

Обоснование применения емкостного метода для оценки неровноты смешивания волокон в неоднородных текстильных материалах

Д. А. Яснев,
Д. Б. Рыклин

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. Качество смешивания волокон в неоднородных текстильных материалах является актуальной задачей, поскольку при их создании из смеси компонентов, которые зачастую имеют различную природу, а, соответственно, и физико-механические показатели, очень важно добиться равномерности вырабатываемой продукции по составу и характеристикам. На сегодняшний день существующие способы определения неровноты материалов достаточно трудоёмки. Приборы, принцип действия которых основан на использовании емкостного метода, предназначенные для определения неровноты по линейной плотности, не позволяют оценить неровноту смешивания компонентов в неоднородных волокнистых продуктах. До настоящего времени емкостной метод не использовался для оценки неровноты смешивания.

Цель работы заключается в экспериментальном подтверждении применения емкостного метода для оценки неровноты смешивания волокон в неоднородных текстильных материалах.

В процессе испытаний образцов из хлопка и полиэфирного волокна на приборе измерителя иммитанса МНИПИ Е7-20 в диапазоне частот от 2 до 640 кГц с номинальной массой в 0,3, 0,5 и 0,7 г было обнаружено, что значение емкости конденсатора уменьшается с усилением частоты и повышается с увеличением массы пробы, что подтверждается высокими значениями коэффициента корреляции. На основании экспериментальных данных предложена математическая модель, описывающая влияние частоты электрического поля конденсатора на соотношение значений емкости для разных видов волокон за вычетом емкости конденсатора, определенной при отсутствии в нем материала. Выявлены диапазоны частот, в которых при разработанной конструкции масса пробы волокна не оказывает существенного влияния на соотношение сигналов, полученных для хлопка и полиэфирного волокна. Различия результатов повторного эксперимента и расчетов по предложенной модели не превышают 10 %.

Согласно предложенной модели на высокой частоте влияние вида материала будет существенно снижаться, соотношение сигналов стремится к единице. Именно различия соотношения сигналов на разных частотах при разных массах проб планируется использовать для разработки математического аппарата по определению неровноты смешивания волокон в неоднородных текстильных материалах.

Ключевые слова: неровнота смешивания; емкостной метод; диэлектрическая проницаемость; частота электрического поля конденсатора.

Информация о статье: поступила 23 июля 2024 года.

Rationale for using the capacity method to assess the blending irregularity of heterogeneous textiles

Danila A. Yasneu,
Dzmitry B. Ryklin

*Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus*

Abstract. The quality improvement of blended textiles is an urgent task, because when they are developed from the blends of fibers that often have different natures, and, accordingly, physical and mechanical properties, it is very important to achieve uniformity of the manufactured products in composition and characteristics. To date, existing methods for determining the blending irregularity of materials are quite labor-intensive. Devices whose operating principle is based on the use of the capacitive method, designed to determine the unevenness of linear density, do not allow for assessing the

blending irregularity of heterogeneous fibrous products. Until now, the capacitive method has not been used to assess the unevenness of mixing.

The aim of the work is to experimentally confirm the use of the capacitive method for assessing the irregularity of fibers blending in heterogeneous textiles. During testing of cotton and polyester fiber samples on the immittance meter MNIP1 E7-20 in the frequency range from 2 to 640 kHz with a nominal mass of 0.3, 0.5 and 0.7 g, it was found that the value of the capacitance decreases with increasing frequency and rises with increasing sample mass, which is confirmed by high values of the correlation coefficient. Based on the experimental data a mathematical model is proposed that describes the influence of capacitor frequency on the ratios of capacitance values at different frequencies for different types of fibers excluding the capacitance determined in the absence of material in it. Frequency ranges are identified in which, with the developed capacitor design, the mass of the fiber sample does not have a significant effect on the ratio of signals obtained for cotton and polyester fiber.

Deviations in the of results of repeated experiment data from calculations results according to the proposed model do not exceed 10 %. According to the proposed model, at high frequency, the influence of the kind of fibers will be significantly reduced; the signal ratio tends to unity. It is the differences in the signal ratio at different frequencies with different sample masses that are planned to be used to develop a mathematical apparatus for determining the irregularity of fiber blending in heterogeneous textiles.

Keywords: blending irregularity; capacitive method; dielectric constant; frequency of the electric field of the capacitor.

Article info: received July 23, 2024.

Введение

В настоящее время смешанная пряжа и полотна из различных сочетаний исходного сырья занимают существенную долю мирового текстильного рынка. Смешивание волокон нескольких видов позволяет получить изделия, обладающие комбинацией лучших свойств компонентов волокна, характерных ее отдельным составляющим, но только при их качественном смешивании.

Следствием плохого качества смешивания является неоднородность вырабатываемой пряжи (Голайдо и др., 2015; Niles et al., 2017), снижение стабильности технологических процессов ее переработки, ухудшение визуальных и тактильных ощущений, а также повышение неравномерности текстильных материалов по физико-механическим свойствам.

Множество исследований проведено с целью оценки влияния долевого соотношения волокон разного вида на физико-механические свойства пряжи и показатели ее неровноты по линейной плотности.

Например, установлено, что увеличение доли полиэфирного волокна в составе полиэфирахлопковой смеси приводит к улучшению показателей пряжи, в том числе, к повышению равномерности по свойствам, разрывной нагрузке и относительного разрывного удлинения; уменьшению ворсистой и количества тонких и толстых мест, непсов (Manik, Majumder and Hossain,

2019; Кожаметов, Файзуллаев и Рахматуллинов, 2022; Babaarslan, Shahid and Okyay, 2023).

При смешивании и полиэфирного микроволокна с хлопком увеличение первого компонента в составе пряжи до 65 % оказывает положительное влияние на количество дефектов и показатели механических свойств смеси, так как приводит к уменьшению количества непсов, увеличению разрывной нагрузки и удлинения, повышению равномерности пряжи. При этом доля полиэфирного микроволокна не оказывает влияния на ворсистость пряжи. (Rajalakshmi, Kaushik and Prakash, 2012).

Увеличение доли полиэфирного волокна в сочетании со льном в соотношениях 85/15, 80/20, 50/50 при испытаниях проб пряжи привело к уменьшению квадратической неровноты, неравномерности, количеству коротких тонких узелков, утолщений и утонений (Ghosh and Raihan, 2015).

Состав смеси влияет на многие свойства пряжи, основными из которых являются разрывная нагрузка, равномерность по линейной плотности, ворсистость и прочие показатели. Стоит отметить, что влияние на свойства пряжи оказывает также ее линейная плотность. При испытании трёх образцов полиэфирахлопковой пряжи в соотношении компонентов 65/35 разной линейной плотности (14,75, 11,8 и 9,83 текс) было выявлено, что с увеличением линейной плотности уменьшается количество непсов, тонких и толстых мест (Anowar, 2019).

Ряд исследователей занимался изучением свойств образцов пряжи, выработанной из нетрадиционных видов текстильного сырья (хлопок/шелк, джут/хлопок/вискоза, джут/шерсть и т. д.).

Выявлено, что увеличение процентного содержания шелкового волокна в пряже из смеси хлопка и шелка в соотношениях 33/67, 50/50, 67/33 приводит к увеличению разрывной нагрузки, разрывного удлинения и уменьшению значения неровноты, количества тонких участков и ворсистости. При этом пряжа в соотношении 50/50 имела максимальное количество утолщений [Kanodia and Dixit, 2022].

В результате исследований пряжи из смеси джута с другими видами волокон (полиэфирное, полиакрилонитрильное волокно и шерсть) в соотношении смешивания 80/20 установлено, что пряжа из смеси джута и полиэфирного волокна продемонстрировала наилучшие значения неровноты смешивания, разрывной нагрузки и разрывного удлинения по отношению к другим смесям и к джутовому волокну. Значения квадратической неровноты оказались одинаковыми у пряжи из смеси джута с полиэфирным и полиакрилонитрильным волокном. При этом рассматриваемые характеристики пряжи из смеси джута и шерсти ниже, чем у других смесей, однако превосходят показатели джутовой пряжи [Shahid et al., 2016].

Анализ данных, полученных в результате исследования смесей из хлопка и джута в соотношениях 80/20, 60/40, 40/60 показал, что с увеличением доли хлопкового волокна возрастают значения разрывной нагрузки и разрывного удлинения, уменьшаются количество пороков и неравномерность пряжи [Redwanul et al., 2024].

В ходе сравнения хлопчатобумажной пряжи со смесью из джута, хлопка и вискозы в соотношениях 30/40/30 у хлопчатобумажной пробы наблюдался более низкий коэффициент вариации и более высокие значения разрывной нагрузки и разрывного удлинения. Авторы предполагают, что в случае другого соотношения сырья показатели качества пряжи будут меняться [Jannatul et al., 2022].

Таким образом, множеством исследователей подтверждено влияние состава пряжи на ее свойства. Однако важно отметить, что в данных работах учитываются номинальные, а не фактические значения процентного содержания компонентов, а неравномерность распределения волокон компонентов по длине пряжи вообще не принимается во внимание. С другой стороны, с

учетом влияния состава пряжи на ее свойства можно утверждать, что гетерогенность пряжи приводит к ее неравномерности по свойствам.

Несмотря на очевидность полученных выводов, работ по оценке качества смешивания волокон в пряже и текстильных полотнах в последние годы практически не проводится.

Существуют рекомендации по оценке неровноты смешивания компонентов в текстильных материалах оптическим и химическим способами.

Оптический способ предполагает анализ специальным образом полученных изображений срезов пряжи с подсчетом количества волокон каждого из компонентов и дальнейшим определением показателей неровноты пряжи по составу, однако способ применим только для оценки распределения компонентов на коротких отрезках продуктов прядения, и ему характерна высокая трудоёмкость. На начальных этапах технологического процесса применение оптического метода затруднено в связи со значительным количеством волокон в сечении полуфабрикатов прядильного производства.

Химический способ осуществляется по соответствующим стандартам и предполагает последовательное растворение волокон различных компонентов, содержащихся в пробе, заранее определенной массы с последующим взвешиванием нерастворенных остатков и проведением соответствующих расчетов. Данный способ является не только трудоемким, но и материалоемким, так как требует применения значительного количества реактивов.

Известно, что одним из наиболее часто применяемых методов оценки неравномерности пряжи по линейной плотности является емкостной, реализуемый на приборах Uster Tester и его аналогах. В цитируемых выше статьях данный метод также был использован для сравнительной оценки исследуемых образцов смешанной пряжи.

Стоит отметить, что применяемые подходы к определению неровноты материалов по линейной плотности емкостным методом не позволяют оценить неровноту смешивания компонентов в неоднородных волокнистых продуктах, так как в используемом диапазоне высоких частот электрического поля конденсаторов состав материала не оказывает влияния на измеряемую величину, что и является важнейшим условием, обеспечивающим отсутствие влияния состава пряжи на определяемые показатели неровноты пряжи по линейной плотности.

В то же время, применение испытательного оборудования, основанного на емкостном методе измерения, в случае разработки специальной методики позволило бы оперативно фиксировать значение неровноты смешивания, и, соответственно, осуществлять оценку эффективности процесса смешивания компонентов и их совместной переработки при производстве многокомпонентной пряжи и, при возникновении дефектов полуфабрикатов или пряжи, вносить изменения в ход технологического процесса, направленные на повышение качества выпускаемой продукции. Емкостной метод не требует применения реактивов, ручные операции сводятся к минимуму.

Ранее [Рыклин, Авсеев, 2011] было предложено за основу разработки нового метода оценки неровноты смешивания волокон взять физический эффект, заключающийся в наличии разницы значений ёмкости конденсатора при испытании материалов разного состава на низких частотах и, в отсутствие такой разницы, на высоких частотах. Решать эту задачу предлагают путём включения в цепь существующих электронно-ёмкостных приборов, дополнительного датчика-конденсатора той же конструкции, что и основной, но отличающегося частотой электрического поля, на что имеют собственный патент [Рыклин, Авсеев, 2013]. Для расчета неровноты смешивания волокон предложены математические формулы, в которых в качестве основы для расчета предложено использовать показатель, определяемый по формуле:

$$Z = \frac{C_1(T) - C_0}{C_2(T) - C_0}, \quad (1)$$

где Z – соотношение сигналов; $C_1(T)$ и $C_2(T)$ – значение ёмкости первого и второго конденсаторов с вложенным продуктом одной линейной плотности, Ф; C_0 – значение ёмкости конденсаторов, определенной при отсутствии в них волокнистого материала, Ф.

Предложенный метод основан на априорных знаниях физики и требует экспериментального подтверждения.

Таким образом, целью исследования является экспериментальное подтверждение применения емкостного метода для оценки неровноты смешивания волокон в неоднородных текстильных материалах.

Методы и средства исследования

В качестве средств измерения выбраны весы лабораторные электронные РА 214С, измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20. Лабораторные электронные весы РА 214С

применялись для определения масс волокнистых проб различного состава. При массе пробы до 50 г погрешность измерения данных весов составляет 0,001 г. Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20 позволяет фиксировать ёмкость конденсатора в диапазоне частот от 10 Гц до 1 МГц.

Для проведения испытаний специально разработан и изготовлен конденсатор в виде двух плоскопараллельных пластин с размерами 85,5 x 50 мм, расположенных на расстоянии 8 мм друг от друга и смонтированных на текстолитовые подложки. Таким образом, площадь рабочей зоны конденсатора составила 4275 мм², а объём – 34200 мм³.

Измерительный комплекс, включающий прибор МНИПИ Е7-20 и конденсатор, представлен на рисунке 1.

Эксперимент проводился путём определения значений ёмкости с конденсатора на различных частотах при испытании проб разной массы и состава.

В качестве испытуемого материала использовались предварительно кондиционированные пробы из хлопкового и полиэфирного волокон номинальной массы от 0,3 до 0,7 грамм. Определяющей причиной выбора данных видов волокнистого сырья являлись различия их диэлектрической проницаемости: для хлопкового волокна она составляет 18,0, для полиэфирного волокна – 2,62–3,68 [Севостьянов А.Г, 1980].

В качестве рабочих частот для эксперимента выбраны частоты от 2 до 1000 кГц.

Обработка получаемых экспериментальных данных проводилась с помощью методов математической статистики, в частности, корреляционного и регрессионного анализов.

Результаты исследований

Номинальные значения масс проб для эксперимента составили 0,3, 0,5, 0,7 г. В таблице 1 представлены значения ёмкости конденсаторов на различных частотах за вычетом ёмкости конденсатора, определенной при отсутствии в нем материала, то есть разность $C(T) - C_0$ в формуле (1).

По данным таблицы 1 видно, что значения ёмкости конденсатора уменьшаются с увеличением частоты электрического поля конденсатора. Масса пробы материала и ёмкость конденсатора находятся в прямой зависимости, что подтверждается высокими значениями коэффициента корреляции, который составил для проб хлопкового волокна – не менее 0,998, для проб полиэфирного волокна – не менее 0,996.



Рисунок 1 – Измерительный комплекс
Figure 1 – Measuring complex

Таблица 1 – Значения емкости конденсаторов на различных частотах за вычетом емкости конденсатора, определенной при отсутствии в нем материала, пФ

Table 1 – Values of capacitance of capacitors at various frequencies excluding the capacitance of the capacitor determined in the absence of material in it, pF

Номинальная масса пробы, г	Фактическая масса пробы, г	Частота, кГц									
		2	5	10	20	40	80	160	320	640	1000
Хлопковое волокно											
0,3	0,3099	1,014	0,657	0,417	0,380	0,300	0,270	0,198	0,170	0,180	0,140
0,5	0,5170	1,828	1,104	0,882	0,630	0,510	0,430	0,335	0,298	0,420	0,300
0,7	0,7234	2,670	1,618	1,185	0,910	0,760	0,630	0,499	0,434	0,430	0,380
Полиэфирное волокно											
0,3	0,3064	0,190	0,164	0,124	0,140	0,120	0,130	0,104	0,109	0,230	0,100
0,5	0,5109	0,278	0,248	0,216	0,210	0,210	0,200	0,183	0,194	0,280	0,150
0,7	0,7137	0,429	0,357	0,300	0,300	0,280	0,260	0,240	0,257	0,360	0,200

Анализ результатов

Важным фактом, установленным в результате анализа экспериментальных данных, явилось то, что отношение значений емкости, полученной для проб хлопка и полиэфирного волокна определенной массы, снижается с увеличением частоты электрического поля. Так, для проб массой хлопкового и полиэфирного волокна около 0,5 г соотношение сигналов при частоте 2 кГц составляет 6,57, в то время как при частоте 120 кГц это соотношение уменьшается до 2. Анализ данных свидетельствует, что данное соотношение при дальнейшем увеличении частоты асимптотически приближается к 1. Таким образом, можно утверждать, что с увеличением частоты электрического поля, создаваемого между пластинами конденсатора, влияние состава волокнистого материала и, как следствие, неравномерности его по составу минимизируется. Именно существенное влияние состава материала на емкость конденсатора при низких частотах может являться физической основой создания метода оценки неровноты смешивания.

Для математического описания экспериментальных данных выбрана модель, имеющая следующий вид:

$$Y = \frac{C_{\text{хл}} - C_0}{C_{\text{пэ}} - C_0} = e^{\left(\frac{b}{fk}\right)}, \quad [2]$$

где Y – соотношение емкости конденсаторов, содержащих пробы волокнистого материала разного вида, за вычетом емкости пустого конденсатора; $C_{\text{хл}}$ – значение емкости конденсатора при измерении хлопковых проб, Ф; $C_{\text{пэ}}$ – значение емкости конденсатора при измерении проб полиэфирного волокна, Ф; C_0 – значение емкости конденсатора без волокнистого материала, Ф; b, k – коэффициенты регрессионной модели; f – частота электрического поля на конденсаторе, кГц.

Коэффициенты регрессии и детерминации моделей для различных масс волокнистых проб получены с ис-

пользованием пакета программ Statistic for Windows и приведены в таблице 2.

На рисунке 2 представлены графики полученных зависимостей отношения значений емкостей конденсатора от частоты электрического поля.

Анализируя графики, представленные на рисунке 2, можно отметить, что, несмотря на одинаковый характер зависимостей, кривая, полученная для проб с номинальной массой 0,3 г, на частотах, меньших 80 кГц, располагается существенно ниже кривых, построенных для проб массой 0,5 и 0,7 г. Можно предположить, что размеры конденсатора обеспечивают более высокую воспроизводимость результатов и меньшую погрешность при испытании проб массой не менее 0,5 г. Наиболее близкие результаты получены при частотах 5 и 10 кГц.

На основании совокупности данных для проб номинальной массы 0,5 и 0,7 г получена обобщенная модель, соответствующая формуле [2]. Значения коэффициентов составили, соответственно, $b = 2,183$, $k = 0,229$, коэффициент детерминации – 0,987.

С целью проверки адекватности модели проведен повторный эксперимент в диапазоне частот электромагнитного поля от 10 до 160 кГц. Как было установлено ранее и подтверждено в ходе описываемых исследований, в данном диапазоне значения получаемого сигнала характеризовались достаточно высокой воспроизводимостью при проведении повторных измерений, а получаемые зависимости емкости от массы пробы имели линейный вид [Яснев, Рыклин, 2024].

Результаты повторного эксперимента отражены на рисунке 3 соответствующими маркерами.

По графику на рисунке 3 можно наблюдать, что соотношения между сигналами второй повторности и теоретической модели на частотах 10 и 20 кГц практически идентичны. На частотах 40 и более отличия в соотношении сигналов не превышают 10 %.

Таблица 2 – Результаты регрессионного анализа экспериментальных данных

Table 2 – Results of regression analysis of experimental data

Номинальная масса пробы, г	Массы проб (хлопок/полиэфирное волокно), г	Коэффициент детерминации модели	Коэффициенты регрессии	
			b	k
0,3	0,3099/0,3064	0,994	1,960	0,219
0,5	0,5170/0,5109	0,995	2,2390	0,246
0,7	0,7234/0,7137	0,980	2,141	0,216

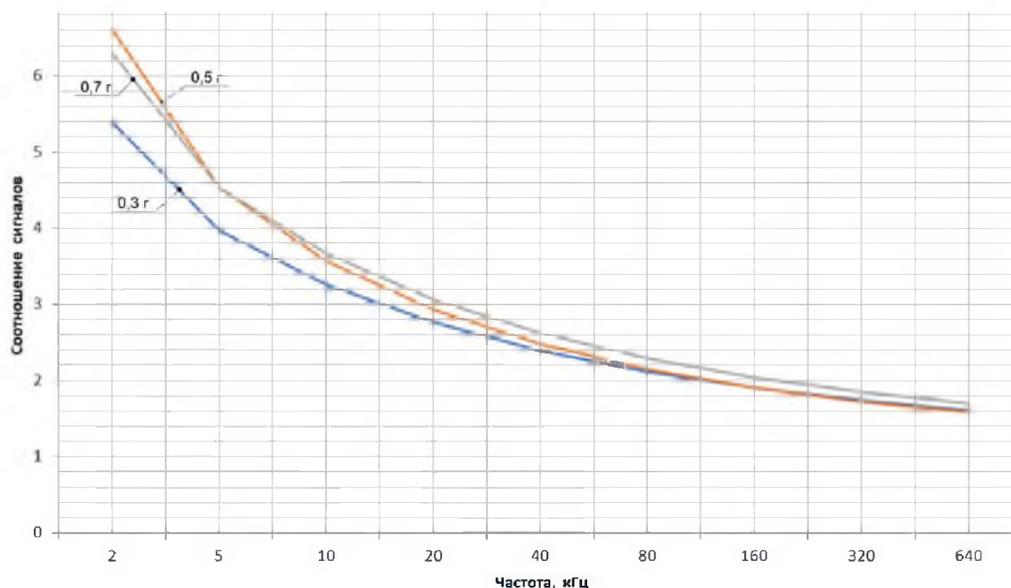


Рисунок 2 – Зависимости показателя Y от частоты электрического поля конденсатора для разных масс проб волокнистых материалов

Figure 2 – Dependence of the Y index on the frequency of the electric field of the capacitor for different masses of samples of fibrous materials

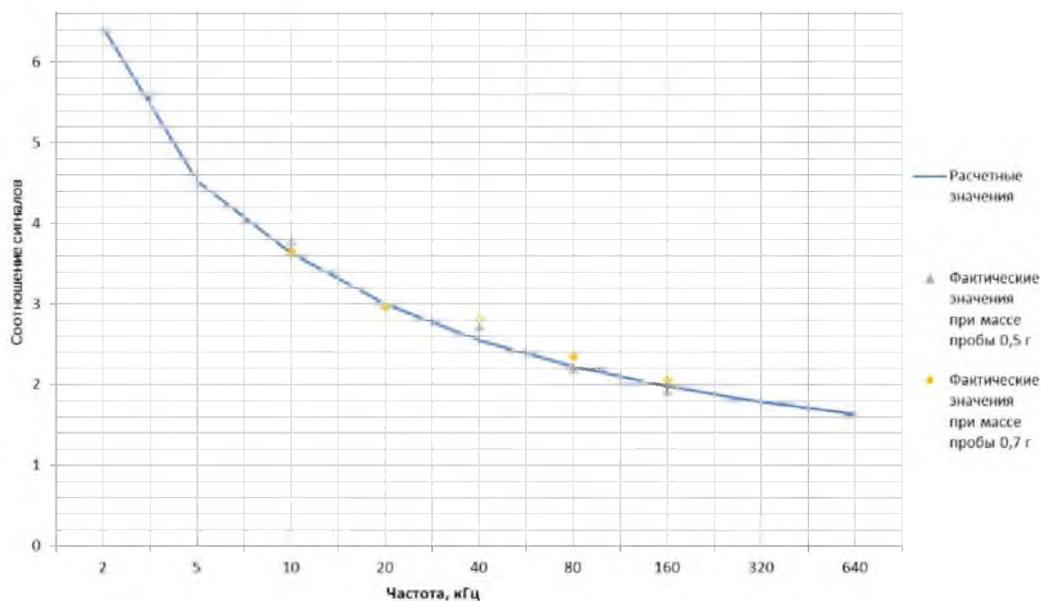


Рисунок 3 – Обобщенная зависимость показателя Y от частоты электрического поля конденсатора для проб волокнистых материалов 0,5 и 0,7 г

Figure 3 – Generalized dependence of the Y index on the frequency of the electric field of the capacitor for samples of fibrous materials 0.5 and 0.7 g

На следующих этапах работы планируется проведение экспериментальных исследований, направленных на области применения разработанного конденсатора, в частности более точно определить диапазон масс проб и частот, обеспечивающих равенство соотношения сигналов, определяемых для проб одной массы и разного состава.

Выводы

В результате проведенных исследований доказано, что различия значений емкости конденсатора, определенные для разных видов исходного сырья, существенно зависят от частоты электрического поля, создаваемого между пластинами конденсатора. Получена регрессионная модель, характеризующая влияние частоты на отношение значений емкости конденсаторов, содержащих пробы волокнистого материала разного вида, за

вычетом емкости пустого конденсатора. Установлено, что с увеличением частоты разница существенно снижается. Выявленный эффект может быть использован в качестве физической основы для разработки метода оценки неровноты смешивания волокон в неоднородных текстильных материалах.

На следующих этапах работы необходимо оценить диапазон масс проб, для которых конструкция и размеры разработанного конденсатора будут обеспечивать наиболее стабильно воспроизводимый результат с минимальной погрешностью, а также значения частоты электрического поля, для которых, соответственно, соотношение сигналов будет зависеть только от состава материала (низкая частота) и только от массы пробы (высокая частота).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Голайдо, С.А., Бондарчук М.М., Грязнова, Е.В. и Федорова Н.Е. (2015). Неровнота пряжи и анализ методов ее снижения, *Грамота*, № 1, С. 24–28.

Кожаметов, Б.Т., Файзуллаев, Ш.Р. и Рахматуллинов, Ф.Ф. (2022). Анализ свойств пряжи из смеси хлопковых и химических волокон, *Universum: технические науки*, № 5 (98), С. 14–18.

Рыклин, Д.Б. и Авсеев, Е.А. (2011). Способ определения неровноты смешивания компонентов в неоднородных волокнистых продуктах, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 1 (20), С. 83–88.

Рыклин, Д.Б. и Авсеев, Е.А. (2013). *Патент № 17839, Способ определения неровноты смешивания компонентов в многокомпонентном волокнистом продукте*. Минск: Национальный центр интеллектуальной собственности, Республика Беларусь.

Севостьянов, А.Г. (1980). *Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности*. Москва: Легкая индустрия, СССР.

Яснев, Д.А. и Рыклин, Д.Б. (2024). Оценка возможности применения прибора МНИПИ Е7-20 для определения неровноты смешивания материалов емкостным методом, *Материалы докладов 57-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*. В 2-х томах. Том 2, С. 344–346.

Anowar, H. (2019). Uster imperfections of 35% cotton and 65% polyester blended yarn for 40ne, 50ne and 60ne ring spun yarn, *South asian research journal of engineering and technology*, vol. 1:2, pp. 43–49.

Babaarslan, O., Shahid, A. and Okyay, N. (2023). Investigation of the performance of cotton/polyester blend in different yarn structures, *AUTEX Research Journal*, vol. 23:3, pp. 370–380.

Ghosh, A. and Raihan, M. (2015). Effect of fibre blend ratios on yarn properties, *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, vol. 4:4, pp. 243–246.

Jannatul, B.M., Shuranjan, S., Ferdouse, A.D., Abdus, S.K. and Moshir, R. (2022). Enhancing the dependence of blended jute yarn rather than hundred percent cotton yarn, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 15:2, pp. 205–210.

Kanodia, P. and Dixit, S. (2022). Upgradation in physical properties of the yarn developed by the fusion of organic cotton and silk waste fiber, *International Journal of Education*, vol. 4:4, pp. 137–142.

Manik, P., Majumder, S. and Hossain, R.K. (2019). Effect of blend ratio on quality characteristics of polyester/cotton blended ring spun yarn, *Trends in Textile Engineering and Fashion Technology*, vol. 5:1, pp. 583–587.

- Niles, S.N., Dias, W.P.P., Perera, T.K.M., Vinoth, W. and Wijenayake, E.M.R. (2017). A vision-based method for analyzing yarn evenness, *International journal of scientific & technology*, vol. 6:2, pp. 254–256.
- Rajalakshmi, M., Kaushik, C.V. and Prakash, C. (2012). Effect of cotton/micro polyester blends on physical properties of ring spun yarn, *Textile Science and Engineering*, vol. 2:6, pp. 40–43.
- Redwanul, I., Fahmida, K. and Ayub, N. (2024). Statistical analysis of Cotton-Jute blended ratio for producing good quality blended yarn, *Heliyon*, vol. 10:2, e25027.
- Shahid, M., Mahabubzaman, A., Ahmed, F. and Ali, A. (2016). Investigation of the Physical Properties of Jute Blended Yarn Using a Novel Approach in Spinning Process, *Journal of Textile Science and Technology*, vol. 2, pp. 1–6.

REFERENCES

- Golajdo, S.A., Bondarchuk, M.M., Gryaznova, E.V. and Fedorova, N.E. (2015). Yarn unevenness and analysis of methods to reduce it [Nerovnota pryazhi i analiz metodov ee snizheniya], *Gramota = Certificate*, vol. № 1, pp. 24–28 (In Russian).
- Kozhametov, B.T., Fajzullaev, S.H.R. and Rahmatullinov, F.F. (2022). Analysis of the properties of yarn made from a mixture of cotton and chemical fibers [Analiz svoystv pryazhi iz smesi hlopkovyh i himicheskikh volokon], *Universum: tekhnicheskie nauki = Universum: technical sciences*, vol. 5 (98), pp. 14–18 (In Russian).
- Ryklin, D.B. and Avseev, E.A. (2011). Method for determining the unevenness of mixing components in heterogeneous fibrous products [Sposob opredeleniya nerovnoty smeshivaniya komponentov v neodnorodnykh voloknistykh produktah], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Herald of Vitebsk State Technological University*, vol. 1 (20), pp. 83–88 (In Russian).
- Ryklin, D.B. and Avseev, E.A. (2013). *Patent No. 17839, Method for determining the unevenness of mixing components in a multi-component fibrous product* [Sposob opredeleniya nerovnoty smeshivaniya komponentov v mnogokomponentnom voloknistom produkte]. Minsk: National Center for Intellectual Property, Republic of Belarus (In Russian).
- Sevost'yanov, A.G. (1980). *Metody i sredstva issledovaniya mekhaniko-tekhnologicheskikh processov tekstil'noj promyshlennosti* [Methods and means for studying mechanical and technological processes in the textile industry]. Moscow: Light industry, USSR (In Russian).
- Yasnev, D.A. and Ryklin, D.B. (2024). Assessment of the possibility of using the MNIPI E7-20 device to determine the unevenness of mixing materials using the capacitive method [Ocenka vozmozhnosti primeneniya pribora MNIPI E7-20 dlya opredeleniya nerovnoty smeshivaniya materialov emkostnym metodom], *Materialy dokladov 57-j mezhdunarodnoj nauno-tekhnicheskoy konferencii prepodavatelej i studentov. V 2-h tomah. Tom 2 = Materials of reports of the 57th international scientific and technical conference of teachers and students. In 2 volumes. Volume 2*, pp. 344–346 (In Russian).
- Anowar, H. (2019). Uster imperfections of 35% cotton and 65% polyester blended yarn for 40ne, 50ne and 60ne ring spun yarn, *South asian research journal of engineering and technology*, vol. 1:2, pp. 43–49.
- Babaarslan, O., Shahid, A. and Okyay, N. (2023). Investigation of the performance of cotton/polyester blend in different yarn structures, *AUTEX Research Journal*, vol. 23:3, pp. 370–380.
- Ghosh, A. and Raihan, M. (2015). Effect of fibre blend ratios on yarn properties, *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, vol. 4:4, pp. 243–246.
- Jannatul, B.M., Shuranjan, S., Ferdouse, A.D., Abdus, S.K. and Moshir, R. (2022). Enhancing the dependence of blended jute yarn rather than hundred percent cotton yarn, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 15:2, pp. 205–210.
- Kanodia, P., Dixit, S. (2022). Upgradation in physical properties of the yarn developed by the fusion of organic cotton and silk waste fiber, *International Journal of Education*, vol. 4:4, pp. 137–142.
- Manik, P., Majumder, S. and Hossain, R.K. (2019). Effect of blend ratio on quality characteristics of polyester/cotton blended ring spun yarn, *Trends in Textile Engineering and Fashion Technology*, vol. 5:1, pp. 583–587.
- Niles, S.N., Dias, W.P.P., Perera, T.K.M., Vinoth, W. and Wijenayake, E.M.R. (2017). A vision-based method for analyzing yarn evenness, *International journal of scientific & technology*, vol. 6:2, pp. 254–256.

Rajalakshmi, M., Kaushik, C.V. and Prakash, C., [2012]. Effect of cotton/micro polyester blends on physical properties of ring spun yarn, *Textile Science and Engineering*, vol. 2:6, pp. 40–43.

Redwanul, I., Fahmida, K. and Ayub, N. [2024]. Statistical analysis of Cotton-Jute blended ratio for producing good quality blended yarn, *Heliyon*, vol. 10:2, e25027.

Shahid, M., Mahabubuzzaman, A., Ahmed, F. and Ali, A. [2016]. Investigation of the Physical Properties of Jute Blended Yarn Using a Novel Approach in Spinning Process, *Journal of Textile Science and Technology*, vol. 2, pp. 1–6.

Информация об авторах

Information about the authors

Яснев Данила Андреевич

Магистр технических наук, аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: yasnevdanila@mail.ru

Danila A. Yasneu

Master of Technical Sciences, Postgraduate Student of the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: yasnevdanila@mail.ru

Рыклин Дмитрий Борисович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: ryklin-db@mail.ru

Dzmitry B. Ryklin

Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: ryklin-db@mail.ru