

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТКАНЫХ ПОЛОТЕН

### SUBSTANTIATION OF THE MEASUREMENT PARAMETERS OF THE TANGENTIAL RESISTANCE COEFFICIENT OF WOVEN FABRICS

УДК 677.016.671.3

Ю.И. Марущак<sup>1\*</sup>, К.А. Ленько<sup>1</sup>, Н.Н. Ясинская<sup>1</sup>,  
И.А. Петюль<sup>1</sup>, И.М. Грошев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Витебский государственный технологический  
университет

<sup>2</sup> ОАО «Витебскдрев»

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-53-67>

Yu. Maruschak<sup>1\*</sup>, K. Lenko<sup>1</sup>, N. Yasinskaya<sup>1</sup>,  
I. Petyul<sup>1</sup>, I. Groshev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Vitebsk State Technological  
University

<sup>2</sup> JSC «Vitebskdrev»

#### РЕФЕРАТ

ТУШЕ, СТАТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ, КИНЕТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ, МЕТОД ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ, МЕТОД НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

На сегодняшний день отсутствуют объективные методы оценки туше текстильных полотен, с помощью которых можно было бы количественно оценить эффект после умягчения. Однако большинство исследователей утверждает, что для объективной оценки туше текстильных полотен после заключительной умягчающей отделки возможно использовать показатель коэффициента тангенциального сопротивления. Методы определения коэффициента тангенциального сопротивления разнообразны. В данной работе рассмотрен метод горизонтальной и наклонной плоскости.

Целью данной работы является определение рациональных параметров измерения коэффициента тангенциального сопротивления методом горизонтальной плоскости, а именно выбор оптимального количества испытаний, исследование влияния площади контакта, скорости движения несущей плоскости на коэффициент тангенциального сопротивления текстильных полотен, а также проведение сравнения двух методик определения коэффициента тангенциального сопротивления методом горизонтальной плоскости на приборе FPT-F1 и методом наклонной плоскости. В ходе исследования уста-

#### ABSTRACT

FEEL OF CLOTH, STATIC COEFFICIENT OF TANGENTIAL RESISTANCE, KINETIC COEFFICIENT OF TANGENTIAL RESISTANCE, HORIZONTAL PLANE METHOD, INCLINED PLANE METHOD

To date, there are no objective methods for evaluating the feel of cloth, with which it would be possible to quantify the effect after softening. However, most researchers argue that for an objective assessment of the feel of cloth after the textile softening finishing, it is possible to use the index of the tangential resistance coefficient. Methods for determining the coefficient of tangential resistance are varied. In this paper, we considered the method of horizontal and inclined plane.

The purpose of this work is to determine the rational parameters for measuring the tangential resistance coefficient by the horizontal plane method, namely, the choice of the optimal number of tests, the study of the influence of the contact area, the speed of the carrier plane on the tangential resistance coefficient of textile fabrics, and also to compare two methods for determining the tangential resistance coefficient using the horizontal plane method on the FPT-F1 device and by the inclined plane method. The study found that for the reliability of the results it is necessary to measure the tangential resistance coefficient at least 13 times, taking into account the last three values. The dependence of the coefficient of tangential resistance on the contact area and the speed of movement of the carrier plane is established. It is

\* E-mail: [tonk.00@mail.ru](mailto:tonk.00@mail.ru) (Yu. Maruschak)

новлено, что для достоверности результатов необходимо проводить измерение коэффициента тангенциального сопротивления не менее 13 раз, принимая во внимание последние три значения. Установлена зависимость коэффициента тангенциального сопротивления от площади контакта и скорости перемещения несущей плоскости. Сделан вывод, что для тканых полотен рекомендуется использовать колодку размером 65x120 мм. Опытным путем установлено, что для повышения чувствительности метода горизонтальной плоскости при определении коэффициента тангенциального сопротивления тканых полотен рекомендуется устанавливать скорость 150–200 мм/мин. Результаты сравнения двух методов показали, что коэффициент тангенциального сопротивления – величина не постоянная и зависит от применяемого метода.

*concluded that for woven fabrics it is recommended to use a block with a size of 65x120 mm. It has been experimentally established that in order to increase the sensitivity of the horizontal plane method when determining the coefficient of tangential resistance of woven fabrics, it is recommended to set the speed to 150–200 mm/min. The results of comparing the two methods showed that the tangential resistance coefficient is not a constant value and depends on the method used.*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время требования к повышению качества текстильной продукции белорусского производства для внедрения на мировой рынок приводят к необходимости придания специальных свойств на этапе заключительной отделки тканей, улучшающих их потребительские и эксплуатационные характеристики.

В системе оценки качества материалов и изготавливаемых из них швейных изделий отдельное место отводится показателям художественно-эстетических свойств материалов, таких как блеск, фактура поверхности, туше или гриф. Они оказывают эмоционально-эстетическое воздействие на человека при органолептическом восприятии с помощью зрения и осязания. Туше – впечатление, возникающее от осязания материала. Для придания тканям приятного туше проводят обработку хлопчатобумажных и льняных тканей препаратами текстильной химии. Так, в последние годы авторами ведутся исследования по аппретированию текстильных материалов силиконовыми смягчителями и ферментсодержащими композициями, в ходе которых полотна и изделия приобретают дополнительную гладкость [1].

Однако на сегодняшний день в Республике Беларусь отсутствуют объективные методы оценки туше текстильных полотен, с помощью которых можно было бы количественно оценить эффект после умягчения, но большинство исследователей утверждает, что для описания туше необходимо учитывать поведение текстильного изделия при трении.

В Японии на кафедре химии полимеров Киотского университета группой под руководством профессора Кавабата была разработана система оценки Кавабата, которая представляет собой серию инструментов, используемых для измерения тех свойств текстильных материалов, которые позволяют прогнозировать эстетические качества, воспринимаемые человеческим прикосновением [2]. Данная система также рассматривает трение как один из показателей, влияющих на туше материала.

И. В. Крагельский и А. Б. Пакшвер относят трение волокнистых материалов к трению сухих твердых тел. Трением сухих тел называется такое, при котором между трущимися телами отсутствует слой смазки [3].

В текстильном материаловедении под трением понимают сопротивление, возникающее при относительном перемещении в плоскости ка-

сания двух соприкасающихся тел, находящихся под действием нормальной нагрузки [4]. В том случае, если нагрузка равна нулю, то и трение считается равным нулю.

Благодаря наличию на поверхности текстильных полотен грубых неровностей при относительном перемещении двух соприкасающихся текстильных поверхностей даже в случае нулевой нормальной нагрузки возникает сопротивление, характеризующее силой цепкости [5]. Таким образом, когда нагрузка равна нулю, цепкость не равна нулю, а представляет собой конечную величину.

Для текстильных материалов свойственно одновременное проявление трения и цепкости. Сопротивление, возникающее при совместном проявлении трения и цепкости, называется тангенциальным сопротивлением [3]. Основной характеристикой тангенциального сопротивления является коэффициент тангенциального сопротивления (далее – КТС). В настоящее время данный показатель не нормируется, но важен для конфекционирования материалов.

Для текстильных изделий силы трения и цепкость имеют большое значение. В процессах швейного производства ткани соприкасаются друг с другом, а также с поверхностью других материалов, находящихся в состоянии относительного покоя или движения, особенно при настилании и раскрое. При этом силы трения могут оказывать существенное влияние на ход технологического процесса. Так, при раскрое и стачивании деталей одежды ткани с низким КТС легко смещаются, что вызывает необходимость применять при массовом раскрое бумажные простилки, линейки с шипами, зажимы. Например, шелковые ткани имеют особенно низкий КТС.

Немаловажное значение в эксплуатации одежды имеют силы трения и цепкости материалов: они влияют на качество изделий и удобство пользования ими. Например, подкладочные ткани должны обладать хорошим скольжением, то есть пониженным КТС, для удобства надевания и снятия одежды, для лучшей стойкости к истиранию. Чем меньше КТС, тем лучше сохраняется внешний вид ткани, больше носкость изделия [6].

Различают статический и кинетический коэффициент тангенциального сопротивления. Статический или начальный коэффициент тан-

генциального сопротивления ( $f_{cm}$ ) связан с измененной силой, необходимой для начала движения одной поверхности по другой. Кинетический коэффициент тангенциального сопротивления или коэффициент трения скольжения ( $f_k$ ) связан с силой, необходимой для поддержания такого движения [7]. Коэффициент тангенциального сопротивления для различных тканей варьируется в диапазоне от 0,3–1,0 [8], причем кинетический коэффициент меньше статического.

Методы определения тангенциального сопротивления и коэффициента тангенциального сопротивления текстильных изделий весьма разнообразны. Практически для этой цели в различных работах использовано свыше десятка разнообразных устройств [3]. В данной работе остановимся на рассмотрении метода горизонтальной и наклонной плоскости.

Существенное влияние на результаты экспериментов по определению КТС оказывают скорость движения поверхностей, волокнистый состав, плотность, переплетение материала, окончательная отделка изделий, температура, влажность и т. д. [9]. Также из литературных источников [9] известно, что на определение показателя сильное влияние оказывает площадь контакта материалов.

Таким образом, целью данной работы является определение рациональных параметров измерения коэффициента тангенциального сопротивления методом горизонтальной плоскости, а именно выбор оптимального количества испытаний, исследование влияния площади контакта, скорости движения несущей плоскости на коэффициент тангенциального сопротивления текстильных полотен, а также проведение сравнения двух методик определения коэффициента тангенциального сопротивления методом горизонтальной плоскости на приборе FPT-F1 и методом наклонной плоскости.

#### **Объект и предмет исследования**

Предмет исследования – методика оценки туше текстильных полотен методом горизонтальной плоскости, с помощью которой можно было бы количественно оценить эффект после умягчения.

В качестве объекта для исследований была выбрана отбеленная хлопчатобумажная ткань (арт. 857) производства ОАО «Барановичское

производственное хлопкопрядильное объединение» (Республика Беларусь) постельного назначения поверхностной плотностью 134 г/м<sup>2</sup>.

Ткань подвергли умягчению периодическим способом с применением эмульсии производства ООО «Фермент» (Республика Беларусь). Компания недавно вышла на рынок текстильно-вспомогательных веществ, но предлагает широкий спектр силиконовых смягчителей и ферментных препаратов для обработки текстильных материалов. Ранее авторами была определена эффективность использования ферментных препаратов в составе аппрета и зависимость потребительских характеристик от состава аппрета и способа обработки. Анализ полученных результатов показал, что гидрофильная эмульсия «Силикол RG-810/36+Ц300» из исследуемых препаратов является наиболее эффективной для повышения драпируемости и придания дополнительной гладкости хлопчатобумажным тканям [10]. Таким образом, для исследований была выбрана эмульсия «Силикол RG-810/36+Ц300» с ферментным препаратом «Целлюлаза» активностью 300 ед/г в составе концентрацией 0, 10, 50, 100 г/л.

На рисунке 1 представлена схема обработки хлопчатобумажной ткани.

#### Методики исследований

Существуют различные методики определения коэффициента тангенциального сопротивления, отличающиеся видом движения (поступательное или вращательное) и характером перемещения контактирующих поверхностей.

Профессор И. В. Крагельский предложил классификацию, базирующуюся на характере относительного перемещения поверхностей. Эта классификация была дополнена Н. В. Хвальковским и П. А. Алешиным.

Согласно данной классификации, приборы и методы делятся по принципу перемещения взаимодействующих тел на четыре группы:

- I – поступательное перемещение плоскостей;
- II – вращательное перемещение плоскостей;
- III – плоскость соприкасается с образующей цилиндрической поверхности;
- IV – две цилиндрические поверхности соприкасаются при их относительном перемещении [9].

Наиболее часто встречаются приборы, работающие по принципу поступательного движения,

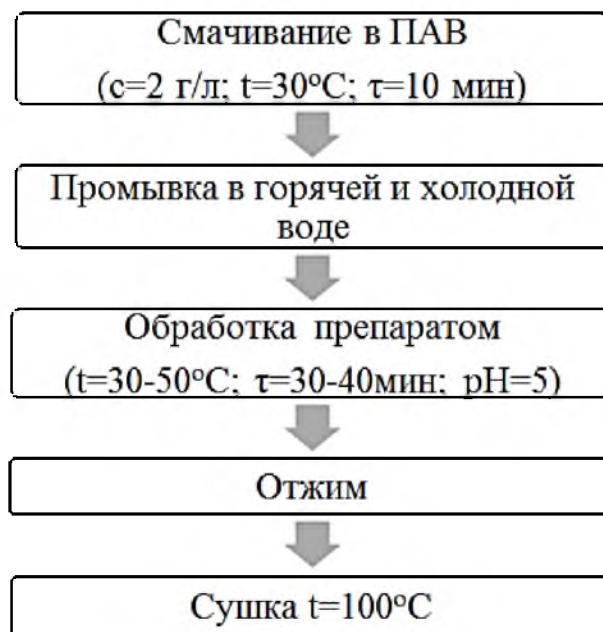


Рисунок 1 – Схема обработки хлопчатобумажной ткани

так как данный способ прост в реализации. В данной работе применяли метод горизонтальной и наклонной плоскости.

В данном исследовании использовали прибор FPT-F1, область применения которого распространяется на измерение коэффициентов статического и кинетического трения текстиля. Прибор оснащен специальным программным обеспечением labthink FPT-F1 для регистрации, обработки и отображения результатов измерения.

На рисунке 2 представлена фотография данного прибора.

Прибор (рисунок 2) оснащен тензодатчиком, расположенным в коробке 3, с помощью которого снимаются показания силы трения. Электродвигатель 4 обеспечивает движение несущей плоскости с постоянной скоростью. Технические характеристики прибора позволяют тестировать образцы на скоростях от 50 до 500 *мм/мин*.

Испытуемые образцы, располагаемые на несущей плоскости 2, вырезают в направлении основы и утка так, чтобы их длина в этом направлении составляла 380 *мм*, а ширина – 105 *мм*. Несущая плоскость представляла собой полиро-

ванный лист из дюралюминия 120x400x6 *мм*. Длина образца, предназначенного для фиксации на колодке 1, составляла 200 *мм*, а ширина – 90 *мм*. Масса колодки  $m_k = (200 \pm 5)$  *г*. С помощью односторонней липкой ленты закрепляли образцы на несущей плоскости и колодке. Конец нейлоновой нити 5 крепили к рым-болту колодки с закрепленным на ней образцом. Включали механизм передвижения, предварительно отрегулированный на заданную скорость.

Значение силы регистрируется автоматически с помощью программного обеспечения labthink FPT-F1, на экране персонального компьютера отображается график изменения силы в процессе перемещения испытываемого образца (рисунок 3).

Одним из простейших методов определения КТС является наклонная плоскость. Схема прибора, с помощью которого реализуется данный метод, представлена на рисунке 4. Пробу 4 материала размещают на подвижной плоскости и закрепляют зажимом 1. Ко второму концу пробы подвешивают груз массой 5 *кг* и закрепляют зажимом 5. Элементарной пробой 3 материала размером 50x150 *мм* обтягивают колодку номе-

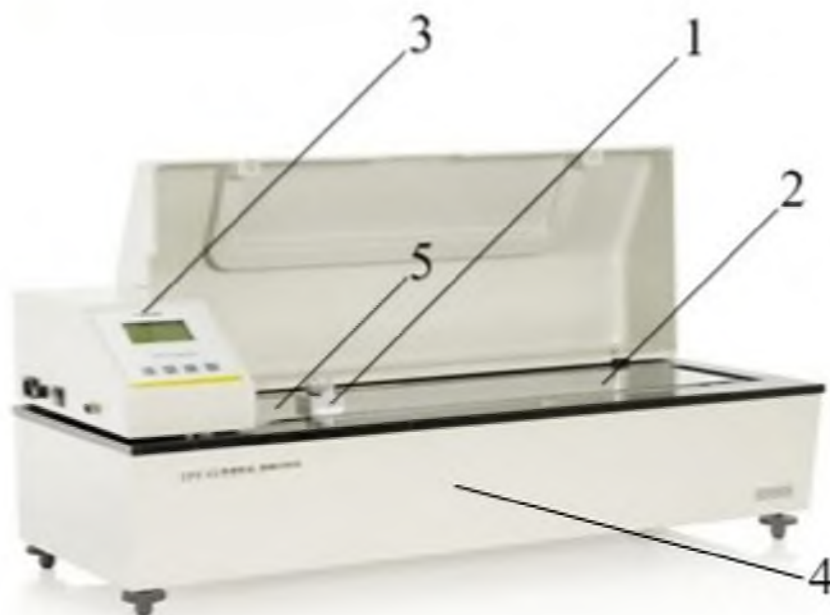


Рисунок 2 – Прибор FPT-F1

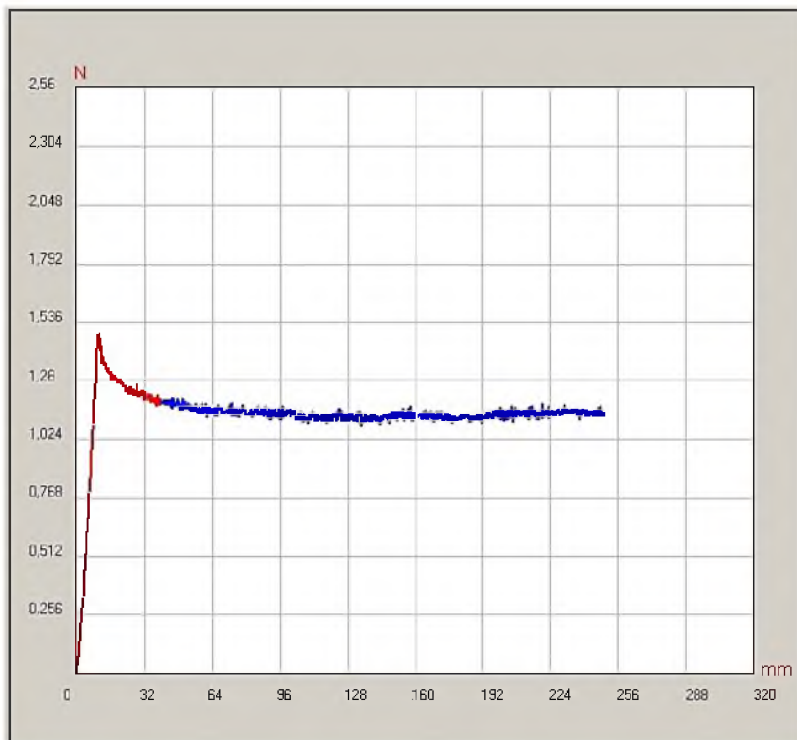


Рисунок 3 – График зависимости силы от перемещения образца

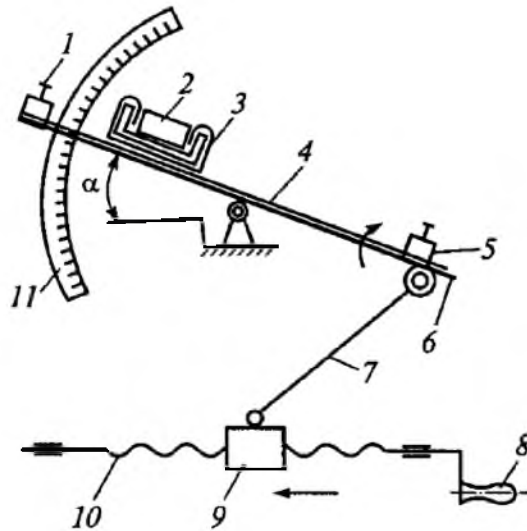


Рисунок 4 – Определение КТС по методу наклонной плоскости: 1 – неподвижный зажим; 2 – колодка; 3 – малая проба; 4 – большая проба; 5 – подвижный зажим; 6 – подвижная плоскость; 7 – тяга; 8 – рукоятка; 9 – гайка; 10 – винт; 11 – шкала

ром 50x50 мм и массой 220 г. Колодку помещают на горизонтально расположенную плоскость. Вращая плавно рукоятку, перемещают гайку по винту и посредством тяги изменяют угол наклона плоскости. В момент начала движения колодки по шкале определяют угол  $\alpha$  наклона плоскости, тангенс которого является коэффициентом тангенциального сопротивления [3].

Однако метод наклонной плоскости имеет существенные недостатки: переменное давление и скорость перемещения каретки.

### Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

При трении по мере притирания поверхностей происходит падение коэффициента тангенциального сопротивления, причем процесс носит затухающий характер [3]. Необходимо обоснованно выбрать минимально возможный объем испытаний, чтобы, с одной стороны, обеспечить необходимую достоверность, а с другой – экономичность.

В соответствии с методикой проведения испытаний были получены результаты измерений статического и кинетического коэффициентов тангенциального сопротивления хлопчатобумажной ткани, обработанной при различных концентрациях препарата. На рисунке 5 и 6 представлена зависимость статического и кинетического КТС от числа повторных испытаний.

Анализ ряда 20 последовательных измерений статического и кинетического коэффициентов тангенциального сопротивления показал, что после 10-го измерения у всех образцов значения получаемых результатов практически не изменяются, что численно отражается оценкой среднего квадратического отклонения (СКО) величины. Принимая во внимание, что на измеряемую величину оказывает влияние множество случайных факторов, под влиянием которых ее распределение будет вероятно нормальным, и выполненное небольшое количество измерений, можно определить требуемое количество результатов измерений для заданной величины погрешности (неопределенности) и уровня доверительной вероятности с помощью параметра Стьюдента. В проведенном эксперименте СКО статического и кинетического коэффициентов тангенциального сопротивления, рассчитанное по трем измерениям (10-е, 11-е и 12-е), равны и составили 0,0058. При такой характеристике разброса для получения значений статического и кинетического коэффициентов тангенциального сопротивления с погрешностью не более 0,02 вполне достаточно проведения трех измерений (при значении параметра Стьюдента  $t_p = 4,3$  при доверительной вероятности  $P = 0,95$  [11] расчетное количество результатов измерений составит  $n = 1,6$ ). Таким образом, для

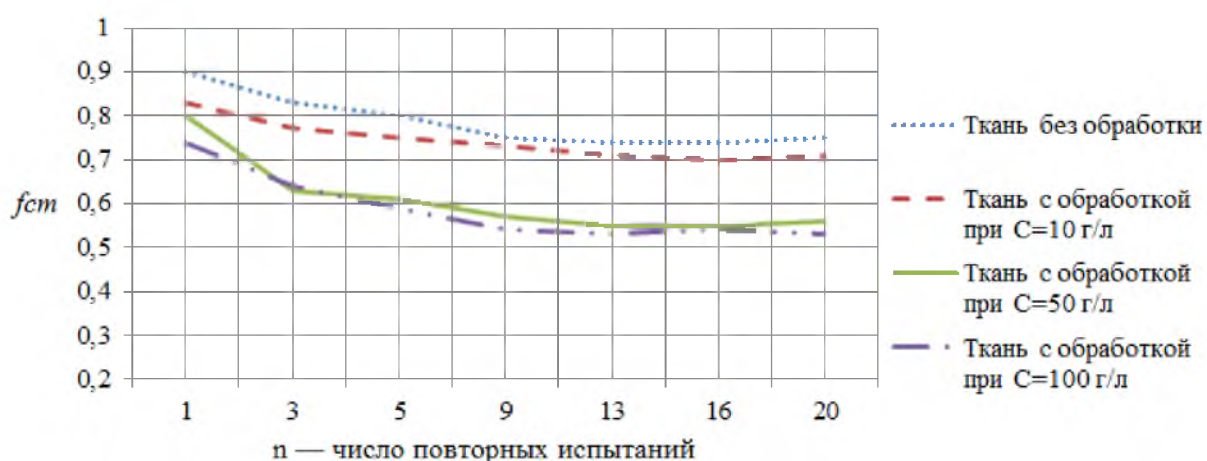


Рисунок 5 – Зависимость статического КТС от числа повторных испытаний

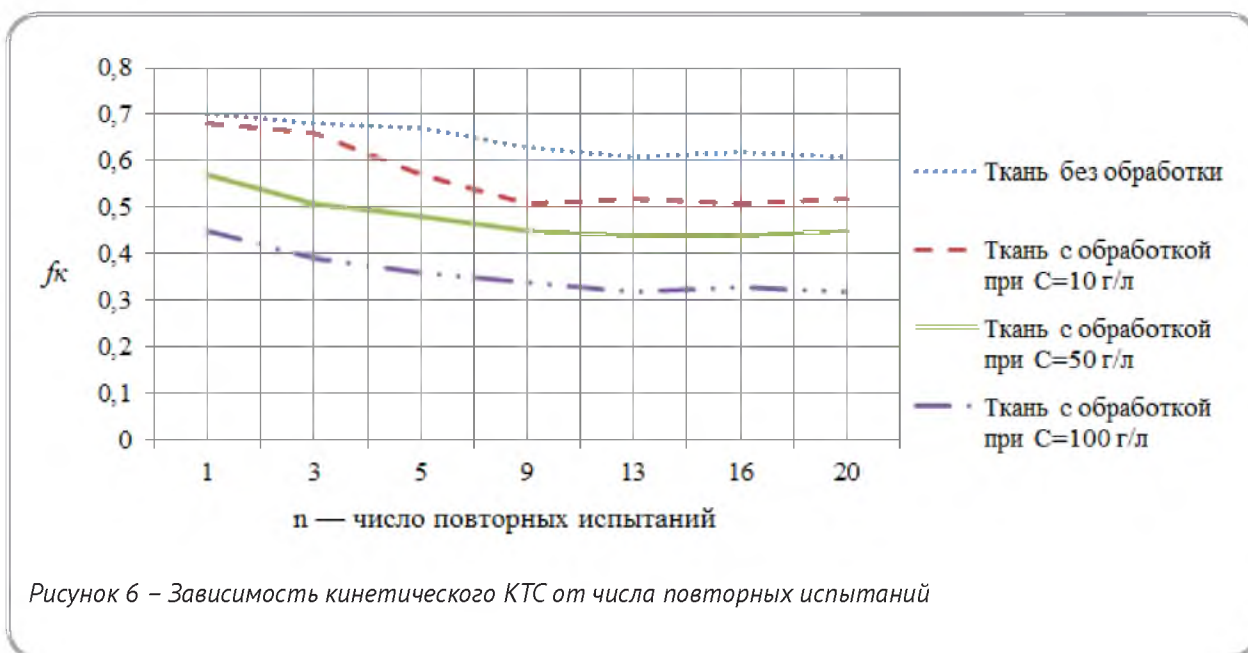


Рисунок 6 – Зависимость кинетического КТС от числа повторных испытаний

получения результата с погрешностью не более 0,02 при  $P = 0,95$  достаточно проведения 12 измерений на одном образце, из которых первые 9 необходимо отбросить, а за результат измерения принять среднее значение из трех последних в ряду измерений.

Анализируя нормативно-техническую базу документов, устанавливающих требования к методу горизонтальной плоскости, было определено, что для полимерных пленок оптимальным вариантом колодки является квадратная пластина со стороной 65 мм и массой  $m_k = (200 \pm 5) \text{ г}$  [7]. Исходя из этого в целях исследования была выбрана колодка 1 с соответствующими размерами, изготовленная из стали. Для исследования влияния площади контакта на коэффициент тангенциального сопротивления в качестве колодки 2 была выбрана прямоугольная пластина из дюралюминия, размеры которой 65x120 мм обеспечивают требуемую массу  $m_k = (200 \pm 5) \text{ г}$ , которая признана оптимальной. Толщина обеих колодок составляет 6 мм.

Включали механизм передвижения, предварительно отрегулированный на заданную скорость. Технические характеристики прибора позволяют тестировать образцы на различных скоростях. Для полимерных пленок оптимальным вариантом скорости перемещения несущей плоскости является 100–150 мм/мин [7], таким образом, для определения влияния площади ко-

лодки на коэффициент тангенциального сопротивления принято решение установить скорость перемещения плоскости 100 мм/мин.

Определение коэффициента тангенциального сопротивления тканей на приборе FPT-F1 представлено на рисунке 7.

Вследствие сил трения между контактирующими поверхностями колодка и движущаяся несущая плоскость оставались неподвижными относительно друг друга до тех пор, пока сила, сдвигающая колодку, не превысила силу статического трения между поверхностями. Отметим это максимальное первоначальное значение силы как силу, являющуюся компонентом статического коэффициента трения. С помощью программного обеспечения к прибору регистрируется среднее значение силы при равномерном движении поверхностей относительно друг друга на расстоянии 250 мм. Эта сила равна кинетической силе, необходимой для поддержания движения поверхностей относительно друг друга.

Статический коэффициент тангенциального сопротивления рассчитывали по формуле:

$$f_{cm} = \frac{F_{cm}}{m_k g} \quad (1)$$





Рисунок 7 – Определение коэффициента тангенциального сопротивления тканей на приборе FPT-F1

где  $F_{cm}$  – сила, соответствующая началу движения,  $H$ ;  $m_k$  – масса колодки,  $z$ ;  $g$  – ускорение свободного падения, принимаемое равным  $9,81 \text{ м/с}^2$ .

Кинетический коэффициент тангенциального сопротивления рассчитывали по формуле:

$$f_k = \frac{F_k}{m_k g}, \quad (2)$$

где  $F_k$  – среднее значение силы, соответствующее равномерному скольжению поверхностей относительно друг друга,  $H$ .

Гистограмма зависимости статического коэффициента тангенциального сопротивления хлопчатобумажной ткани, обработанной разными концентрациями мягчителя от площади колодки, представлена на рисунке 8. Гистограмма зависимости кинетического коэффициента тангенциального сопротивления хлопчатобумажной ткани от площади колодки представлена на рисунке 9.

Согласно полученным результатам испытаний, при увеличении площади контакта (увеличении площади колодки), коэффициенты тангенциального сопротивления хлопчатобумажной

ткани повышаются. Следовательно, для необработанных хлопчатобумажных тканей и обработанных в мягчителе рекомендуется использовать колодку размером  $65 \times 120 \text{ мм}$ , так как при увеличении площади контакта текстильных материалов повышается чувствительность метода, о чем свидетельствует наибольшая разность в коэффициентах тангенциального сопротивления образцов, обработанных при различных концентрациях силиконового мягчителя.

Для определения влияния скорости перемещения несущей плоскости исследования проводили с использованием колодки размером  $65 \times 120 \text{ мм}$ . Независимо от того, что для полимерных пленок оптимальным вариантом скорости перемещения несущей плоскости является  $100\text{--}150 \text{ мм/мин}$  [5], для исследования коэффициента тангенциального сопротивления текстильных материалов при различных скоростях были выбраны следующие скорости:  $v_1 = 100 \text{ мм/мин}$ ,  $v_2 = 150 \text{ мм/мин}$ ,  $v_3 = 200 \text{ мм/мин}$ ,  $v_4 = 300 \text{ мм/мин}$ ,  $v_5 = 500 \text{ мм/мин}$ .

В таблице 1 и 2 представлена зависимость статического и кинетического коэффициента тангенциального сопротивления хлопчатобумажной ткани от скорости движения несущей плоскости.

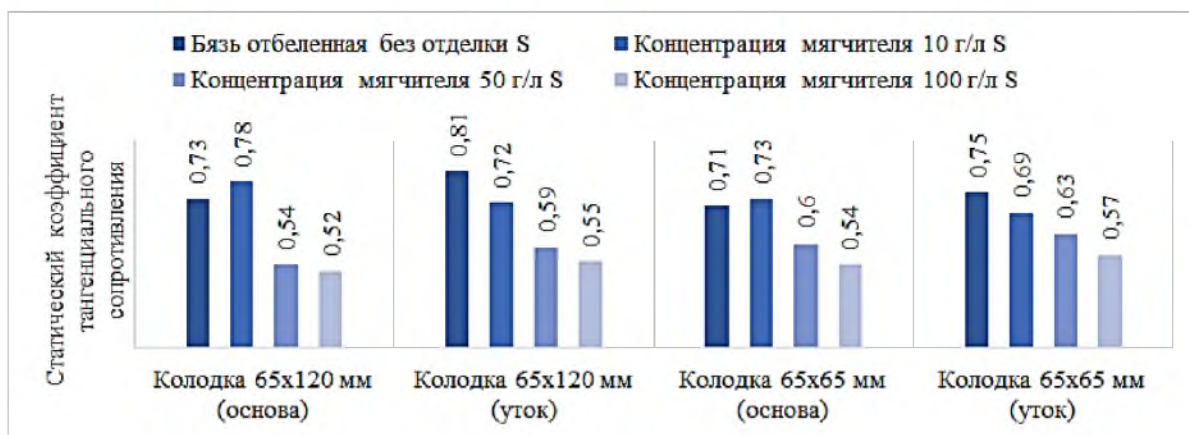


Рисунок 8 – Статический коэффициент тангенциального сопротивления при различной площади контакта текстильных материалов

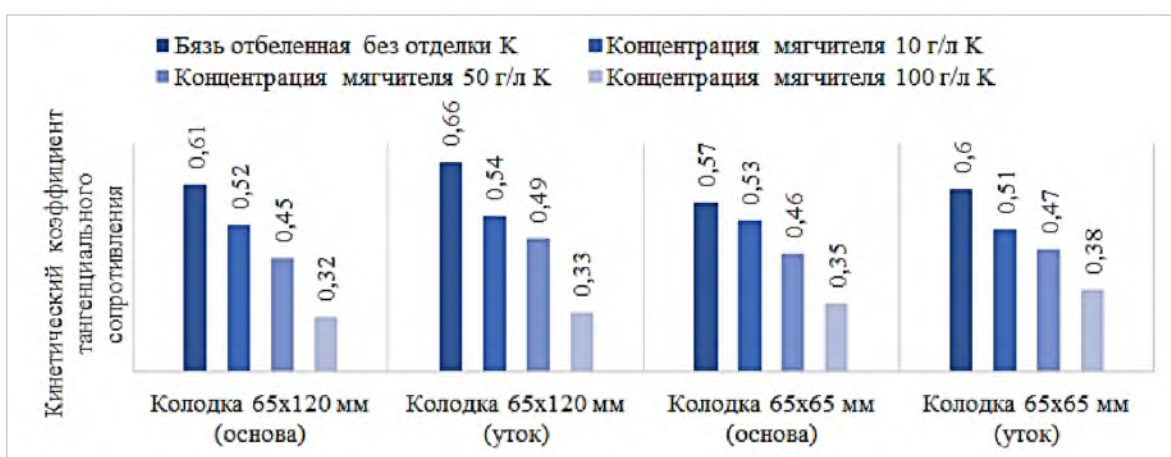


Рисунок 9 – Кинетический коэффициент тангенциального сопротивления при различной площади контакта текстильных материалов

Анализируя данные (таблицы 1 и 2), можно сделать вывод, что скорость перемещения несущей плоскости оказывает некоторое влияние на коэффициент тангенциального сопротивления и при увеличении скорости коэффициенты статического и кинетического тангенциального сопротивления у всех образцов незначительно увеличиваются. Для хлопчатобумажных тканей можно рекомендовать проведение измерений при скорости  $300 \text{ м.м./мин.}$ , так как при данной скорости наблюдается максимальный диапазон

изменения результатов измерений КТС, о чем свидетельствует наибольшая разность КТС образцов без обработки и с концентрацией обработки  $100 \text{ г/л.}$

Аналогично обработанные образцы испытывали на приборе УО «ВГТУ» (рисунок 10), принцип работы которого основан на методе наклонной плоскости.

Для метода наклонной плоскости использовали аналогичные колодки 1 и 2, что и при методе горизонтальной плоскости. На по-

Таблица 1 – Зависимость статического КТС от скорости движения несущей плоскости

№	Образец с обработкой при концентрации, г/л	Скорость перемещения несущей плоскости, мм/мин				
		100	150	200	300	500
по основе						
1	без обработки	0,72	0,73	0,75	0,79	0,80
2	10	0,71	0,72	0,72	0,73	0,75
3	50	0,54	0,54	0,55	0,57	0,58
4	100	0,50	0,51	0,51	0,52	0,54
по утку						
1	без обработки	0,81	0,84	0,85	0,87	0,88
2	10	0,79	0,79	0,80	0,83	0,84
3	50	0,59	0,59	0,59	0,61	0,61
4	100	0,55	0,56	0,56	0,56	0,57

Таблица 2 – Зависимость кинетического КТС от скорости движения несущей плоскости

№	Образец с обработкой при концентрации, г/л	Скорость перемещения несущей плоскости, мм/мин				
		100	150	200	300	500
по основе						
1	без обработки	0,61	0,61	0,63	0,66	0,67
2	10	0,60	0,60	0,60	0,62	0,64
3	50	0,45	0,45	0,45	0,47	0,49
4	100	0,31	0,31	0,32	0,33	0,35
по утку						
1	без обработки	0,66	0,68	0,71	0,72	0,76
2	10	0,64	0,64	0,66	0,68	0,70
3	50	0,49	0,49	0,49	0,50	0,51
4	100	0,34	0,34	0,36	0,38	0,38

движной платформе 1, расположенной горизонтально, закрепляли образец 2 с размерами 380x105 мм. Вторым образцом 3 с размерами 90x200 мм обтягивали колодку, и помещали ее на горизонтальную плоскость. Угол наклона плоскости вращением рукоятки 5 изменяли до тех пор, пока колодка с материалом не сдвинулась с места и не начала скользить вниз. В момент начала движения колодки фиксировали угол наклона плоскости  $\gamma$  с помощью линейки 4 с точностью до 1° [12, 13].

Значение статического КТС определялось по формуле:

$$f_{ст} = \frac{T}{N} = \frac{G \sin \alpha}{G \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

где  $T$  – сила тангенциального сопротивления;  $N$  – величина нормального давления;  $\alpha$  – угол наклона плоскости, при котором начинается перемещение колодки;  $G$  – вес каретки.

Гистограмма зависимости статического коэффициента тангенциального сопротивления хлопчатобумажной ткани, обработанной разными концентрациями смягчителя от площади колодки, представлена на рисунке 11.

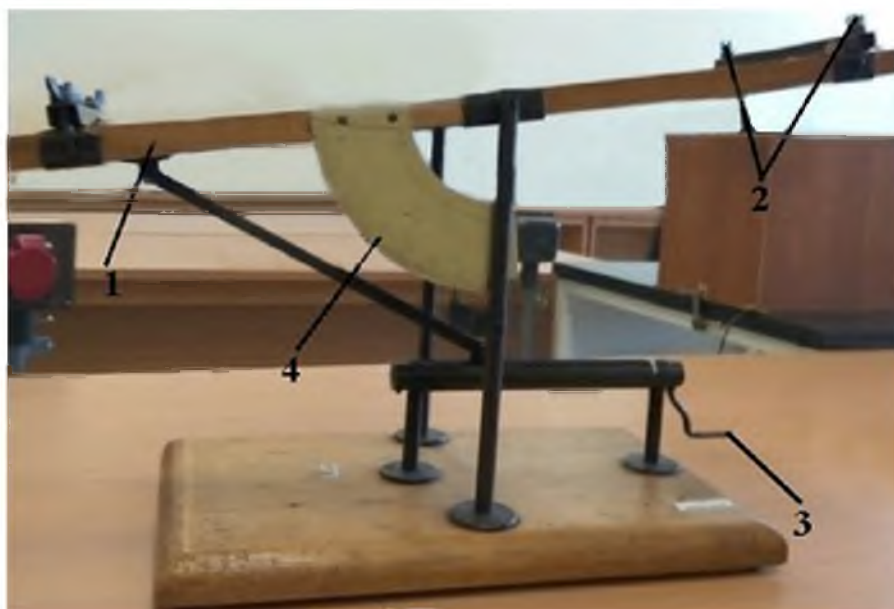


Рисунок 10 – Прибор для определения коэффициента тангенциального сопротивления методом наклонной плоскости УО «ВГУ»: 1 – подвижная платформа; 2 – винтовые зажимы; 3 – рукоятка; 4 – линейка

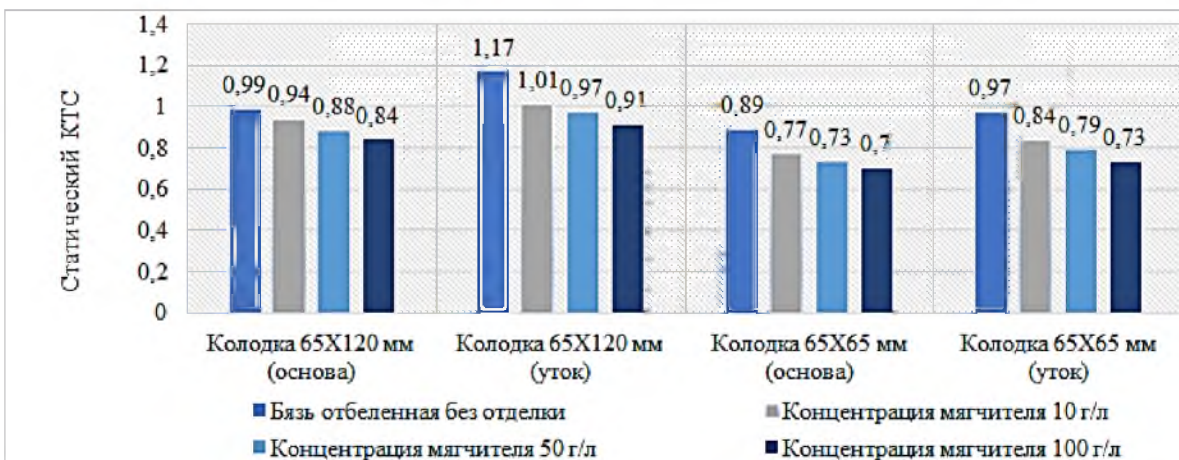


Рисунок 11 – Статический коэффициент тангенциального сопротивления при методе наклонной плоскости

Анализируя гистограммы, представленные на рисунке 11, можно сделать вывод, что методика наклонной плоскости позволяет определить разность коэффициентов материалов, обрабо-

танных при различной концентрации препарата. Наблюдается увеличение коэффициента тангенциального сопротивления при увеличении площади контакта трущихся поверхностей (пло-

щади колодки). Эта же тенденция наблюдалась и при методе горизонтальной плоскости. Для метода наклонной плоскости рекомендуется использовать колодку размерами 65x120 мм, так как при данных параметрах повышается чувствительность метода, о чем свидетельствует большая разность КТС.

Сравнивая гистограммы, полученные на рисунках 8 и 11, можно заметить, что числовые значения статических коэффициентов тангенциального сопротивления различны. Коэффициент тангенциального сопротивления – величина непостоянная и зависит от применяемого метода испытания и от площади используемой колодки. В отношении кинетического КТС также играет роль скорость перемещения несущей плоскости, которая влияет на значение коэффициента.

#### ВЫВОДЫ

1. При определении коэффициента тангенциального сопротивления полотен рекомендуется выполнить 12 измерений, первые 9 измерений не следует учитывать, так как из-за притирания поверхностей силы трения меняются. За конечный результат измерения следует принять среднее значение трех последних измерений, что обеспечит погрешность определения КТС не более 0,02 с вероятностью  $P = 0,95$ .

2. Установлено, что при увеличении площади контакта текстильных материалов расширяется диапазон, в котором находятся результаты измерений КТС образцов с различными кон-

центрациями, поэтому при реализации метода горизонтальной или наклонной плоскости для необработанных хлопчатобумажных тканей и обработанных в мягчителе рекомендуется использовать колодку размером 65x120 мм.

3. Для хлопчатобумажных тканей рекомендуется устанавливать скорость перемещения несущей плоскости 300 мм/мин, так как с увеличением скорости расширяется диапазон, в котором находятся результаты измерений КТС образцов с различными концентрациями.

4. Метод горизонтальной плоскости и метод наклонной плоскости может быть применен для оценки эффекта после умягчения текстильных полотен силиконовыми мягчителями и ферментсодержащими композициями. Коэффициент тангенциального сопротивления – величина непостоянная и зависит от применяемого метода, площади используемой колодки и скорости ее перемещения, поэтому сравнивать значения, полученные различными методами, недопустимо.

Данный инструментальный метод определения КТС и предлагаемые параметры проведения измерения могут быть использованы в качестве альтернативы органолептической оценке внешнего вида поверхности тканей (грифа), что повышает точность и объективность оценки получаемых при обработке эффектов.

Исследования проведены в условиях центральной заводской лаборатории открытого акционерного общества «Витебскдрев».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Котко, К. А., Ясинская, Н. Н., Скобова, Н. В. (2020), Экотехнология умягчения хлопкольняных махровых изделий, *Дизайн и технологии*, 2020, № 73, С. 53–59.
2. *Kawabata Evaluation System* (2022), доступно по адресу: <https://textiles.ncsu.edu/tpacc/comfort-performance/kawabata-evaluation-system/> (по состоянию на 11 апреля 2022 г.).

#### REFERENCES

1. Kotko, K. A., Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2020), Eco-technology for softening cotton terry products [Ekotekhnologiya umyagcheniya hlopkol'nyanyh mahrovyyh izdelij], *Design and Technology*, 2020, № 73, p. 53–59.
2. *Kawabata Evaluation System* (2022), available at: <https://textiles.ncsu.edu/tpacc/comfort-performance/kawabata-evaluation-system/> (accessed April 11, 2022).

3. Кукин, Г. Н. (1989), *Текстильное материаловедение (волокна и нити)*, Москва, 352 с.
4. Шустов, Ю. С. (2007), *Основы текстильного материаловедения*, Москва, 302 с.
5. Стельмашенко, В. И., Розаренова, Т. В. (2019), *Материалы для одежды и confeкционирование*, Москва, 308 с.
6. *Технологические свойства тканей* (2012), доступно по адресу: [https://shei-sama.ru/publ/materialy/razdel\\_3/6\\_svoystva\\_tkanej/66-1-0-808](https://shei-sama.ru/publ/materialy/razdel_3/6_svoystva_tkanej/66-1-0-808) (по состоянию на 11 апреля 2022 г.).
7. ГОСТ 27492-87. *Материалы электроизоляционные полимерные пленочные и листовые. Метод определения коэффициентов трения*, Введ. 1989-01-01, Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, Минск, 1988, 12 с.
8. Бузов, Б. А. (2004), *Практикум по материаловедению швейного производства*, Москва, 416 с.
9. Флегонтов, А. Н. (2014), *Разработка методов оценки и прогнозирования тангенциального сопротивления льняных тканей*, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.19.01 – материаловедение производств текстильной и легкой промышленности, Кострома, 2014, Костромской государственный университет, 16 с.
10. Марущак, Ю. И., Ясинская, Н. Н., Петюль, И. А., Ленко, К. А. (2022), *Исследование туше хлопчатобумажных текстильных материалов после умягчающей отделки ферментсодержащими композициями, материалы Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Интекс-2022»*, Москва, 2022, С. 81–85.
11. Пронкин, Н. С. (2007), *Практикум по метрологии и измерениям*, Москва, 392 с.
3. Kukin, G. N. (1989), *Tekstil'noe materialovedenie (volokna i niti)* [Textile materials science (fibers and threads)], Moscow, 352 p.
4. Shustov, Yu. S. (2007), *Osnovy tekstil'nogo materialovedeniya* [Fundamentals of textile materials science], Moscow, 302 p.
5. Stelmashenko, V. I., Rozarenova, T. V. (2019), *Materialy dlya odezhdy i konfekcionirovanie* [Clothing materials and packaging], Moscow, 308 p.
6. *Technological properties of fabrics* (2012), available at: [https://shei-sama.ru/publ/materialy/razdel\\_3/6\\_svoystva\\_tkanej/66-1-0-808](https://shei-sama.ru/publ/materialy/razdel_3/6_svoystva_tkanej/66-1-0-808) (accessed April 11, 2022).
7. GOST 27492-87. *Electrical insulating polymer film and sheet materials. Method for determining the coefficients of friction*, Vved. 1989-01-01, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, Minsk, 1988, 12 p.
8. Buzov, B. A. (2004), *Praktikum po materialovedeniyu shvejnogo proizvodstva* [Workshop on materials science of garment production], Moscow, 416 p.
9. Flegontov, A. N. (2014), *Razrabotka metodov ocenki i prognozirovaniya tangencial'nogo soprotivleniya l'nyanyh tkanej* [Development of methods for assessing and predicting the tangential resistance of linen fabrics], abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.19.01 – materials science of textile and light industry, Kostroma, 2014, Kostroma State University, 16 p.
10. Marushchak, Yu. I., Yasinskaya, N. N., Petyul, I. A., Lenko, K. A. (2022), *Study of the touch of cotton textile materials after a softening finish with enzyme-containing compositions* [Issledovanie tushe hlopchatobumazhnyh tekstil'nyh materialov posle umyagchayushchej otdelki fermentsoederzhashchimi kompoziciyami], *materials of the All-Russian Scientific Conference of Young*

12. Марущак, Ю. И., Ленко, К. А., Ясинская, Н. Н., Скобова, Н. В. (2021), Методика оценки тангенциального сопротивления тканей после умягчающей отделки, *тезисы докладов II Всероссийской научной студенческой конференции*, Москва, 2021, С. 42.
13. Шпачкова, А. В., Андреева, Е. Г., Чижова, Н. В. (2016), Методы определения свойств материалов для швейной промышленности, *Инновации и инвестиции*, 2016, № 8, С 105–109.
- Researchers with International Participation "Intex-2022"*, Moscow, 2022, p. 81–85.
11. Pronkin, N. S. (2007), *Praktikum po metrologii i izmereniyam* [Workshop on metrology and measurements], Moscow, 392 p.
12. Marushchak, Yu. I., Lenko, K. A., Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2021), Method for assessing the tangential resistance of tissues after softening finishing [Metodika ocenki tangencial'nogo soprotivleniya tkanej posle umyagchayushchej otdelki], *Abstracts of the II All-Russian Scientific Student Conference*, Moscow, 2021, p. 42.
13. Shpachkova, A. V., Andreeva, E. G., Chizhova, N. V. (2016), Methods for determining the properties of materials for the clothing industry [Metody opredeleniya svojstv materialov dlya shvejnoj promyshlennosti], *Innovations and Investments*, 2016, № 8, p. 105–109.

Статья поступила в редакцию 12. 04. 2022 г.