

УДК 677.017.82

DOI 10.47367/0021-3497_2025_2_128

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ИСТИРАНИЯ ТКАНЕЙ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ
НА ИХ АНТИСТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

**METHOD OF ASSESSING THE INFLUENCE OF FABRIC FOR SPECIAL
CLOTHING ABRATION ON THEIR ANTISTATIC PROPERTIES**

В.Г. МАРЧЕНКО, Д.Б. РЫКЛИН

V.G. MARCHENKO, D.B. RYKLIN

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: veronika1300@mail.ru, ryklin-db@mail.ru)

Цель работы заключается в разработке и обосновании подходов к определению стойкости к истиранию тканей, содержащих электропроводящие нити, а также оценке изменения антистатических свойств материалов после многоцикловых воздействий. Предложен вариант методики определения стойкости к истиранию антистатических тканей для спецодежды с использованием метода, представленного в ГОСТ ISO 12947-2-

2021, отличающегося тем, что испытуемый материал и абразив меняются местами при заправке, а воздействие абразива осуществляется в двух зонах образца с целью использования полученной пробы для определения изменения удельного поверхностного электрического сопротивления. Проведена апробация предложенной методики и получены зависимости удельного поверхностного электрического сопротивления от количества циклов истирания для образца, содержащего в составе антистатические нити. Установлено, что с увеличением количества циклов истирания удельное поверхностное сопротивление ткани незначительно повышается, но после 7 тысяч циклов не превышает значений, установленных для антистатических тканей. С целью проверки гипотезы о том, что на поверхности материала после истирания остаются фрагменты металлических волокон, влияющие на результат испытаний, образцы тканей были подвергнуты стиркам. Установлено, что различия между полученными данными для исходных и подвергнутых испытаниям тканей становятся статистически значимыми только после 5 тысяч циклов истирания с последующей стиркой образцов. При этом различия между данными до и после мокрой обработки при одинаковом количестве циклов истирания являются несущественными. Однако, учитывая разброс получаемых значений, при разработке методики оценки изменения удельного поверхностного электрического сопротивления антистатических тканей в процессе истирания рекомендуется вводить этап стирки образцов для получения наиболее достоверных результатов испытаний.

The aim of the work is to develop and substantiate approaches to determining the abrasion resistance of fabrics containing conductive threads, as well as to assess changes in the antistatic properties of materials after multi-cycle exposure. A version of the methodology for determining the abrasion resistance of antistatic fabrics for workwear is proposed using the method presented in GOST ISO 12947-2-2021, characterized in that the test material and the abrasive change places during threading, as well as in the effect of the abrasive in two zones of the sample in order to use the resulting sample to determine changes in the specific surface electrical resistance. The proposed methodology was tested and the dependences of the specific surface electrical resistance on the number of abrasion cycles were obtained for a sample containing antistatic threads. It was found that with an increase in the number of abrasion cycles, the specific surface resistance of the fabric increased slightly, but after 7 thousand cycles it did not exceed the values established for antistatic fabrics. In order to test the hypothesis that fragments of metal fibers that affect the test results remain on the surface of the material after abrasion, the fabric samples were washed. It was found that the differences between the data obtained for the original and tested fabrics become statistically significant only after 5 thousand abrasion cycles with subsequent washing of the samples. At the same time, the differences between the data before and after wet treatment with the same number of abrasion cycles are insignificant. However, given the range of the obtained values, when developing a method for assessing the change in the specific surface electrical resistance of antistatic fabrics during abrasion, it is recommended to introduce a stage of washing samples to obtain the most reliable test results.

Ключевые слова: многоцикловые испытания, стойкость к истиранию, спецодежда, антистатические ткани, защитные свойства, удельное поверхностное электрическое сопротивление.

Keywords: multi-cycle testing, abrasion resistance, workwear, antistatic fabrics, protective properties, specific surface electrical resistance.

Введение

Защита работников от статического электричества является одной из приоритетных задач во многих производственных областях.

Статическое электричество может создавать проблемы в процессе эксплуатации работником измерительного оборудования, приборов, а также при работе с легковоспламеняющимися и взрывоопасными веществами на предприятии. Для предотвращения нежелательных последствий используются средства, предназначенные для антистатической защиты. К таким материалам относятся ткани, которые содержат в своем составе электропроводящие компоненты (волокна, нити), а также ткани с антистатическими пропитками. Данные текстильные материалы появились на мировом рынке относительно недавно, и исследование изменения их свойств в процессе эксплуатации остается актуальной задачей.

В процессе эксплуатации одежда специального назначения подвергается воздействию различных факторов, которые постепенно ухудшают защитные свойства материалов. Актуальной научной задачей является изучение влияния различных эксплуатационных воздействий на изменение свойств материалов, к которым предъявляются требования с учетом выполняемых ими функций.

Значительное количество работ посвящено определению стойкости к истиранию различных тканей, а также зависимости этого показателя от различных факторов, таких как условия проведения испытаний, вид абразива и т. д. [1]. В качестве критериев износостойкости при истирании используется множество показателей, в том числе потеря массы образца, уменьшение его толщины, снижение механических свойств (прочность, упругость, жесткость и др.), увеличение воздухопроницаемости и светопропускания, ухудшение внешнего вида изношенной поверхности (пиллинговость и т. д.) [2, 3].

В настоящее время значительный интерес представляют работы, посвященные изучению влияния процесса истирания на изменение свойств тканей, предназначенных для изготовления спецодежды. При испытаниях таких тканей описанного в работах перечня критериев недостаточно, так как важным вопросом является потеря специфических свойств, определяющих возможность эксплуатации изделий в определенных условиях и выполнение ими заданных функций. Например, в работе [4] отмечается, что принятая в отрасли система оценки надежности защиты шахтеров спецодеждой от влияния комплекса опасных и вредных производственных факторов малоэффективна. В первую очередь это объясняется отсутствием научно обоснованных подходов, позволяющих определять эффективность защитных и эксплуатационных характеристик и разрабатывать перспективные направления в их создании и совершенствовании.

Таким образом, можно сделать вывод, что при проектировании новых видов тканей, обладающих особым комплексом свойств с учетом условий последующей эксплуатации изделий из них, необходимо осуществлять разработку соответствующего комплекса критериев и при необходимости выполнять корректировку условий проведения испытаний.

Ряд публикаций посвящен оценке устойчивости тканей специального назначения к истиранию с учетом их многократных стирок. При проведении исследований полотна подвергались многократным стиркам, после воздействия которых определялась кинетика изнашивания материала [5, 6]. В работе [7] описаны исследования, объектом которых являлись пакеты материалов, используемые при изготовлении боевой одежды пожарных для подразделений МЧС РБ. Пакеты подвергались воздействию основных эксплуатационных факторов (истирание, стирка и воздействие теплового потока) с целью определения их

влияния на теплозащитные свойства боевой одежды.

В связи с расширением производства тканей с антистатическими свойствами актуальным является проведение аналогичных исследований для данного вида инновационных текстильных материалов.

Стоит отметить, что для антистатических текстильных материалов нет стандартизированной методики определения стойкости к истиранию.

Требования к спецодежде для защиты от статического электричества приведены в ГОСТ 12.4.124-83. В соответствии с этим стандартом удельное поверхностное электрическое сопротивление для материалов, применяемых для спецодежды, не должно превышать 10^7 Ом. Важно отметить, что в течение установленного срока эксплуатации спецодежды свойства материалов должны сохраняться на требуемом уровне. С учетом этого целью данной работы является разработка и обоснование подходов к определению стойкости к истиранию тканей, содержащих электропроводящие нити, а также оценка изменения антистатических свойств материалов после многоцикловых воздействий.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования выбраны ткани для спецодежды ПОЛЕТ-М производства ОАО «Моготекс», предназначенная для изготовления одежды работников АЗС и нефтегазового комплекса и содержащая в своей структуре антистатические нити, в качестве которых выступает пряжа с вложением 10 % стального волокна Bekinox. Эти ткани имеют удельное сопротивление в диапазоне $10^4 \dots 10^6$ Ом, что характеризует их как антистатические. В исследуемом материале антистатические нити формируют сетку с размером ячейки 10×10 мм.

Стойкость к истиранию текстильных материалов, не характеризующихся антистатическими свойствами, определяют с использованием методики, описанной в ГОСТ 18976-73 «Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию». Согласно данной методике испытание материалов проводят до момента их разрушения.

Однако стандартная методика, например, с применением прибора ДИТ-М не подходит для тканей, содержащих металлические и металлизированные нити. Это обусловлено принципом работы прибора. Во время испытания хлопчатобумажных и шелковых тканей при разрушении испытуемых образцов прибор ДИТ-М автоматически выключается в результате контакта нихромовой проволоки с грибком. В случае испытаний антистатических тканей данный контакт создается непосредственно электропроводящими нитями, интегрированными в структуру полотна.

Другим фактором, ограничивающим применение прибора ДИТ-М для решения задачи оценки потери антистатических свойств в процессе эксплуатации, является то, что размеры используемого абразива не позволяют получить пробу полотна, размеры которой соответствуют условиям испытаний при оценке удельного поверхностного электрического сопротивления.

В связи с указанными недостатками для достижения поставленной цели было принято решение разработать методику на основе ГОСТ ISO 12947-2-2021 «Материалы текстильные. Определение стойкости текстильных материалов к истиранию по методу Мартиндейла. Часть 2. Определение момента разрушения».

Метод Мартиндейла является одним из наиболее широко используемых в мире при оценке устойчивости тканей к истиранию [1]. Данный метод распространяется на все виды текстильных материалов, за исключением материалов с покрытием, и позволяет определить момент разрушения путем оценки через фиксированные интервалы, что в целях проводимого исследования предоставит возможность испытать материал, избежав его непосредственного разрыва.

Несмотря на все преимущества, методика, описанная в стандарте, потребовала внесения изменений в процесс проведения испытаний, так как для определения удельного поверхностного электрического сопротивления необходима большая рабочая зона. Например, образцы для испытаний на приборе ИЭСП-2 должны соответ-

ствовать размерам 200 мм × 100 мм, так как диаметр электродов составляет примерно 70 мм.

В источнике [8] отмечается, что в настоящее время не предусмотрено применение в практике лабораторных исследований тканей, прибора или стенда, предназначенного для их испытания на стойкость к истиранию по большой плоскости.

Диаметр проб, заправляемых в держатели для истирания по методу Мартиндейла, должен составлять 38 мм, что значительно меньше необходимых размеров. При этом диаметр абразивного материала при испытании на данном приборе составляет 140 мм. Исходя из этого, было принято решение поменять испытываемую пробу и абразивный материал местами и осуществлять воздействие абразива в двух зонах образца.

Общая последовательность операций при проведении испытания образцов антистатических тканей представлена на рис. 1 в виде блок-схемы.

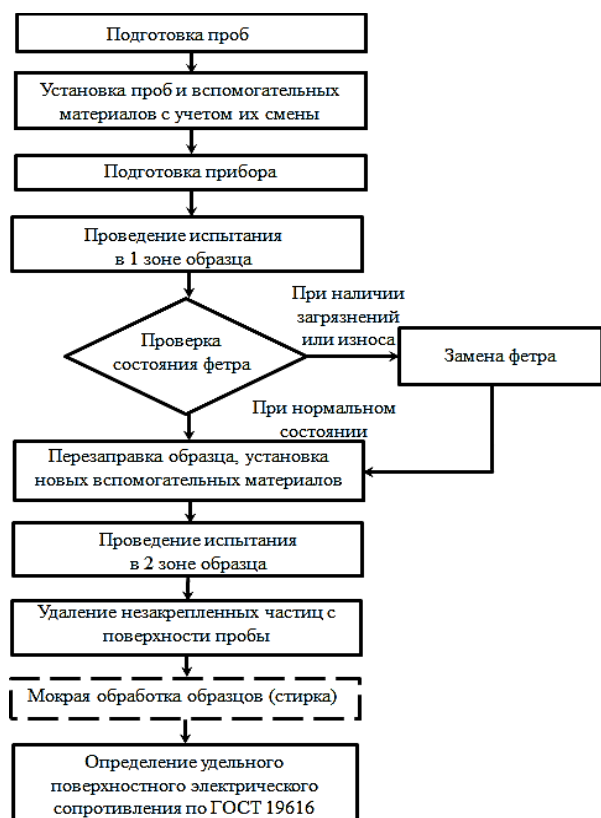


Рис. 1

Подготовка проб, как в случае применения стандартной методики, заключалась

в их кондиционировании при стандартных атмосферных условиях. Далее для проведения испытания выкраивались образцы размером не менее 250×150 мм, наносилась разметка в соответствии со схемой (рис. 2), расстояние между центрами истираемых зон $r = 9,5$ см [9].

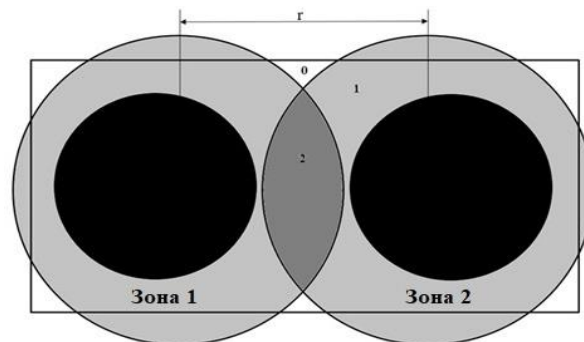


Рис. 2

В процессе многоцикловых воздействий на материале может образовываться несколько областей:

0 – область, в которой истирание не происходило;

1 – область, в которой истирание осуществлялось одним абразивом;

2 – область, в которой материал последовательно подвергся процессу истирания двумя абразивами.

Черным цветом на рис. 2 выделены области расположения электродов при испытании пробы на приборе ИЭСТП-2, окружности большего диаметра ограничивают зоны истирания.

Установка абразива с фетровой подложкой происходит по п. 7.6.2 ГОСТ ISO 12947-2-2021. Установка испытываемого образца осуществляется аналогично п. 7.6.3 с уточнением: нанесенная на пробу разметка должна находиться строго по центру столика.

Подготовка прибора проводится согласно п. 7.8 вышеуказанной методики. Нагрузка на образец выбирается с учетом вида испытываемой ткани. Для материалов, предназначенных для рабочей одежды, данное значение равно (795 ± 7) г (номинальное давление 12 кПа).

Испытание на истирание проводится без прерывания до достижения выбранного количества циклов. После этого испытываемую пробу перезаправляют согласно

разметке по вышеописанной процедуре. Необходимо проверить фетр на наличие загрязнений и износ. При обнаружении загрязнения, в результате которого произошло окрашивание (уровень серой шкалы в соответствии с ISO 105-A03 не более 3), фетр заменяют. Если наблюдаются изменения в массе и/или толщине фетра, не соответствующие требованиям ISO 12947-1:1998, фетр заменяют. Допускается использовать обе стороны фетра. Подложку из пеноматериала и абразивный материал заменяют на новые. Далее все операции повторяют аналогично описанным ранее.

Стоит отметить, что после истирания на материале остаются фрагменты металлических волокон. Перед испытанием образца на приборе ИЭСП-2 необходимо аккуратно удалить их путем стряхивания и чистки сухой губкой.

Результаты и обсуждения

С целью определения влияния количества циклов на удельное поверхностное электрическое сопротивление проведен эксперимент. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Показатель	Количество циклов истирания	Удельное поверхностное электрическое сопротивление ткани, Ом	
		диапазон	среднее значение
До испытаний	—	$2,50 \cdot 10^4 - 1,19 \cdot 10^5$	$4,86 \cdot 10^4$
После испытаний на истирание	3000	$2,37 \cdot 10^4 - 1,78 \cdot 10^5$	$5,80 \cdot 10^4$
	5000	$2,37 \cdot 10^4 - 1,65 \cdot 10^5$	$6,73 \cdot 10^4$
	7000	$2,64 \cdot 10^4 - 1,71 \cdot 10^5$	$8,07 \cdot 10^4$

С помощью U-критерия Манна-Уитни проведена оценка значимости различий между испытаниями. Установлено, что различия между полученными данными до испытаний и после каждого из них являются незначительными.

Анализируя экспериментальные данные, представленные в табл. 1, можно сделать вывод о том, что все испытанные образцы тканей соответствуют нормируемому значению удельного поверхностного электрического сопротивления. Заметна тенденция ухудшения антистатических свойств тканей, однако при количестве циклов истирания в пределах исследуемого диапазона удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей не выходит за пределы установленных норм. По экспериментальным данным получена модель следующего вида:

$$y = 4,86 \cdot 10^4 + 0,055n^{1,5}. \quad (1)$$

Согласно данной модели удельное поверхностное электрическое сопротивление достигнет 10^6 Ом не менее чем через 60 000 циклов истирания. Данная граница установлена, так как согласно ГОСТ EN 1149-1-2018 используемый метод испытаний может

давать расхождение результатов измерений между разными испытательными лабораториями вплоть до одного порядка [10].

При анализе полученных результатов выдвинута гипотеза, что после процесса истирания на поверхности образцов еще оставались фрагменты металлических волокон, которые могли повлиять на определение удельного поверхностного электрического сопротивления. Поэтому следующим этапом исследования являлась оценка влияния стирки образцов тканей после истирания на их антистатические свойства.

Стирка проводилась по ГОСТ 11209-2014 в стиральной машине автоматической бытовой с горизонтальным расположением барабана. Для проведения испытания использовался стиральный порошок универсальный без отбеливателей, энзимов, усилителей, отдушек, антистатических и других дополнительных веществ торговой марки Чистаун Organic.

При проведении исследований приняты режимы мокрой обработки, которые представлены в статье [11], посвященной исследованию влияния многократных стирок на антистатические свойства тканей. Результаты испытаний после стирки представлены в табл. 2.

Показатель	Количество циклов истирания	Удельное поверхностное электрическое сопротивление ткани после стирки, Ом	
		диапазон	среднее значение
До испытаний	–	$2,11 \cdot 10^4 - 1,38 \cdot 10^5$	$4,09 \cdot 10^4$
После испытаний на истирание	3000	$2,37 \cdot 10^4 - 1,52 \cdot 10^5$	$7,59 \cdot 10^4$
	5000	$3,69 \cdot 10^4 - 1,85 \cdot 10^5$	$7,91 \cdot 10^4$
	7000	$3,69 \cdot 10^4 - 1,65 \cdot 10^5$	$8,30 \cdot 10^4$

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что испытанные образцы после мокрой обработки соответствуют нормируемому значению удельного поверхностного электрического сопротивления. Из табл. 2 видно, что антистатические свойства тканей ухудшились после 3 тыс. циклов истирания, однако далее эти свойства изменяются незначительно. Несмотря на это, присутствует небольшое отклонение значений между испытаниями до и после стирки для 3 и 5 тыс. циклов.

Используя U-критерий Манна-Уитни, провели оценку существенности полученных различий. Установлено, что для образцов после стирок в сравнении с исходным образцом различия становятся значимыми только после 5 тыс. циклов. Разница между полученными данными после заданного количества циклов истирания и стирки является несущественной. Различия, полученные между испытаниями до и после стирки при одинаковом количестве циклов истирания, несущественны. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что предполагаемые фрагменты металлических волокон, находящиеся на поверхности образца после испытания, влияют на изменение удельного поверхностного электрического сопротивления незначительно.

Однако, учитывая разброс получаемых значений, при разработке методики оценки изменения удельного поверхностного электрического сопротивления антистатических тканей в процессе истирания рекомендуется вводить этап стирки образцов для получения наиболее достоверных результатов испытаний.

ВЫВОДЫ

1. Предложен вариант методики определения стойкости к истиранию антиста-

тических тканей для спецодежды с использованием метода по ГОСТ ISO 12947-2-2021, отличающегося тем, что испытуемый материал и абразив меняются местами при заправке, а воздействие абразива на испытуемую ткань осуществляется в двух зонах образца с целью последующего определения изменения удельного поверхностного электрического сопротивления.

2. Удельное поверхностное электрическое сопротивление исследованных образцов тканей после многоциклового истирания в исследуемом диапазоне соответствует нормируемому значению, хотя наблюдается тенденция к повышению значения данного показателя антистатических свойств тканей с увеличением количества циклов истирания.

3. Проведена оценка изменения антистатических свойств тканей после последовательных испытаний на истирание и мокрой обработки тканей. Выявлено, что различия между полученными данными для исходных и подвергнутых испытаниям тканей становятся статистически значимыми только после 5 тысяч циклов истирания с последующей стиркой образцов. При этом установлено, что стирка не оказывает значимого влияния на значения удельного поверхностного электрического сопротивления при одинаковом количестве циклов истирания. Однако, учитывая разброс получаемых значений, при разработке методики оценки изменения удельного поверхностного электрического сопротивления антистатических тканей в процессе истирания рекомендуется вводить этап стирки образцов для получения наиболее достоверных результатов испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Özdi N., Özçelik G., Mengüç G. Analysis of Abrasion Characteristics in Textiles // *Abrasion Resistance of Materials*. 2012. P. 119...146.

2. Пушинова Л.С., Тюменев Ю.Я. Анализ существующих методов определения стойкости к истиранию текстильных материалов // *Сервис в России и за рубежом*. 2012. №8 (35). С. 190...196.

3. Škoc M., Pezelj E. Abrasion Resistance of High Performance Fabrics // *Abrasion Resistance of Materials*. 2012. P. 35...52.

4. Долженков А.Ф., Тарасенко С.Л. Эксплуатационные свойства ткани для спецодежды шахтеров // *Научный вестник НИИГД «Респиратор»*. 2017. №4 (54). С. 92...100.

5. Плеханова С.В., Виноградова Н.А., Плеханов А.Ф. Исследование кинетики износа тканей различного сырьевого состава специального назначения // *Сборник науч. тр. междунар. науч. конф., посвящ. 150-летию со дня рождения проф. Н.А. Васильева*. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. Ч. 1. С. 33...36.

6. Виноградова Н.А. Кинетика изнашивания тканей специального назначения // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2019. №3 (381). С. 61...64.

7. Кузнецов А.А. Исследование изменения защитных свойств боевой одежды пожарных при многоцикловых эксплуатационных воздействиях // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2014. №2 (27). С. 38...45.

8. Тарасенко С.Л. Испытание ткани на стойкость к истиранию // *Научный вестник НИИГД «Респиратор»*. 2018. №1 (55). С. 122...128.

9. Марченко В.Г., Рыклин Д.Б. Влияние многоцикловых испытаний на истирание на антистатические свойства тканей для спецодежды // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (Smartex)*. Иваново: ИВГПУ, 2023. №1. С. 154...158.

10. Рыклин Д.Б., Кветковский Д.И. Определение влияния волокон Bekinox на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2021. № 2. С. 73...80.

11. Марченко В.Г., Рыклин Д.Б. Исследование влияния многократных стирок на антистатические свойства тканей для спецодежды // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2024. № 1. С. 54...61.

2. Pushnova L.S., Tyumenev Yu.Ya. Analysis of existing methods for determining the abrasion resistance of textile materials // *Service in Russia and Abroad*. 2012. №8 (35). P. 190...196.

3. Škoc M., Pezelj E. Abrasion Resistance of High Performance Fabrics // *Abrasion Resistance of Materials*. 2012. P. 35...52.

4. Dolzhenkov A.F., Tarasenko S.L. Operational properties of fabric for miners' special clothing // *Scientific Bulletin of the Research Institute of Mining and Gas «Respirator»*. 2017. №4 (54). P. 92...100.

5. Plekhanova S.V., Vinogradova N.A. Wear kinetics of special purpose fabrics of different raw material composition // *Collection of scientific Proceedings of the International scientific conf., dedicated 150th anniversary of the birth of prof. N.A. Vasilyeva*. Moscow: RSU im. A.N. Kosygina, 2021. Vol. 1. P. 33...36.

6. Vinogradova N.A. Wear kinetics of special-purpose fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2019. №3 (381). P. 61...64.

7. Kuznetsov A.A. Study of changes in the protective properties of firefighters' combat clothing under multi-cycle operational influences // *Vestnik of Vitebsk State University of Technology*. 2014. №2 (27). P. 38...45.

8. Tarasenko S.L. Testing fabric for abrasion resistance // *Scientific Bulletin of the Research Institute of Gas and Water Resources «Respirator»*. 2018. №1 (55). P. 122...128.

9. Marchenko V.G., Ryklin D.B. Influence of multi-cycle abrasion tests on the antistatic properties of fabrics for workwear // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high technologies and materials (Smartex)*. Ivanovo: IVGPU, 2023. №1. P. 154...158.

10. Ryklin D.B., Kvetkovsky D.I. Determination of the effect of Bekinox fibers on the fabrics specific surface electrical resistance // *Vestnik of Vitebsk State University of Technology*. 2021. № 2. P. 73...80.

11. Marchenko V.G., Ryklin D.B. Research of repeated washing influence on the antistatic properties of fabrics for workwear // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2024. №1 (409). P. 54...61.

Рекомендована кафедрой технического регулирования и товароведения ВГТУ. Поступила 01.10.24.

REFERENCES

1. Özdi N., Özçelik G., Mengüç G. Analysis of Abrasion Characteristics in Textiles // *Abrasion Resistance of Materials*. 2012. P. 119...146.