

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТИРОК НА АНТИСТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТКАНЕЙ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ

### EVALUATION OF THE EFFECT OF WASHINGS ON ANTISTATIC PROPERTIES OF FABRICS FOR WORKWEAR

УДК 677.017.855

**В.Г. Марченко\*, Д.Б. Рыклин**

*Витебский государственный технологический университет*

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-17-26>

**V. Marchenko\*, D. Ryklin**

*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

*СПЕЦИАЛЬНАЯ ОДЕЖДА, МНОГОКРАТНЫЕ СТИРКИ, АНТИСТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, УДЕЛЬНОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, U-КРИТЕРИЙ МАННА – УИТНИ*

*Снижение электризуемости тканей для изготовления специальной одежды является актуальной задачей. Одним из способов снижения удельного поверхностного электрического сопротивления тканей является введение в их структуру антистатических нитей, содержащих металлические волокна. В условиях эксплуатации спецодежда подвергается различным воздействиям, таким как стирки. После многократных стирок одежда может терять свои первоначальные защитные свойства, что может подвергнуть риску жизнь и здоровье работника. Цель работы заключается в определении степени изменения антистатических свойств тканей для спецодежды после многократных стирок.*

*В процессе исследования определено удельное поверхностное электрическое сопротивление двух образцов тканей с различным расположением антистатических нитей с вложением 10 % стального волокна Bekinox до и после циклов стирок. В результате 20 стирок исследованные образцы тканей характеризуются низким значением удельного поверхностного электрического сопротивления, что позволяет считать их антистатическими. На основе применения критерия Манна – Уитни установлено, что изменение антистатических свойств после каждой*

#### ABSTRACT

*OVERALLS, REPEATED WASHINGS, ANTISTATIC PROPERTIES, SPECIFIC SURFACE ELECTRICAL RESISTANCE, MANN – WHITNEY U-CRITERION*

*Reducing the electrifiability of fabrics for the special clothing manufacture is an urgent task. One way to reduce the specific surface electrical resistance of fabrics is to introduce into their structure antistatic yarns containing metal fibers. Under operating conditions, overalls are subjected to various influences, such as washing. After repeated washes, clothing may lose its original protective properties, which may put the life and health of the worker at risk. The aim of the research is to determine the change in the fabrics antistatic properties for overalls after repeated washings.*

*During the study, the specific surface electrical resistance of two fabric samples with different arrangements of antistatic yarns was determined with an investment of 10 % Bekinox steel fiber before and after washing cycles. As a result of 20 washes, the studied fabric samples are characterized by a low value of the specific surface electrical resistance, which allows us to consider them antistatic. Based on the application of the Mann-Whitney criterion, it was found that the change in antistatic properties after each subsequent washing is statistically insignificant, however, there is an accumulation of minor changes in properties, as a result of which the specific surface resistance of fabrics increases almost monotonously. The results will make it possible to*

\* E-mail: [veronika1300@mail.ru](mailto:veronika1300@mail.ru) (V. Marchenko)

*последующей стирки является статистически незначимым, однако имеет место накопление незначительных изменений свойств, в результате чего удельное поверхностное сопротивление тканей повышается практически монотонно. Полученные результаты позволяют прогнозировать изменение антистатических свойств в процессе эксплуатации спецодежды.*

*predict the change in antistatic properties during the use of workwear.*

В настоящее время при изготовлении спецодежды все большее распространение получают антистатические ткани, использование которых позволяет повысить эффективность защиты от ряда профессиональных рисков, связанных с воздействием статического электричества. Такие ткани отличаются структурой, видом электропроводящего компонента, а также видом отделки, выбираемым с учетом условий эксплуатации изделий.

Наиболее важной физической характеристикой текстильного материала, обуславливающей возникновение и накопление зарядов на его поверхности, является его изолирующая способность, которая характеризуется величиной электрического сопротивления или электрической проводимостью. Известно, что электропроводность материалов зависит от многих факторов: от гигроскопических свойств, структуры и химического строения, наличия каких-либо веществ на их поверхности [1].

Требования к спецодежде для защиты от статического электричества приведены в ГОСТе 12.4.124-83. В соответствии с этим стандартом удельное поверхностное электрическое сопротивление для материалов, применяемых для спецодежды, не должно превышать  $10^7 \text{ Ом}$ .

Одним из способов снижения удельного поверхностного электрического сопротивления тканей является введение в их структуру антистатических нитей, содержащих металлические (стальные, медные и т. д.), углеродные и другие виды электропроводящих волокон или нитей.

Наибольший интерес для Республики Беларусь представляет использование в составе тканей пряжи с вложением волокон из нержавеющей стали. Выпуск смешанной пряжи с вложением стальных волокон Bekinox в сочетании с

другими волокнами освоен на ОАО «Гронитекс». В работе [2] определялось минимальное количество волокон Bekinox в ткани, обеспечивающее заданный уровень антистатических свойств. Получена зависимость, описывающая влияние процентного содержания электропроводящего компонента на десятичный логарифм удельного поверхностного электрического сопротивления. С учетом колебаний электрофизических свойств текстильных полотен установлено минимальное допустимое содержание волокон Bekinox: 0,163 % в случае использования антистатической пряжи с вложением 10 % стальных волокон, если базовая ткань выработана из натуральных волокон, и 0,195 % при производстве синтетических тканей.

Проведенный анализ влияния различного процентного содержания стальных волокон Bekinox и углероднополиэфирных нитей Nega-Stat на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей для спецодежды показал, что даже при незначительном содержании в структуре тканей стального волокна Bekinox (менее 0,2 %) их можно считать антистатическими, так как они характеризуются удельным поверхностным электрическим сопротивлением менее  $10^7 \text{ Ом}$  [3]. Для образцов с содержанием нитей Nega-Stat сделан вывод о том, что для достижения требуемого антистатического эффекта необходимо существенно увеличить долю нитей в составе тканей.

Однако при проектировании тканей для спецодежды важно обратить внимание не только на достижение установленных значений нормируемых показателей в процессе их изготовления, но и на сохранение свойств на требуемом уровне при эксплуатации. Изнашивание тканей является сложным процессом, на который влияет мно-

жество факторов: волокнистый состав, структура исходных текстильных материалов, вид отделки, конструкция швейных изделий, условия эксплуатации. Степень влияния этих факторов при различных условиях эксплуатации изделий проявляется по-разному.

В процессе использования специальной одежды текстильные материалы подвергаются воздействию комплекса изнашивающих факторов. Наиболее частым фактором износа является воздействие стирок и светопогоды. На изменение свойств изделий в процессе стирок оказывают влияние механические воздействия (многократные деформации, истирание), температура и состав моющего раствора, особенности отжима, условия высушивания [4].

Чаще всего в исследованиях авторы определяют влияние стирок на физико-механические свойства тканей для спецодежды, таких как разрывная и раздирающая нагрузка, стойкость к истиранию, устойчивость окраски и т.д. Например, в работе [5] определялась разрывная и раздирающая нагрузка, стойкость к истиранию текстильных материалов, применяемых для изготовления рабочей одежды, предназначенной для защиты от общих производственных загрязнений до стирок и после 1, 5, 10 стирок. С увеличением количества стирок данные показатели снижаются, однако сравнение результатов с ГОСТом 11209 показало, что все ткани соответствуют предъявляемым требованиям.

Влияние стирок на изменение защитных свойств исследуется также довольно часто. В работе [6] образцы тканей для спецодежды были подвергнуты 1, 5, 10, 15, 25, 50 стиркам, исходя из среднего количества стирок рабочих костюмов за 1 год. Исследуемые ткани подвергались процессу стирки в соответствии с ГОСТом 30157.0.95, ГОСТом 30157.1.95. После многократных воздействий были определены такие показатели защитных свойств, как огнестойкость, стойкость к прожиганию, показатель пылепроницаемости, маслоотталкивание. После многократных стирок показатель пылепроницаемости для части образцов увеличивался, стойкость к прожиганию после стирок уменьшалась, что связано с вымыванием из тканей специальной пропитки. Значения остальных показателей изменялись незначительно.

Очевидно, что количество циклов стирок оказывает влияние и на антистатические свойства тканей для спецодежды. В работе [7] исследовалось влияние многократных стирок на антистатические свойства тканей и трикотажных полотен с содержанием электропроводящих компонентов. Для образцов определялись удельное поверхностное электрическое сопротивление и эффективность экранирования до стирок и после пяти циклов стирки. Стирка и сушка проводились по стандарту EN ISO 6330: 2002. В результате проведенных исследований установлено, что испытанные ткани соответствуют требованиям стандарта EN 1149-5, однако удельное поверхностное электрическое сопротивление заметно снижается после 5-ти циклов стирки. Такая разница в значениях объясняется возможной потерей волокон нержавеющей стали после стирок.

В то же время представляет интерес оценка большего количества стирок по сравнению с количеством, регламентируемым действующими стандартами.

Целью данной работы являлось определение влияния количества циклов стирок, превышающих регламентируемое значение, на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей для спецодежды разной структуры с различным содержанием электропроводящих компонентов.

Для изучения влияния стирок на антистатические свойства тканей для спецодежды были использованы материалы производства ОАО «Моготекс». Данные ткани содержат в своем составе в качестве антистатической нити пряжу с вложением 10 % стального волокна Bekinox. Характеристика испытуемых образцов представлена в таблице 1.

Устойчивость антистатических свойств материалов к мокрым обработкам определяется по ГОСТу 11209-2014. Многократные стирки проводились 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. В состав стирального порошка входит:

– натуральное мыло – 30 % и более;

Таблица 1 – Характеристика образцов исследуемых тканей

Артикул	06С27-КВ	14С5-КВ
Поверхностная плотность, $г/м^2$	263	271
Переплетение	Саржа 2/2	Саржа 3/1
Состав без учета антистатической нити	хлопок – 74 %; полиэфирное волокно – 26 %	хлопок – 42 %; полиэфирное волокно – 58 %
Вид отделки	Масловодоотталкивающая, нефтемасловодоотталкивающая	
Расположение антистатической нити	Сетка, размер ячейки 10×10 мм	Расположение вдоль основы с шагом 10 мм

- сода – 60 % и более;
- лимонная кислота.

Глажение образцов проводилось непосредственно после отжима при использовании электрического утюга. Температура глажения ткани соответствовала виду используемого сырьевого состава. Далее образцы высушивались в сушильном шкафу и выдерживались в нормальных условиях в течение 24 ч.

Удельное поверхностное электрическое сопротивление образцов тканей определяется по ГОСТу 19616-74. Данный показатель определялся с помощью прибора ИЭСП-2 в условиях Испытательного центра УО «ВГТУ». Образцы испытывались до стирок, с первой по десятую стирку после каждой, после 15-й и после 20-й стирки.

Результаты испытаний антистатических тканей представлены на рисунке 1.

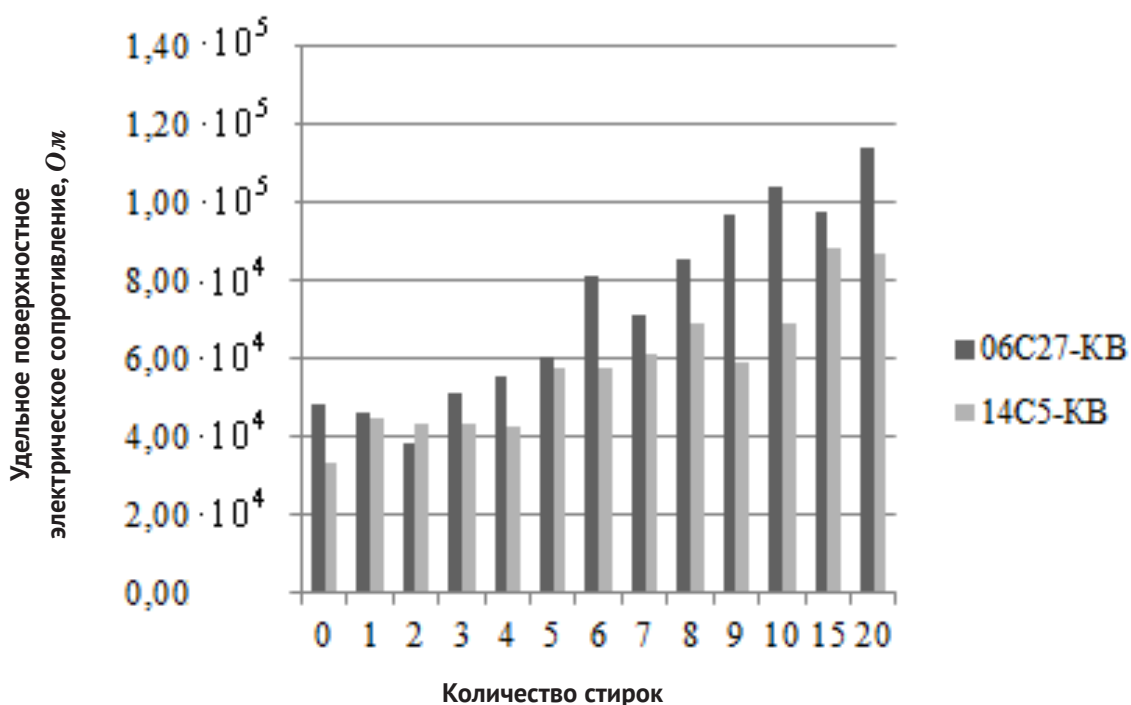


Рисунок 1 – Влияние количества стирок на удельное поверхностное электрическое сопротивление образцов антистатической ткани

На рисунке 1 можно заметить постепенное увеличение удельного поверхностного электрического сопротивления с увеличением числа стирок, что говорит о том, что антистатические свойства несколько снижаются. В соответствии с ГОСТом 11209-2014 испытание защитных свойств проводят после 5 ти-кратной стирки. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что все образцы соответствуют нормируемому значению по данному показателю даже спустя количество стирок, значительно превышающее указанное в стандарте значение.

Важно обратить внимание на то, что показатель «удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей» характеризуется высокой вариативностью. В международном стандарте ГОСТ EN 1149-1-2018 «Одежда специальная защитная. Электростатические свойства. Часть 1. Метод испытания для измерения удельного поверхностного сопротивления» указывается на то, что применяемый метод дает расхождение результатов измерений между разными испытательными лабораториями вплоть до 10 раз, то есть до 1 порядка. Даже при испытании проб тканей в одной лаборатории разброс получаемых значений может быть существенным, максимальное значение показателя может превышать минимальное в несколько раз.

В связи с этим для правильной интерпретации полученных зависимостей необходимо осуществить оценку значимости установленных различий исследуемого показателя между стирками. Для этого используются различные критерии, например, t-критерий Стьюдента. Для применения данного критерия необходимо, чтобы выборочные средние имели нормальное распределение. Анализ получаемых экспериментальных данных показал, что закон распределения значений удельного поверхностного электрического сопротивления отличается от нормального и в некоторых случаях близок к равномерному (рисунок 2 а).

Также не вполне корректно применять t-критерий Стьюдента при наличии в данных значительного числа выбросов, которые имели место при проведении испытаний антистатических тканей.

При несоблюдении указанных условий при сравнении выборочных средних должны ис-

пользоваться аналогичные методы непараметрической статистики, среди которых наиболее известными являются U-критерий Манна – Уитни (в качестве двухвыборочного критерия для независимых выборок), а также критерий Уилкоксона (используются в случаях зависимых выборок).

Для оценки статистической значимости различий средних значений, получаемых в результате эксперимента данных в данной работе принято решение использовать U-критерий Манна – Уитни [8]. Метод, основанный на использовании U-критерия, определяет, насколько слабо перекрещиваются (совпадают) значения между двумя выборками. В его основе лежит упорядочивание (ранжирование) имеющихся значений по отношению друг к другу. Для применения U-критерия Манна – Уитни нужно произвести следующие операции:

- составить единый ранжированный ряд из обеих сопоставляемых выборок, расставив их элементы по степени нарастания признака и приписав меньшему значению меньший ранг;

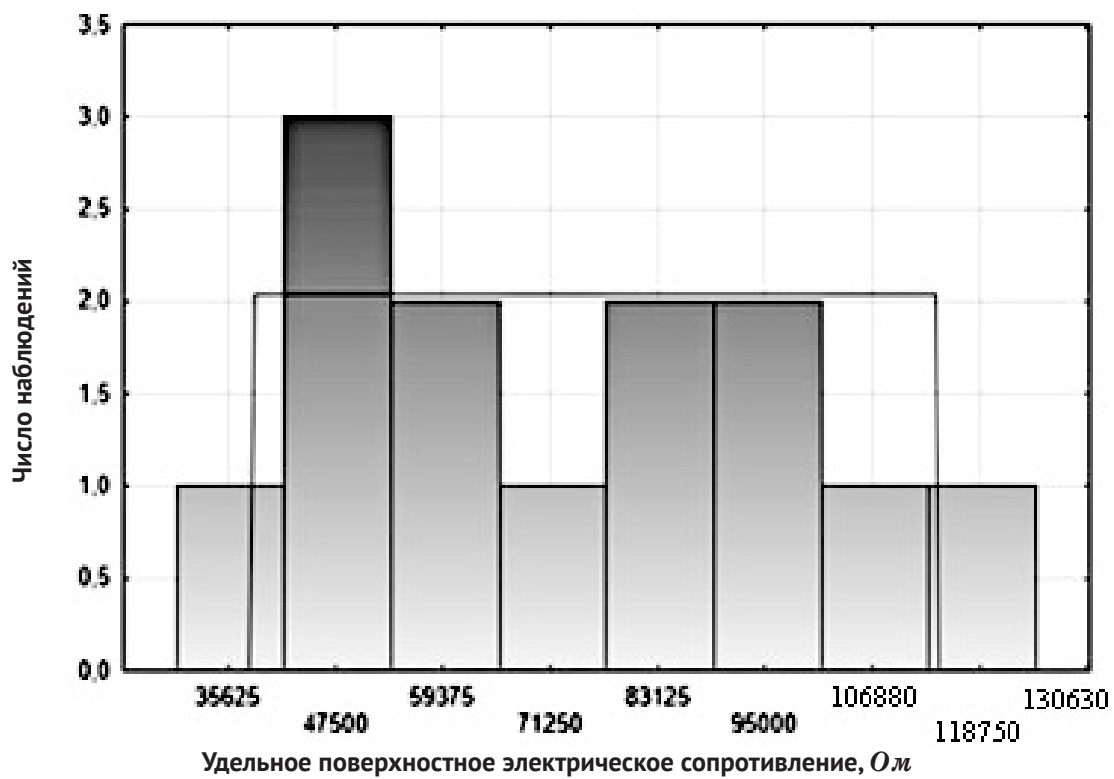
- разделить единый ранжированный ряд на два, состоящих соответственно из единиц первой и второй выборок. Подсчитать отдельно сумму рангов, пришедшихся на долю элементов первой выборки  $T_1$ , и отдельно – на долю элементов второй выборки  $T_2$ .

Числовое значение критерия определяется по следующей формуле:

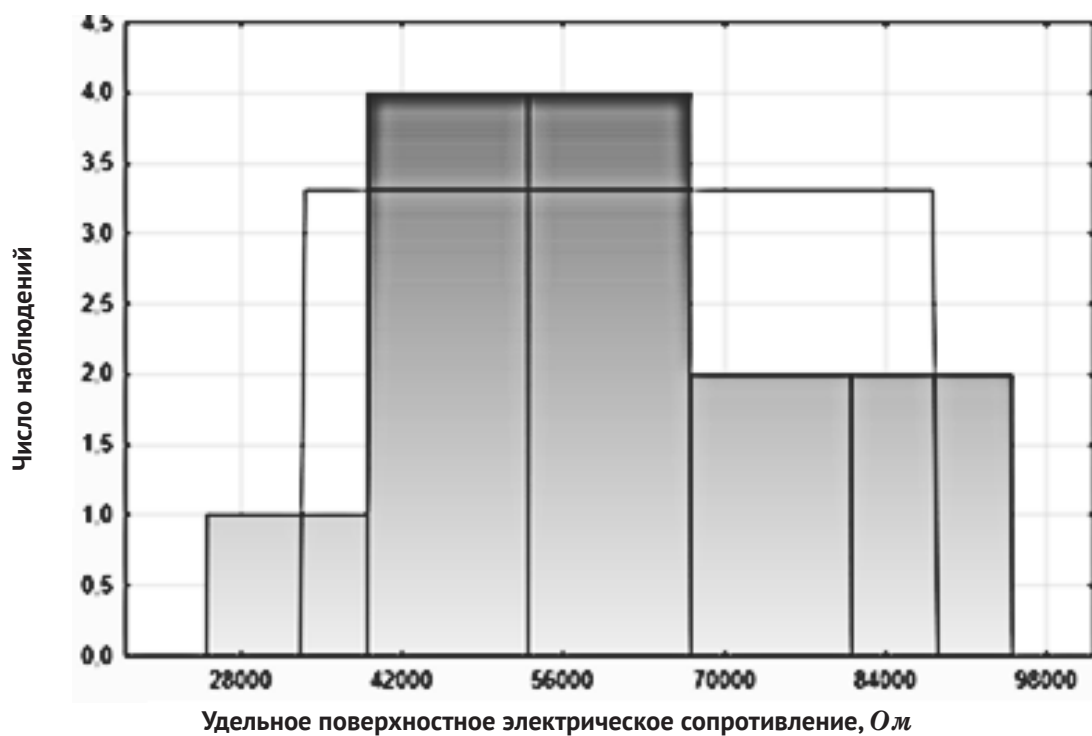
$$U = (n_1 \cdot n_2) + \frac{n_x(n_x + 1)}{2} - T_x, \quad (1)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – количество элементов в первой и во второй выборке;  $n_x$  – количество вариантов в группе с большей суммой рангов;  $T_x$  – большая из сумм рангов для каждой из выборок.

По таблице критических значений распределения Манна – Уитни для избранного уровня статистической значимости определяется критическое значение критерия для данных  $n_1$  и  $n_2$ . Если полученное значение меньше или равно критическому, то в сравниваемых группах существует различие в распределении частот. Достоверность различий тем выше, чем меньше значение U-критерия. Так как для обоих образцов производилось по 20 измерений (по



а



б

Рисунок 2 – Распределение значений удельного поверхностного электрического сопротивления образцов тканей: а) артикул 06C27-KB; б) артикул 14C5-KB

ГОСТу 19617-74 испытания проводятся на 10 образцах тканей), критическое значение критерия  $U_{кр} = 127$  при уровне значимости  $p = 0,05$  [9].

Проанализировав результаты испытаний образцов исходных тканей с использованием критерия Манна – Уитни, можно отметить следующее. Несмотря на то, что среднее значение удельного поверхностного электрического сопротивления образца ткани артикула 06С27-КВ превышало значение указанного показателя образца ткани артикула 14С5-КВ почти в полтора раза, данное различие не является статистически значимым, так как значение U-критерия составило 136, что выше критического значения.

Далее определяем, насколько существенно значимыми являются различия антистатических свойств тканей между последовательными стирками от 1-ой до 10-ой, а также между 10-ой и 15-ой и между 15-ой и 20-ой стирками. Расчетные значения U-критерия представлены на рисунке 3.

Исходя из графика, представленного на рисунке 3, можно заметить, что различия исследуемого показателя между стирками оказались несущественными. Однако представляет интерес изучения вопроса о том, происходит ли накопление незначительных изменений в свойствах тканей, в результате которого установленные изменения становятся статистически значимыми. На рисунке 4 представлены графики расчетного значения изменения U-критерия, определенного при сопоставлении совокупностей единичных значений удельного поверхностного электрического сопротивления, полученных при испытаниях образцов исходных тканей и тканей после  $i$ -ой стирки.

Можно отметить, что для образца 06С27-КВ различия становятся статистически значимыми после 9-ой стирки ( $U_9 = 92,5$ ), а для образца 14С5-КВ – после 5-ой стирки ( $U_5 = 91$ ). Данные изменения не являются случайными, так как после следующих стирок значение U-критерия

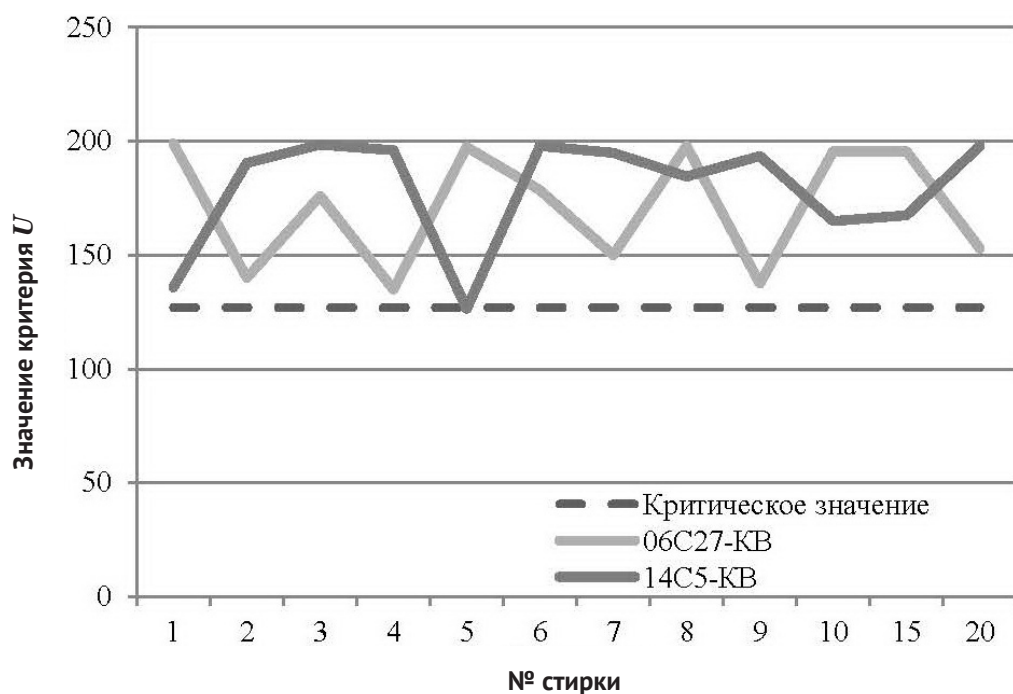


Рисунок 3 – Оценка значимости изменений удельного поверхностного сопротивления тканей между стирками

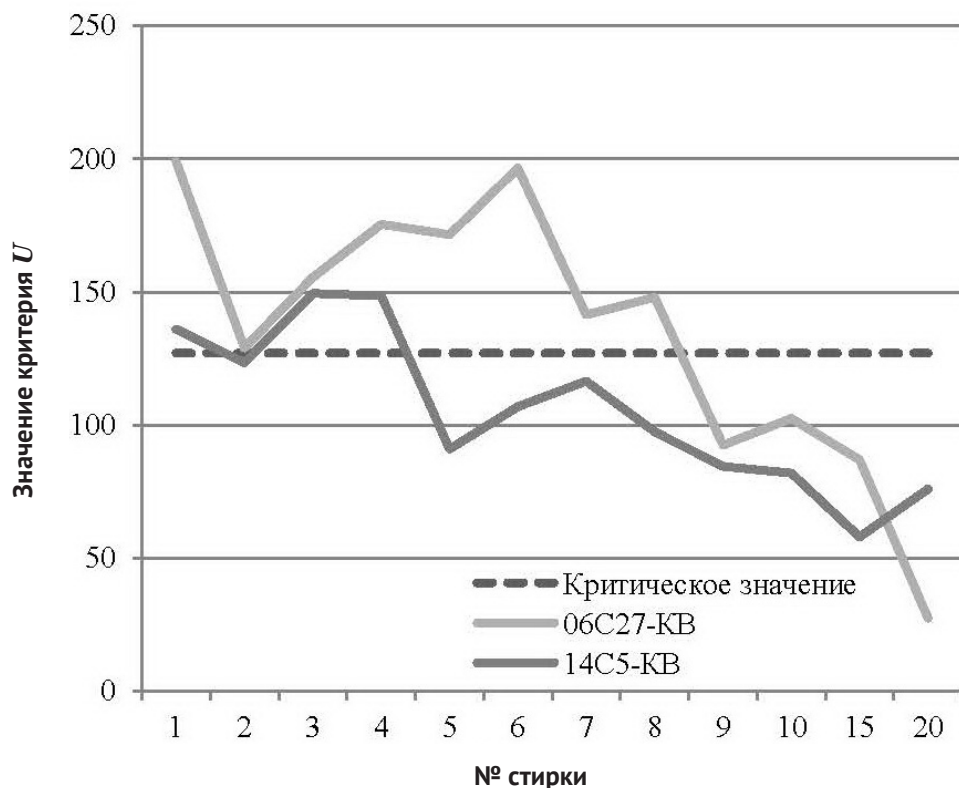


Рисунок 4 – Оценка накопленных изменений удельного поверхностного сопротивления тканей при многократных стирках

остаётся в зоне ниже критического значения.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1. В результате 20 стирок образцы тканей, содержащих пряжу с вложением 10 % стального волокна Bekinox, характеризуются низким значением удельного поверхностного электрического сопротивления, что позволяет считать их антистатическими.

2. На основе применения критерия Манна – Уитни установлено, что изменение антистатических свойств после каждой последующей стирки является статистически незначимым, однако имеет место накопление незначительных изменений свойств, в результате чего удельное поверхностное сопротивление тканей повышается практически монотонно.

3. В образце 06C27-KB потеря антистатических свойств происходит быстрее, чем в образце 14C5-KB. Однако с учетом того, что ткани отличаются переплетением, расположением антистатической нити, а также сырьевым составом, причину установленных различий однозначно выявить не представляется возможным. В то же время применение указанного подхода на большем объеме экспериментального материала позволит более обоснованно делать заключения о влиянии состава и структуры на изменение удельного поверхностного электрического сопротивления тканей.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гатиятуллина, Р. Ф., Бадрутдинова, А. Н. (2014), Влияние относительной влажности воздуха на антистатические свойства текстильных материалов, *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, № 18, С. 69–70.
2. Рыклин, Д. Б., Кветковский, Д. И. (2021), Определение влияния волокон Bekinox на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2021, № 2 (41), С. 73–80.
3. Савочкина, В. Г., Рыклин, Д. Б. (2022), Оценка влияния электропроводящих компонентов на антистатические свойства тканей, России – творческую молодёжь, *Материалы XV Всероссийской научно-практической студенческой конференции*, Том 2, Камышин, 2022, С. 82–85.
4. Асланян, А. А. (2018), Исследование и разработка методик оценки физико-механических свойств текстильных материалов для строительных специальностей, *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук*, Москва, 2018, 16 с.
5. Тимошенко, А. Н., Шустов, Ю. С. (2022), Влияние количества стирок на механические свойства тканей для защиты от общих производственных загрязнений, Теория и практика экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции, *Сборник научных трудов по материалам II Круглого стола с международным участием*, Москва, 2022, С. 76–80.
6. Давыдов, А. Ф., Шампарова, Н. В. (2021), Влияние многократных стирок на основные показатели тканей специального назначения согласно ТР ТС 019/2011, Актуальные проблемы экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции текстильной и легкой промышленности, *Сборник*

## REFERENCES

1. Gatiyatullina, R. F., Badrutdinova, A. N. (2014), Effect of relative humidity on antistatic properties textile materials [Vlijanie odnositel'noj vlazhnosti vozduha na antistaticheskie svojstva tekstil'nyh materialov], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Herald of Technological University*, 2014, № 18, pp. 69–70.
2. Ryklin, D. B., Kvetkovsky, D. I. (2021), Determination of the effect of Bekinox fibers on the fabrics specific surface electrical resistance [Opredelenie vlijaniya volokon Bekinox na udel'noe poverhnostnoe jelektricheskoe soprotivlenie tkanej], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2021, № 2 (41), pp. 73–80.
3. Savochkina, V. G., Ryklin, D. B. (2022), Evaluation of the effect of electroconductive components on fabrics antistatic properties [Ocenka vlijaniya jeleketroprovodjashhih komponentov na antistaticheskie svojstva tkanej], Russia – creative youth, *Materials of the XV All-Russian Scientific and Practical Student Conference*, Vol. 2, Kamyshin, 2022, pp. 82–85.
4. Aslanyan, A. A. (2018), Research and development of methods for evaluation of physical and mechanical properties of textile materials for construction specialties [Issledovanie i razrabotka metodik ocenki fiziko-mehaničeskikh svojstv tekstil'nyh materialov dlja stroitel'nyh special'nostej], *Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences*, Moscow, 2018, 16 p.
5. Tymoshenko, A. N., Shustov, Y. S. (2022), Effect of amount of washings on mechanical properties of fabrics for protection against general industrial contaminants [Vlijanie količestva stirok na mehaničeskie svojstva tkanej dlja zashhity ot obshhih proizvodstvennyh zagriznenij], Theory and practice of expertise,

*трудов по итогам работы Круглого стола с международным участием, Москва, 2021, С. 33–38.*

7. Varnaitė, S., Katunskis, J. (2009), Influence of Washing on the Electric Charge Decay of Fabrics with Conductive Yarns, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2009, № 5 (76), pp. 69–75.
  8. Аймаханова, А. Ш. (2015), U-критерий Манна – Уитни. Квантованный текст с заданиями в тестовой форме, *Педагогические измерения*, 2015, № 1, С. 104–109.
  9. *Statology. Mann-Whitney U Table*, available at: <https://www.statology.org/mann-whitney-u-table/> (accessed 27 July 2023).
6. Davydov, A. F., Shamparova, N. V. (2021), Influence of multiple washing on the main indicators of fabrics of special purpose according to trts 019/2011 [Vlijanie mnogokratnyh stirok na osnovnyye pokazateli tkanej special'nogo naznachenija soglasno TR TS 019/2011], Current problems of expertise, technical regulation and confirmation of conformity of textile and light industry products, *Collection of works on the results of the Round Table with international participation*, Moscow, 2021, pp. 33–38.
  7. Varnaitė, S., Katunskis, J. (2009), Influence of Washing on the Electric Charge Decay of Fabrics with Conductive Yarns, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2009, № 5 (76), pp. 69–75.
  8. Aimakhanova, A. S. (2015), Mann – Whitney U-test. Quantized text with tasks in test form [U-kriterij Manna – Uitni. Kvantovannyj tekst s zadaniyami v testovoj forme], *Pedagogicheskie izmerenija – Pedagogical measurements*, 2015, № 1, pp. 104–109.
  9. *Statology. Mann-Whitney U Table*, available at: <https://www.statology.org/mann-whitney-u-table/> (accessed 27 July 2023).

*Статья поступила в редакцию 21.08.2023 г.*