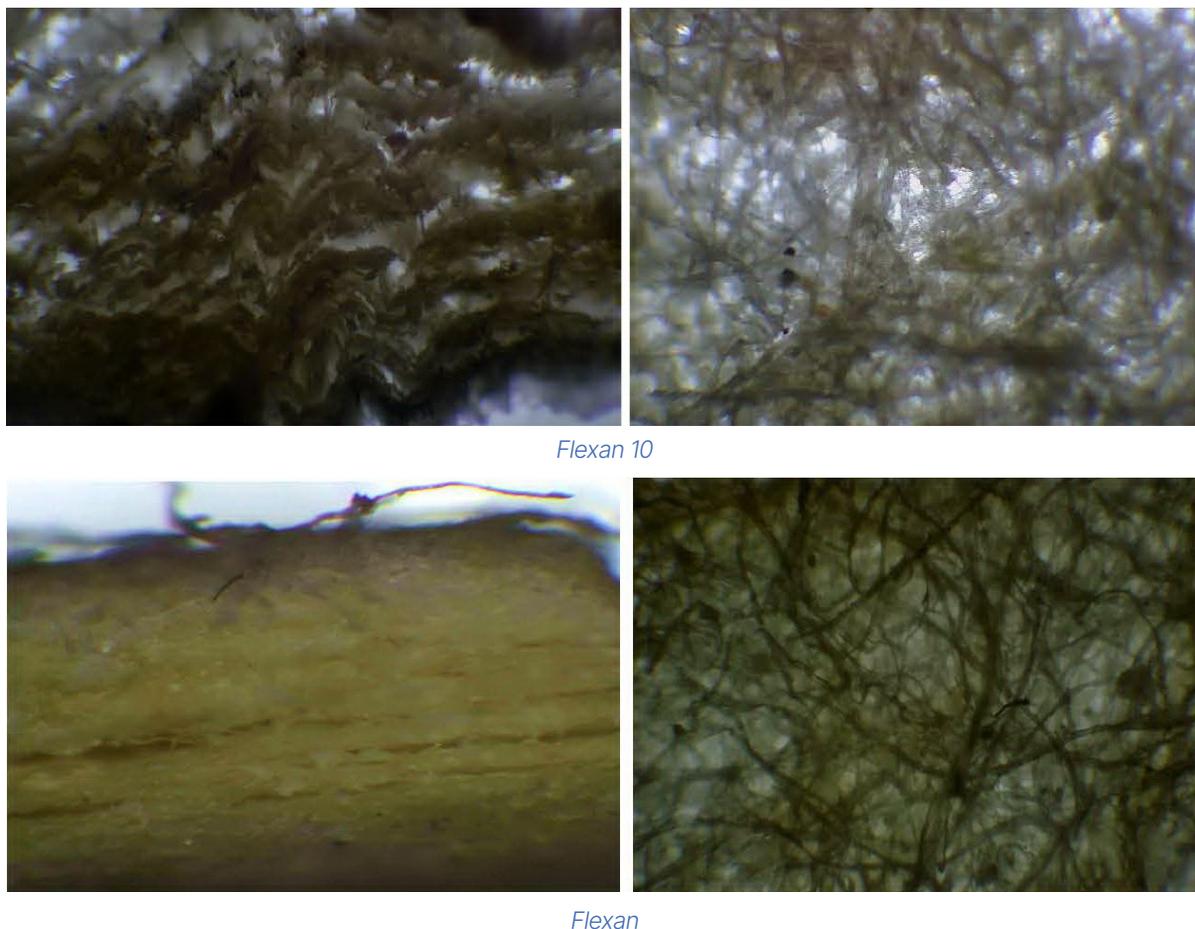
Texon



Cellsan

Рисунок 5 – Микроскопические фотографии поперечных срезов картонов
на основе целлюлозы (10X/0,25 BD)

Figure 5 – Microscopic photographs of cross-sections of cellulose-based cardboards (10X/0.25 BD)



Окончание рисунка 5 – Микроскопические фотографии поперечных срезов картонов на основе целлюлозы (10X/0,25 BD)

Figure 5 – Microscopic photographs of cross-sections of cellulose-based cardboards (10X/0.25 BD)

стой массы к отливу. Условия формования листов определяют расположение волокон в картоне, направление преимущественной ориентации волокон, переплетение волокон и степень их взаимной связи. Существенным элементом строения обувных картонов является также распределение проклеивающих веществ в волокнистой массе, характер этих веществ и общее их количество по отношению к поверхности волокон.

Предварительный анализ структуры исследуемых картонов с использованием микроскопа «Altami MET 5» показал, что исследуемые картоны являются картонами многослойного отлива с весьма совершенной волокнисто-пористой структурой (Мидуков и Киров, 2021; Мидуков

и др., 2019; Мидуков и др., 2020). При рассмотрении поперечных срезов образцов исследуемых картонов под микроскопом можно увидеть, что волокнистая масса в них расположена своеобразными пластинами, состоящими из переплетенных волокон, ориентированных преимущественно в направлении, параллельном плоскости листов (рисунок 5). Образование слоев является результатом наложения волокон во время формования листов картона.

В таких картонах пластины отделяются друг от друга, характерно расположение волокон в направлении, совпадающем с направлением подачи водой волокнистой массы на сетку круглосеточной машины. Проклеиваю-

щие вещества в зависимости от их природы и количественных соотношений с волокнистой массой распределены в картоне только на поверхности волокон или также и между волокнами. В исследуемых картонах волокна одного слоя слабо связаны с волокнами соседнего и расположены в направлении движения, поэтому прочность картона в этом направлении выше, чем в поперечном, т. е. картоны многослойного отлива анизотропны.

При выдержке образцов Konitex, Texon, Flexan и Flexan 10 в воде в течении 2 ч и 24 ч пласты в таких картонах отслаиваются и легко отделяются друг от друга, целлюлозные волокна набухают (рисунок 6). Этим можно объяснить значительное изменение свойств картонов после намокания.

У картона марки Cellsan отслаивания не произошло, в результате чего и отмечается значительное увеличение относительного удлинения и наименьшее среди остальных картонов снижение предела прочности при растяжении после выдержки в воде.

Выводы

Установлено, что испытания, предусмотренные стандартами для оценки качества стелечных картонов, узко отражают реальные воздействия на стельки при эксплуатации, так как, несмотря на соответствие показателей

свойств картонов нормативам (за исключением намокаемости), потребителями отмечается расслоение и деформация основных стелек. Необходима разработка новых методик для оценки качества обувных картонов, в большей степени приближенных к условиям эксплуатации обуви.

В результате исследования структуры и физико-механических свойств картонов установлено, что наилучшим комплексом свойств при увлажнении из рассматриваемых в данной работе материалов обладает картон марки Cellsan. Данную марку можно рекомендовать обувным предприятиям для применения в качестве основных стелек, так как их использование будет способствовать повышению качества готовой обуви.

Установлено, что в процессе увлажнения картонов адгезионные связи между волокном и пропиткой ослабевают (Cellsan) или частично разрушаются (Flexan, Flexan 10, Texon, Konitex), что приводит к снижению их прочностных характеристик. Большая величина намокаемости, вместе с небольшой влагоотдачей, приводит к разрушению картонов, так как повседневная обувь носится длительное время и в течение дня происходит значительное увлажнение картона, из которого изготовлены основные стельки. Решением данной проблемы может стать разработка материала для основных

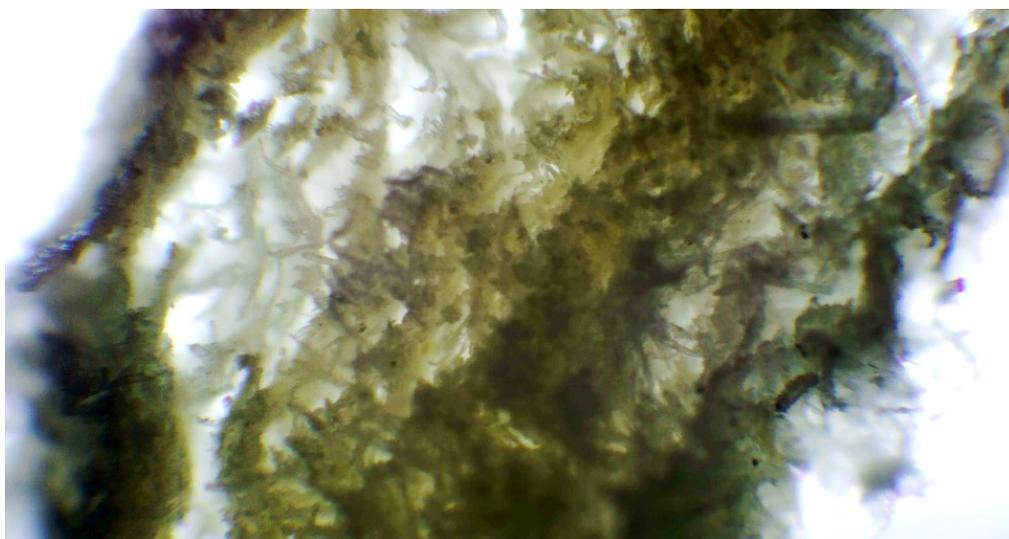


Рисунок 6 – Поперечный срез картона Flexan после выдержки в воде 24 ч (10X/0,25 BD)
Figure 6 – Cross section of Flexan cardboard after soaking in water for 24 hours (10X/0.25 BD)

стелек, более устойчивого к воздействию влаги, который при намокании будет сохранять свою прочность. В дальнейшем необходимо провести исследования по оценке прочности обувных картонов после многократных увлажнений и высушиваний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Андреева, С.Л. и Кажевников, С.Ю. (2011). Теоретические основы технологии повышения прочности картона из макулатуры полимерами. *Химия растительного сырья*, № 1, pp. 179–181.

Беляев, О.С., Казаков, Я.В. и Михайлова, О.С. (2014). Взаимосвязь макроструктуры и физико-механических свойств картона. *Вестник Казанского технологического университета*, № 23, pp. 47–49.

Будина, Г.И., Татарова, С.В. и Яковлева, Н.В. (2015). Совершенствование конструкторско-технологических решений для повышения качества обуви на формованной подошве. *Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна*, № 3, pp. 20–24.

Буркин, А.Н., Шевцова, М.В. и Шеремет, Е.А. (2021). Оценка значимости показателей качества обувных картонов. *Потребительская кооперация*, № 4, pp. 57–62.

Кирсанкин, А.А. и Михалева, М.Г. [и др.] (2018). Изучение топографии материалов на целлюлозной основе методом атомно-силовой микроскопии. *Лесной вестник*, vol. 22, № 1, pp. 84–93.

Кукушкина, В.С., Амосов, Е.К., Лифанов, А.А. и Яковлева, Н.В. (2019). Влияние анатомии и биомеханики стопы на эргономические свойства подошвы в процессе ее трехмерного проектирования. *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*, vol. 44, № 2, pp. 92–95.

Кулик, Т.И. (2017). Метод расчета стержневых элементов низа обуви при кручении. *Вестник Херсонского национального технического университета*, № 1(60), pp. 130–135.

Мидуков, Н.П. [и др.] (2019). Исследование поперечного среза многослойного картона с использованием технологии ионной резки. *Химия растительного сырья*, № 4, pp. 387–397.

Мидуков, Н.П. [и др.] (2020). Морфологические свойства волокон сухого способа подготовки макулатуры при производстве картона. *Химия растительного сырья*, № 1, pp. 365–372.

Мидуков, Н.П. и Куров, В.С. (2021). Влияние микроструктуры картона на его механические свойства. *Химия растительного сырья*, № 4, pp. 361–371.

Мидуков, Н.П. и Куров, В.С. (2021). *Теоретические основы производства многослойного картона из макулатуры*. Санкт-Петербург, Россия.

Мусалимов, В.М., Ерофеев, Ю.С., Монахов, Ю.С. и Малов, М.С. (2023). Моделирование ударно-фрикционного взаимодействия стопы с опорной поверхностью с использованием базиса обобщенных функций Эрмита. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*, vol. 66, № 8, pp. 652–659.

Никитина, Л.Л., Махоткина, Л.Ю. и Хисамиева, Л.Г. (2010). Особенности проектирования подошв из полимерных материалов и пресс-форм для их изготовления. *Вестник Казанского технологического университета*, № 9, pp. 373–376.

Томашева, Р.Н. [и др.] (2012). Комплексное исследование свойств современных стелечных картонов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 22, pp. 47–53.

Фурашова, С.Л. и Борисова, Т.М. (2021). Сравнительный анализ картонов для подложки специальной обуви сандаально-клевого метода крепления. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2(41), pp. 90–103.

Шрайнер Т [и др.] (2020). Влияние сухого диспергирования макулатуры на свойства многослойного картона. *Химия растительного сырья*, № 4, pp. 251–260.

REFERENCES

- Andreeva, S.L. and Kazhevnikov, S.Yu. (2011). Theoretical foundations of technology for increasing the strength of cardboard from waste paper with polymers [Teoreticheskie osnovy tekhnologii povysheniya prochnosti kartona iz makulatury polimerami]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant materials*, no. 1, pp. 179–181 [in Russian].
- Belyaev, O.S., Kazakov, Ya.V. and Mihajlova, O.S. (2014). Relationship between macrostructure and physical and mechanical properties of cardboard [Vzaimosvyaz' makrostruktury i fiziko-mekhanicheskikh svoystv kartona]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Kazan Technological University*, no. 23, pp. 47–49 [in Russian].
- Budina, G.I., Tatarova, S.V. and Yakovleva, N.V. (2015). Improving design and technological solutions to improve the quality of shoes with molded soles [Sovershenstvovanie konstruktorsko-tekhnologicheskikh reshenij dlya povysheniya kachestva obuvi na formovannoj podoshve]. *Vestnik molodyh uchenykh Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna = Vestnik of young scientists of the St. Petersburg State University of Technology and Design*, no. 3, pp. 20–24 [in Russian].
- Burkin, A.N., Shevcova, M.V. and Sheremet, E.A. (2021). Assessing the significance of shoeboard quality indicators [Ocenka znachimosti pokazatelej kachestva obuvnykh kartonov]. *Potrebitel'skaya kooperaciya = Consumer Cooperation*, no. 4, pp. 57–62 [in Russian].
- Kirsankin, A.A. and Mihaleva, M.G. [i dr.] (2018). Study of the topography of cellulose-based materials using atomic force microscopy [Izuchenie topografii materialov na cellyuloznoj osnove metodom atomno-silovoj mikroskopii]. *Lesnoj vestnik = Forestry Bulletin*, vol. 22, no. 1, pp. 84–93 [in Russian].
- Kukushkina, V.S., Amosov, E.K., Lifanov, A.A. and Yakovleva, N.V. (2019). The influence of the anatomy and biomechanics of the foot on the ergonomic properties of the sole in the process of its three-dimensional design [Vliyanie anatomii i biomehaniki stopy na ergonomicheskie svoystva podoshvy v processe ee trekhmernogo proektirovaniya]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti = News of higher educational institutions. Light industry technology*, vol. 44, no. 2, pp. 92–95 [in Russian].
- Kulik, T.I. (2017). Calculation method for core elements of shoe bottoms in torsion [Metod rascheta sterzhnevnykh elementov niza obuvi pri kruchenii]. *Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik of Kherson National Technical University*, no. 1 (60), pp. 130–135 [in Russian].
- Midukov, N.P. [i dr.] (2019). Study of the cross-section of multilayer cardboard using ion cutting technology [Issledovanie poperechnogo sreza mnogoslojnogo kartona s ispol'zovaniem tekhnologii ionnoj rezki]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, 2019, no. 4, pp. 387–397 [in Russian].
- Midukov, N.P. [i dr.] (2020). Morphological properties of fibers of the dry method of preparing waste paper in the production of cardboard [Morfologicheskie svoystva volokon suhogo sposoba podgotovki makulatury pri proizvodstve kartona]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, no. 1, pp. 365–372 [in Russian].
- Midukov, N.P. and Kurov, V.S. (2021). The influence of cardboard microstructure on its mechanical properties [Vliyanie mikrostruktury kartona na ego mekhanicheskie svoystva]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, no. 4, pp. 361–371 [in Russian].
- Midukov, N.P. and Kurov, V.S. (2021). *Teoreticheskie osnovy proizvodstva mnogoslojnogo kartona iz makulatury* [Theoretical foundations for the production of multilayer cardboard from waste paper]. Sankt-Petersburg, Russia [in Russian].
- Musalimov, V.M., Erofeev, Yu.S., Monahov, Yu.S. and Malov, M.S. (2023). Modeling of impact-friction interaction of the foot with the supporting surface using the basis of generalized Hermite functions [Modelirovanie udarno-frikcionnogo vzaimodejstviya stopy s opornoj poverhnost'yu s ispol'zovaniem bazisa obobshchennykh funkciy Ermita]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Priborostroenie = News of higher educational institutions. Instrumentation*, vol. 66, no. 8, pp. 652–659 [in Russian].
- Nikitina, L.L., Mahotkina, L.Yu. and Hisamieva, L.G. (2010). Features of the design of soles made of polymer materials and molds for their production [Osobennosti proektirovaniya podoshvy iz polimernykh materialov i press-form dlya ih izgotovleniya]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Kazan Technological University*, no. 9,

pp. 373–376 (in Russian).

Tomasheva, R.N. [i dr.] (2012). Comprehensive study of the properties of modern insole boards [Kompleksnoe issledovanie svojstv sovremennyh stelechnyh kartonov]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, vol. 22, pp. 47–53 (in Russian).

Furashova, S.L. and Borisova, T.M. (2021). Comparative analysis of cardboards for the backing of special shoes using the sandal-adhesive fastening method [Sravnitel'nyj analiz kartonov dlya podlozhki special'noj obuvi sandal'no-kleevogo metoda krepeleniya]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, no. 2 (41), pp. 90–103 (in Russian).

Shrajnner, T. [i dr.] (2020). The influence of dry dispersion of waste paper on the properties of multilayer cardboard [Vliyanie suhogo dispergirovaniya makulatury na svojstva mnogoslojnogo kartona]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant materials*, no. 4, pp. 251–260 (in Russian).

Информация об авторах

Information about the authors

Бужинская Карина Олеговна

Аспирант, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: ermalovich110600karina@mail.ru

Борисова Татьяна Михайловна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь. E-mail: kaversy@mail.ru

Буркин Александр Николаевич

Доктор технических наук, профессор кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь. E-mail: a.burkin@tut.by

Karina O. Buzhinskaya

Postgraduate Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: ermalovich110600karina@mail.ru

Tatyana M. Borisova

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor of the Department "Clothing and Footwear Design and Technology", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus. E-mail: kaversy@mail.ru

Alexander N. Burkin

Doctor of Science (in Engineering), Professor of the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus. E-mail: a.burkin@tut.by