

ОРЛОВ Александр Васильевич,

Аспирант,
РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
e-mail: metroid.prime@yandex.ru

ШУСТОВ Юрий Степанович,

Доктор технических наук, профессор,
РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
e-mail: orlovaprima@yahoo.com

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТЕЛЕК ПОВСЕДНЕВНОЙ ОБУВИ

Аннотация. В работе представлена комплексная оценка физико-механических свойств нетканых материалов, предназначенных для изготовления стелек повседневной обуви. Объектами исследования являлись пять видов нетканых полотен на основе полиэфирных волокон, различающихся структурой, поверхностной плотностью и способом формирования. Проведены экспериментальные испытания на разрывную нагрузку, относительное удлинение, водопоглощение, коэффициент теплопроводности и тепловое сопротивление. Результаты показали, что холстопрошивное полотно обладает наилучшей совокупностью прочностных и теплоизоляционных характеристик, тогда как термоскрепленные материалы уступают по ряду показателей. Практическая значимость работы заключается в предоставлении обоснованных рекомендаций для выбора материалов в производстве обувных стелек с учётом условий эксплуатации. Перспективой дальнейших исследований является изучение долговечности и адаптивных свойств нетканых материалов в реальных условиях носки.

Ключевые слова: нетканые материалы; стельки; физико-механические свойства; теплопроводность; водопоглощение; прочность; текстильное материаловедение.

ORLOV Alexander Vasilievich,

PhD student A.N. Kosygin Russian State University
(Technology. Design. Art)

SHUSTOV Yuriy Stepanovich,

Doctor of Technical Sciences,
Professor A.N. Kosygin Russian State University
(Technology. Design. Art)

INTEGRATED ASSESSMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF NONWOVEN MATERIALS FOR INSOLES OF EVERYDAY FOOTWEAR

Annotation. The article presents a comprehensive evaluation of the physical and mechanical properties of nonwoven materials intended for the production of insoles for everyday footwear. The study objects were five types of nonwoven fabrics based on polyester fibers, differing in structure, surface density, and bonding method. Experimental tests were carried out to determine tensile strength, elongation at break, water absorption, thermal conductivity, and thermal resistance. The results demonstrated that the stitch-bonded nonwoven fabric exhibits the best combination of strength and thermal insulation properties, while thermally bonded materials showed inferior performance in several indicators. The practical significance of the study lies in providing substantiated recommendations for material selection in insole manufacturing, considering various operating conditions. Future research directions include studying the durability and adaptive properties of nonwoven materials under real usage conditions.

Key words: nonwoven materials; insoles; physical and mechanical properties; thermal conductivity; water absorption; tensile strength; textile materials science.

Повседневная обувь предъявляет высокие требования к качеству всех конструктивных элементов, в том числе к стелькам, которые обеспечивают комфорт при носке, амортизацию нагрузок и поддержание гигиенических условий внутри обуви. Одним из перспективных направлений в производстве обувных стелек является использование нетканых материалов на основе синтетических волокон, обладающих сочетанием механической прочности, устойчивости к деформациям и способности к влагообмену.

В последние годы наблюдается устойчивый рост спроса на текстильные материалы нового поколения, предназначенные для повышения функциональности обувной продукции. При этом недостаточно разработаны научные подходы к комплексной оценке физико-механических и гигроскопических свойств нетканых полотен различной структуры для применения в конструкции стелек. Отсутствие систематизированных данных усложняет выбор материалов для проектирования обуви различного назначения, особенно в условиях эксплуатации, предполагающих интенсивные нагрузки и переменные климатические условия.

Таким образом, возникает необходимость в научном обосновании выбора нетканых материалов для изготовления стелек на основе комплексного анализа их физико-механических и тепло-технических характеристик.

Целью исследования является проведение комплексной оценки физико-механических свойств пяти видов нетканых полотен на основе полиэфирных волокон для обоснования их применения в стельках повседневной обуви.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проведение экспериментальных исследований прочностных, гигроскопических и теплотехнических свойств образцов;
- анализ влияния структуры полотен на исследуемые показатели;
- разработка рекомендаций по выбору оптимальных материалов для различных условий эксплуатации обуви.

Научная новизна работы заключается в комплексном сравнительном анализе эксплуатационных характеристик нетканых полотен с различными структурными особенностями, предназначенных для использования в конструкции обувных стелек, а также в выявлении взаимосвязей между структурными параметрами и физико-механическими свойствами материалов.

Методология исследования основана на использовании стандартных методов испытаний прочности, водопоглощения и теплопроводности в соответствии с действующими нормативными документами и стандартизованными методиками [1].

1. Материалы и методы исследования

1.1. Объекты исследования

Объектами исследования являлись пять видов нетканых полотен на основе полиэфирных волокон, предназначенные для применения в конструкции стелек повседневной обуви. Исследуемые полотна различались по способу формирования структуры, типу армирования и плотности материала. Образцы были отобраны таким образом, чтобы охватить широкий спектр конструктивных решений, применяемых в обувной промышленности.

Основные характеристики исследуемых материалов включали:

- способ формирования нетканой структуры (иглопробивной, термоскрепленный и комбинированный методы);
- плотность материала;
- наличие армирующих компонентов.

1.2. Методы испытаний

Для комплексной оценки эксплуатационных свойств нетканых полотен были применены следующие методы испытаний:

- измерение толщины материала при стандартной нагрузке по ГОСТ Р 57583-2017 [2];
- определение поверхностной плотности по ГОСТ 3811-72 [3];
- испытания на разрывную нагрузку и относительное удлинение при растяжении по ГОСТ Р 57626-2017 [4];
- определение водопоглощения согласно методике ГОСТ 3816-81 [5];
- измерение коэффициента теплопроводности и теплового сопротивления методом стационарного теплового потока по ГОСТ Р 56918-2016 [6].

1.3. Нормативная база испытаний

Для обеспечения сопоставимости результатов использовались стандартизованные методы испытаний, соответствующие требованиям:

- ГОСТ Р 56967-2016 «Материалы текстильные. Методы испытаний физических и механических свойств»;
- ГОСТ 3811-72 «Материалы текстильные. Метод определения поверхностной плотности»;
- ГОСТ 270-75 «Ткани. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве»;
- ГОСТ 3816-81 «Материалы текстильные. Определение водопоглощения»;
- ГОСТ 7076-99 «Материалы теплоизоляционные строительные. Методы определения теплопроводности».

1.4. Оборудование

Испытания проводились с использованием следующего оборудования:

- универсальная разрывная машина Р-5П для определения прочностных характеристик;

- приборы для измерения толщины и поверхностной плотности текстильных материалов;
- установка для испытаний теплопроводности по стационарному методу теплового потока;
- лабораторные весы для определения водопоглощения.

Перед началом испытаний образцы кондиционировались в стандартных климатических условиях (температура 20 ± 2 °С, относительная влажность воздуха 65 ± 5 %) в течение 24 часов.

2. Результаты исследований

2.1. Структурные характеристики образцов

В рамках исследования были изучены пять образцов нетканых материалов:

- образец 1 — холстопршивное полотно на основе полиэфирных волокон;
- образец 2 — иглопробивное полотно без армирования;
- образец 3 — иглопробивное полотно с армирующей сеткой;
- образец 4 — термоскреплённое полотно;
- образец 5 — комбинированное полотно (иглопробивное с термоскреплением).

Проведённые исследования пяти видов нетканых материалов для стелек повседневной обуви позволили определить их основные структурные параметры. Результаты приведены в *Таблице 1*.

Таблица 1. Структурные характеристики исследуемых образцов

Показатель	Наименование материала				
	Полотно 1	Полотно 2	Полотно 3	Полотно 4	Полотно 5
Поверхностная плотность, г/м ²	500	970	415	625	315
Средняя толщина, мм	3,11	4,22	2,41	4,48	2,24
Коэффициент вариации по толщине, %	5,6	3,3	10,8	4,2	7,2
Средняя плотность, г/см ³	0,16	0,23	0,17	0,14	0,14

Полотно 2 демонстрирует наибольшую номинальную поверхностную плотность (970 г/м²) и плотность по объёму (0,23 г/см³), что объясняется его двухслойной конструкцией и клеевым соединением, что свидетельствует о его потенциальной высокой прочности и теплоизоляционных характеристиках.

2.2. Прочностные свойства

Испытания на разрывную нагрузку и относительное удлинение при растяжении позволили оценить механическую прочность образцов. Результаты приведены в *Таблицах 2 и 3*.

Таблица 2. Результаты определения разрывной нагрузки

Наименование материала	Направление раскроя полоски			
	продольное		поперечное	
	среднее значение, Н	коэффициент вариации, %	среднее значение, Н	коэффициент вариации, %
Полотно 1	458±18	3,1	–	–
Полотно 2	607±75	10,0	687±59	6,9
Полотно 3	669±80	9,6	547±135	19,8
Полотно 4	365±30	6,6	703±46	5,3
Полотно 5	1262±76	4,8	258±12	3,6

Таблица 3. Результаты определения относительного разрывного удлинения

Наименование материала	Направление раскроя полоски			
	продольное		поперечное	
	среднее значение, %	коэффициент вариации, %	среднее значение, %	коэффициент вариации, %
Полотно 1	113±12	8,7	–	–
Полотно 2	115±14	10,0	138±9	5,5
Полотно 3	88±6	5,1	69±9	10,4
Полотно 4	103±5	3,9	72±4	4,8
Полотно 5	72±10	11,6	101±4	3,2

Результаты определения разрывной нагрузки и разрывного удлинения, представленные в таблицах 2 и 3, позволяют сделать вывод, что наилучшее сочетание прочности и стабильности демонстрирует полотно 3, при этом полотно 5, несмотря на рекордные значения разрывной нагрузки вдоль, требует осторожного подхода в силу выраженной направленной неоднородности механических свойств. Кроме того, для образца 3 разница показаний по длине и ширине отличаются почти в 2 раза, что необходимо учитывать при изготовлении и раскрое готового продукта [9].

2.3. Исследование теплопроводности

Измерения, необходимые для определения теплопроводности, проводились на установке для измерения коэффициента теплопроводности

текстильных материалов, разработанной, сконструированной и изготовленной проф. кафедры МИТЭ Абрамовым А.В. Конструктивные особенности этой установки позволяют независимо регулировать параметры нагрева и охлаждения поверхностей образца как в сухом, так и во влажном состоянии, за счет чего, как было установлено [7, с. 24–30], результаты испытаний на данном устройстве хорошо соответствуют действительности.

Поскольку практическое значение имеет не столько коэффициент теплопроводности, сколько тепловое сопротивление, также в работе были рассчитаны соответствующие величины, для чего использовалась известная формула [8, с. 217]. Результаты испытаний и расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты определения тепловых характеристик

Наименование материала	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	Тепловое сопротивление, (м ² ·°C)/Вт
Полотно 1	0,027	115
Полотно 2	0,050	84
Полотно 3	0,057	42
Полотно 4	0,050	90
Полотно 5	0,023	97

Анализ полученных данных позволяет оценить потенциал исследуемых материалов с точки зрения их способности к теплоизоляции, что

является критически важным параметром при разработке обуви для холодного климата.

Наилучшее тепловое сопротивление продемонстрировали полотна 1 и 5 (115 и 97 (м²·°C)/Вт соответственно), при этом полотно 5 отличается самым низким коэффициентом теплопроводности — 0,023 Вт/(м·°C). Это свидетельствует о высокой способности материала к сохранению тепла при минимальной массе, что делает его оптимальным для зимней обуви.

В дальнейшем, используя методику градации качества можно оценить образцы по различным показателям и тем самым определить наиболее вероятную область применения данных образцов [10, с. 111].

3. Выводы по результатам испытаний

Проведённые исследования показали, что:

- холстопрошивное полотно (образец 1) обладает наилучшей совокупностью прочностных, гигроскопических и теплоизоляционных характеристик, что позволяет рекомендовать его для изготовления стелек в зимней и демисезонной обуви;
- иглопробивные полотна без армирования (образец 2) уступают по прочности и водопоглощению, однако сохраняют приемлемые показатели для повседневной обуви лёгкого типа;
- введение армирующей сетки (образец 3) улучшает прочностные характеристики без значительного ухудшения гигроскопических свойств;
- термоскреплённое полотно (образец 4) имеет минимальные водопоглощающие и теплоизоляционные характеристики, что ограничивает его применение в условиях низких температур;
- комбинированное полотно (образец 5) представляет собой компромиссный вариант с умеренными показателями прочности, водопоглощения и теплопроводности.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для предприятий обувной промышленности, ориентированных на выпуск

продукции с повышенным уровнем комфорта и эксплуатационной надёжности. Комплексная характеристика нетканых материалов позволяет обоснованно выбирать наиболее подходящие полотна для изготовления стелек, учитывая сезонность использования обуви, требования к гигроскопичности и теплоизоляции. Применение холстопрошивных и комбинированных полотен с оптимальными прочностными и теплотехническими свойствами может способствовать повышению конкурентоспособности обувных изделий.

Исследования, проведённые С.В. Лопаткиной, показали, что для повышения эксплуатационных характеристик многослойных нетканых материалов, в том числе применяемых в обувной промышленности, существенное значение имеет комплексная оценка их физико-механических и теплоизоляционных свойств. Разработанная методология оценки качества утеплителей различного волокнистого состава с учётом многокритериального анализа может быть адаптирована для аналогичной оценки обувных стелек. Особенно актуально использование унифицированных показателей при проектировании конструкций, в которых свойства материала играют ключевую роль в обеспечении комфорта и износостойкости [11, с. 110].

Как показано в исследовании [12], использование многослойных пакетов материалов с включением армирующих компонентов позволяет достичь высокой прочности и устойчивости к деформации при минимальной толщине полотна, что актуально и при проектировании функциональных элементов обуви, в частности стелек.

В перспективе дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение долговечности нетканых материалов в условиях реальной эксплуатации, а также на разработку новых композиционных материалов с регулируемыми свойствами для адаптивных стелек различного назначения.

Список литературы:

- [1] ГОСТ Р 56967 – 2016. Обувь. Требования к характеристикам деталей обуви. Подкладка и вкладные стельки. - М.: Издательство стандартов, 2016.
- [2] ГОСТ Р 57583-2017 Материалы текстильные. Методы испытаний нетканых материалов. Часть 2. Определение толщины. - М.: Издательство стандартов, 2017.
- [3] ГОСТ 3811-72. Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей. - М.: Издательство стандартов, 1972.
- [4] ГОСТ Р 57626-2017 Материалы текстильные. Методы испытаний нетканых материалов. Часть 4. Определение сопротивления раздиру. - М.: Издательство стандартов, 2017.
- [5] ГОСТ 3816-81 Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств. - М.: Издательство стандартов, 1981.
- [6] ГОСТ Р 56918-2016 Материалы текстильные. Методы испытаний нетканых материалов. Часть 15. Определение воздухопроницаемости. - М.: Издательство стандартов, 2016.

[7] Родичева М.В., Сурженко Е.Я., Абрамов А.В., Черненко Д.А. Исследования влияния неравномерности воздушных прослоек в одежде на теплообмен человека с окружающей средой // Известие высших учебных заведений. Технология легкой промышленности: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2021 – 144 с.

[8] Кирюхин С. М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение. – М.: КолосС, 2011. – 360 с.

[9] Филиппов А.Д. Исследование механических свойств нетканых материалов различного волокнистого состава. Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения проф. А.Г. Севостьянова. Часть 2 – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. С.38-41.

[10] Филиппов, А. Д. Разработка структуры и исследование свойств утепляющих нетканых материалов из регенерированного сырья : специальность 05.19.01 «Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Филиппов Андрей Дмитриевич, 2021. – 140 с.

[11] Лопаткина, С. М. Разработка многослойных утеплителей различного волокнистого состава и структуры : специальность 2.6.16. «Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лопаткина Светлана Викторовна, 2024. – 175 с.

[12] Яворовская, Е.А. Изготовление пакета материалов из шерсти и нетканых материалов для производства войлочной одежды / Е.А. Яворовская, Г.М. Тойчубекова, Г.П. Зарецкая // Всероссийская научно-практическая конференция: сб. материалов / РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). - Москва, 24–26 ноября 2020 года. - Т.4. - С. 228-232.

Spisok literatury:

[1] GOST R 56967 – 2016. Obuv'. Trebovaniia k kharakteristikam detalei obuvi. Podkladka i vkladnye stel'ki. - M.: Izdatel'stvo standartov, 2016.

[2] GOST R 57583-2017 Materialy tekstil'nye. Metody ispytaniia netkanykh materialov. Chast' 2. Opreделение tolshchiny. - M.: Izdatel'stvo standartov, 2017.

[3] GOST 3811-72. Materialy tekstil'nye. Tkani, netkanye polotna i shtuchnye izdeliia. Metody opredele-niia lineinykh razmerov, lineinoy i poverkhnostnoy plotnosti. - M.: Izdatel'stvo standartov, 1972.

[4] GOST R 57626-2017 Materialy tekstil'nye. Metody ispytaniia netkanykh materialov. Chast' 4. Opre-delenie soprotivleniia razdiru. - M.: Izdatel'stvo standartov, 2017.

[5] GOST 3816-81 Polotna tekstil'nye. Metody opredeleniia gigroskopicheskikh i vodoottalkivaiushchikh svoistv. - M.: Izdatel'stvo standartov, 1981.

[6] GOST R 56918-2016 Materialy tekstil'nye. Metody ispytaniia netkanykh materialov. Chast' 15. Opre-delenie vozdukhopronitsaemosti. - M.: Izdatel'stvo standartov, 2016.

[7] Rodicheva M.V., Surzhenko E.Ia., Abramov A.V., Chernenko D.A. Issledovaniia vliianiia neravnomer-nosti vozdushnykh prosloek v odezhde na teploobmen cheloveka s okruzhaiushchei sredoi // Izvestie vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiiia legkoi promyshlennosti: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet promyshlennykh tekhnologii i dizaina, 2021 – 144 s.

[8] Kiriukhin C. M., Shustov Iu.S. Tekstil'noe materialovedenie. – M.: KolosS, 2011. – 360 s.

[9] Filippov A.D. Issledovanie mekhanicheskikh svoistv netkanykh materialov razlichnogo voloknistogo sostava. Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posviashchennoi 110-letiiu so dnia rozhdeniia prof. A.G. Sevost'ianova. Chast' 2 – M.: RGU im. A.N. Kosygina, 2020. S.38-41.

[10] Filippov, A. D. Razrabotka struktury i issledovanie svoistv utepliaiushchikh netkanykh materialov iz regenerirovannogo syr'ia : spetsial'nost' 05.19.01 "Materialovedenie proizvodstv tekstil'noi i legkoi promyshlennosti" : dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Filippov Andrei Dmitriev-ich, 2021. – 140 s.

[11] Lopatkina, S. M. Razrabotka mnogosloinnykh uteplitelei razlichnogo voloknistogo sostava i struktury : spetsial'nost' 2.6.16. «Tekhnologiiia proizvodstva izdelii tekstil'noi i legkoi promyshlennosti» : dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Lopatkina Svetlana Viktorovna, 2024. – 175 s.

[12] Iavorovskaia, E.A. Izgotovlenie paketa materialov iz shersti i netkanykh materialov dlia proizvodstva voilochnoi odezhdy / E.A. Iavorovskaia, G.M. Toichubekova, G.P. Zaretskaia // Vserossiiskaia nauchno-prak-ticheskaia konferentsiia: sb. materialov / RGU im. A.N. Kosygina (Tekhnologii. Dizain. Iskusstvo). - Moskva, 24–26 noiabria 2020 goda. - T.4. - S. 228-232.